

16 +



XXVIII Всероссийская
(с международным участием)
молодежная научно-практическая
конференция
Нижневартовского
государственного университета



г. Нижневартовск, 8–9 апреля 2026 г.

Часть 1. Естественные и точные науки

г. Нижневартовск
2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижевартовский государственный университет»

**XXVIII Всероссийская
(с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция
Нижевартовского
государственного университета**

Часть 1

Естественные и точные науки

Нижевартовск, 8–9 апреля 2026 года

Под общей ред. А.А. Кулагина

Нижевартовск
НВГУ
2026

Д 25

Печатается по решению Ученого совета
ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»

Под общей редакцией: Кулагин Андрей Алексеевич, доктор биологических наук, профессор.

Редакторы: А.М. Яковлева, И.С. Анцева, Д.В. Вилявин.

Д 25

XXVIII Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция Нижевартовского государственного университета (г. Нижевартовск, 8–9 апреля 2026 г.) / Под общей ред. А.А. Кулагина. Ч. 1. Естественные и точные науки. Нижевартовск: Издательство НВГУ, 2026. 458 с.

ISBN 978-5-00047-749-6

В сборник материалов включены статьи участников XXVIII Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции Нижевартовского государственного университета, прошедшие рецензирование.

Издание адресовано специалистам-практикам, педагогическим работникам, научным сотрудникам, аспирантам, магистрантам и студентам.

ББК 72я43



Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

© НВГУ, 2026

Подписано в печать 26.05.2026

Формат 60×84/8

Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 25,94

Электронное издание. Объем 11,48 МБ. Заказ 2366

Издательство НВГУ

628615, Тюменская область, г. Нижевартовск, ул. Маршала Жукова, 4

Тел./факс: (3466) 24-50-51, E-mail: red@nvsu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Азаматов А.Р., Середовских Б.А. ЛАНДШАФТНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКАХ НЕФТЕДОБЫЧИ	10
Аптыкова В.Р., Коркина Е.А. РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ НА ОСНОВЕ ЁМКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННЫХ КОРМОВЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ЯГЕЛЬНЫЙ»	18
Брагина А.А., Кузьмина М.В. МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ПРАВ ЗЕМЛЕВЛАДЕЛЬЦЕВ ПРИ ИЗЪЯТИИ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ НУЖД	24
Двинянинова В.Г., Кулагина Л.С. ЛОКАЛЬНАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ОСИНЫ (<i>POPULUS TREMULA</i> L.) В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА (НА ПРИМЕРЕ г. УФЫ)	32
Дербушова А.В., Доровская Ю.Н., Лопачук О.Н. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ: АНАЛИЗ И ОЦЕНКА	37
Крайнов К.С. СПОСОБ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ	45
Локотькова Д.В., Русакова Е.Г. ВОЗДЕЙСТВИЕ КАРАНТИННОГО ВРЕДИТЕЛЯ ЗЛАТКИ ИЗУМРУДНОЙ (<i>AGRILUS PLANIPENNIS</i>) НА ЯСЕНЕВЫЕ НАСАЖДЕНИЯ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	51
Мальгина Д.А., Кушанова А.У. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УЧЕТА ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА.....	56
Мартынович Д.И. ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУКАХ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	62
Раджабмахмадова Я.Х. ЛАНДШАФТНАЯ РЕВИТАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТА РЕКРЕАЦИИ В ПРИГОРОДЕ КРУПНОГО ГОРОДА	68

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гашумова Р.Р. КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА.....	74
Глазырин Д.В., Никифорова К.А., Кучумов М.С. ПОКАЗАТЕЛИ САТУРАЦИИ КРОВИ КИСЛОРОДОМ У ДЕВУШЕК И ЮНОШЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА	80
Кириллова А.Н., Рахимова Г.Н., Алимарданова А.С., Коновалова М.А., Щемелев Е.А. ПРОБЛЕМА ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ ПОДРАСТАЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА	84

Насыртдинова Д.А., Битнер М.И. ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕСТИРОВАНИЯ НА ВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА (<i>CHLORELLA VULGARIS</i>) В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ.....	90
Самойлов Д.А. ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИПОВ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА	95
Скубанова Д.И., Изгужина Р.Р., Сабирзянова О.В., Сторчак Т.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗОЛЬНОСТИ В ЛИСТЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ УРБОЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА НИЖНЕВАРТОВСКА.....	101
Титов А.О., Зайнетдинова Г.С., Юмагулова Э.Р., Сасина А.А., Лутаева Т.Ю. ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА «ЯГОМ»	107
Усова Е.В., Асанканова А.З. ОСОБЕННОСТИ СОВЛАДАЮЩЕГО СО СТРЕССОМ ПОВЕДЕНИЯ У СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА МУЖСКОГО И ЖЕНСКОГО ПОЛА	112
Хайруллина Р.Р., Погоньшева И.А. ОСОБЕННОСТИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ СФЕРЫ У СТУДЕНТОВ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ.....	119
Юленкова О.И., Погоньшев Д.А. АДАПТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У ЮНОШЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	125

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ И ИНФОРМАТИКЕ В ШКОЛЕ

Асеева К.А. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОТЕРИ ИНТЕРЕСА ШКОЛЬНИКОВ К ИЗУЧЕНИЮ МАТЕМАТИКИ	131
Беляева О.Д., Воронцова Е.Р., Шепелёва М.С. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАДАЧ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ДЕТЕЙ РАЗНОГО УРОВНЯ.....	137
Бондарев Я.Ю. ФОРМИРОВАНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ СТАРШЕКЛАССНИКОВ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИКИ	144
Буданова А.И. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ ПРОВЕРОЧНОЙ РАБОТЫ В 5-6 КЛАССАХ ПО РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	149
Виниченко А.С. ВЫБОР ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ В 7 КЛАССЕ	155
Дадуря О.И., Горлова С.Н. КОНКУРСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ АБИТУРИЕНТОВ НА ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ МАТЕМАТИКИ.....	161
Егоркина С.О. РЕШЕНИЕ КВАДРАТНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗНЫМИ КАТЕГОРИЯМИ ОБУЧАЮЩИХСЯ 8-ГО КЛАССА	166
Жулина А.С. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИГР ДЛЯ РАЗВИТИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ УМЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОБУЧЕНИЯ БАЗОВОМУ КУРСУ ИНФОРМАТИКИ.....	169

Игнатенко Я.А., Шепарева В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ SKYSMART В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ АЛГЕБРЫ 8 КЛАССА.....	176
Лаврова В.А. ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНФОРМАТИКЕ	180
Мясоедова П.А. МЕНТАЛЬНЫЕ КАРТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ 4К КОМПЕТЕНЦИЙ НА УРОКАХ ИНФОРМАТИКИ В 8 КЛАССЕ	186
Обивалина Е.С. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ СЛОЖНЫХ ФИГУР: ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ...	191
Ощепкова Ю.В. ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА УКРУПНЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ «ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА» ПРИ РЕШЕНИИ ТЕКСТОВЫХ ЗАДАЧ ПО МАТЕМАТИКЕ.....	195
Попова А.А., Фоминых С.О. НЕСТАНДАРТНЫЕ ЗАДАЧИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ.....	200

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Асфаганов А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ.....	206
Барышева П.А. ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ПРОЕКТНЫХ УМЕНИЙ ПОДРОСТКОВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ	213
Ботандаева В.С. ЧИСЛА И КУЛЬТУРА: ЭЛЕМЕНТЫ ЭТНОМАТЕМАТИКИ ХАКАССКОГО НАРОДА.....	218
Демирчиян Т.А., Кальсин И.В., Высоцкая Д.А. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИКИ: ИНТЕГРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ГРАФИКОВ И 3D- МОДЕЛЕЙ В ПОДГОТОВКУ ИНЖЕНЕРОВ.....	221
Иброхимов Н.И., Расулов А.М. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА НА ПОВЕРХНОСТЬ КРИСТАЛЛА МЕДИ.....	226
Липинская В.А. МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ: ОБЗОР, ВОЗМОЖНОСТИ И РОЛЬ В ОБУЧЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕМЫ «ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРЯМЫЕ».....	231
Лутфуллина А.В. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В КУРСЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ	239
Правдивцева А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ВЕЩЕСТВЕННЫМ ПАРАМЕТРОМ.....	244
Пыряева В.А. ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	250
Харитонов Л.С. БИОПОДОБНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВУХЗВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	255

Шиндина К.П. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ	263
Юсупова Е.Р. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕШЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В КУРСЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	269

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Батракова А.А., Мазур К.Д., Герасимова П.А. АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА КАК ТОПЛИВА ДЛЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК: ПРЕИМУЩЕСТВА, ОГРАНИЧЕНИЯ И МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ	274
Борожапов С.С., Никончук И.Н., Шаклеин А.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА КОНЕЧНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЯХ ВСМ ЗА СЧЕТ ИНТЕГРАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОДПЛАТФОРМЕННОГО ПРОСТРАНСТВА И ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ	282
Виниченко В.С., Медведев М.П., Алиев А.Л., Ровкин С.С. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ПЕРЕД КОМПРЕССОРОМ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ.....	288
Григорьев И.Р., Портнов Д.А., Рыжникова Е.А. МЕЖДУ ТОПЛИВОМ И БОЛОТОМ: ОЦЕНКА ГЛАВНЫХ РИСКОВ ТОРФОБРИКЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ХМАО	294
Гришин С.Н., Мунин А.П., Озеров Н.А. УВЕЛИЧЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ НАКАТКИ.....	301
Дубовец Д.В., Силивёрстов Г.А., Батраков П.А. ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ОБЪ-ИРТЫШСКОГО БАСЕЙНА	308
Забудский К.С. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПНГ В РФ И МИРЕ. КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ	315
Нагаев С.А., Дурнова Т.В., Иванова Т.В., Солодка Н.А. РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	321
Нуриманов Д.С., Плеханов Д.В., Радионова И.А., Мезенцева А.В. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С УЧЕТОМ АРВ.....	326
Орлов С.А., Никифоров Д.К. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI CHANNEL STATE INFORMATION В ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ.....	331
Рябов А.А., Малышева Н.Н. ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ С УЗЛА УЧЁТА В МНМОСХЕМУ SCADA-СИСТЕМЫ	336
Сидоров В.А., Никончук И.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ	342

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ВЗГЛЯД НА БУДУЩЕЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Алиев Р.И. оглы, Волкова И.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ НЕФТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ	348

Астапович Е.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	353
Ахтариев К.С., Насибуллин К.Н., Галынчик Т.А., Соловьев А.А. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ НЕФТЯНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QR-КОДА.....	359
Бадретдинов В.В., Еременко К.Ю. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГРЫ.....	364
Бикшанова Ю.К., Кочина Т.Б. АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫСЛОВЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ САМОТЛОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	370
Бучнев И.В., Шаньгин Е.С. ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ РОССИИ И США	375
Волкова А.Ю., Кочина Т.Б. БЕСТРАНШЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	381
Ефимов М.Э., Чубарова О.И. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКОЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ	388
Землянушин М.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НА ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМЫ НЕФТЕГАЗОСБОРА	394
Исаньюлова У.Е., Савельева Н.Н. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	399
Курбанов А.Е. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЖИРОВОК ДЛЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПАНИЙ	404
Кучукбаева А.Р., Еременко К.Ю. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ	411
Миллер М.А., Парипский А.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ АКТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЕРЕКАЧИВАЕМУЮ СРЕДУ	416
Облетова В.А., Шевляков В.В., Некрасов А.В. МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ В ИЗВЛЕЧЕНИИ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: ТЕХНОЛОГИИ, РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....	423
Рыбакова Л.О., Черкасова Е.И., Бронская В.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ И ОСУШКИ ГАЗА	430
Санников А.В., Медведев И.М., Соловьев А.А. ВЫБОР СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ	435
Спирина Ю.В., Мелкозерова Н.А. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	441

Ташбулатова А.Р., Муфтахов В.З. НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ	447
Чалей П.А., Рукин М.В. УПРАВЛЕНИЕ УТИЛИЗАЦИЕЙ БУРОВЫМИ ОТХОДАМИ: ОЦЕНКА МАСШТАБОВ, ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЙ И КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ	453

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Азаматов А.Р., Середовских Б.А.

Нижневартовский государственный университет
Нижневартовск, Россия

ЛАНДШАФТНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКАХ НЕФТЕДОБЫЧИ

Вопросам техногенного воздействия нефтегазового комплекса на геосистемы и водные объекты региона посвящены многочисленные публикации. В то же время, для исследуемой территории Югры совершенно недостаточно работ, в которых бы рассматривались на средне- и крупномасштабном уровне геоэкологические аспекты обустройства лицензионных участков нефтедобычи с природными и антропогенными факторами их функционирования. Можно выделить лишь ряд публикаций А.В. Соромотина [6], А.Ю. Солодовникова [5] и А.А. Хатту [7] по отдельным лицензионным участкам Сургутского и Нефтеюганского районов, а также работу Московченко Д.В., Бабушкина А.Г. и Идрисова И.Р. [3]. Актуальной становится необходимость комплексного рассмотрения геоэкологического состояния лицензионных участков (далее по тексту – ЛУ) в пределах единой территории, причем выделяемой в рамках не административных, а естественных природных границ.

Между тем лицензионные участки являются не только единицей недропользования, как геологический блок с запасами углеводородов в недрах, но и имеют конкретные границы на поверхности с присущими данной территории ландшафтами. С этой точки зрения лицензионные участки могут и должны становиться объектами ландшафтно-геоэкологического изучения.

Ландшафтно-геоэкологический подход представляет собой современную методологию картографирования экологических ситуаций на территориях интенсивного техногенеза, включая лицензионные участки нефтедобычи. Этот подход базируется на комплексном анализе природных ландшафтов и их изменений под воздействием нефтедобывающей инфраструктуры с использованием геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования. Ландшафтно-геоэкологическое картографирование – это процесс создания карт, которые отображают состояние ландшафтов и природно-антропогенных геосистем, а также антропогенные воздействия на них.

Для геоэкологических исследований ключевым этапом является интегральная оценка природного и антропогенного фона через картографирование структуры геосистем, масштабности и интенсивности антропогенных воздействий. Синтез карт природных ландшафтов и картосхем источников антропогенного воздействия позволяет охарактеризовать современное состояние геосистем и составить карты природно-антропогенных комплексов. Их картографирование предполагает определение структуры земельных угодий в каждом из ландшафтных выделов, типизацию геосистем по преобладающим видам антропогенного воздействия.

При построении комплексных геоэкологических карт используют комплект базовых моделей: эколого-динамическую и ландшафтно-геохимическую карты, а также карту природно-антропогенных ландшафтов. Основное содержание комплексной геоэкологической карты заключается в отображении природных и техногенных факторов, динамики природной среды и их проявлений в районах с различной экологической обстановкой (карта геоэкологических ситуаций) [3]. Ландшафтно-геоэкологический подход к картографированию экологической ситуации на лицензионных участках нефтедобычи представляет собой эффективный инструмент для объективной оценки воздействия на окружающую среду и управления экологическими рисками на всех этапах освоения месторождений.

Назначение и содержание геоэкологических карт природных и природно-антропогенных геосистем определяются масштабом картографирования и объектами анализа. Составление таких карт осуществляется на региональном уровне для выработки стратегии природопользования в регионах; локальном – для выявления проблемных ареалов; детальном – для определения конфликтных участков. Операционные единицы картографирования рассматриваются как наименьшие пространственные ячейки, по которым организована информация на карте. Г.А. Исаченко выделяет их следующие группы [1]:

- 1) природные геокомплексы различных рангов – оптимальные пространственные единицы для анализа состояния, качества природной среды и воздействий на нее;
- 2) анализ территории по водосборным бассейнам. Достоинства такого подхода заключаются в возможности учета внешних и внутренних направлений миграции продуктов техногенеза;
- 3) выделение сопряженных ареалов природно-антропогенных территорий основано на синтезе границ ландшафтов, типов земель, административных единиц, ареалов загрязнения и др.

Наиболее применим такой метод при картографировании экологических проблем и ситуаций. Положительным моментом является возможность отразить на таких картах оценку различных природных факторов, наиболее мощные источники антропогенного воздействия как точечные, так и площадные;

- 4) в качестве операционной единицы анализа геоэкологических ситуаций также используют административно-территориальные единицы разного уровня. Их преимущество заключается в возможности базироваться на обширной статистической информации. В нашем случае в качестве территориальных объектов анализа выбраны лицензионные участки нефтедобычи.

Ландшафтно-геоэкологический подход рассматривает лицензионный участок не просто как площадку для размещения инфраструктуры, а как сложную природно-техническую систему. Ключевые аспекты включают:

- Оценку ландшафтного инфраструктурного следа (Landscape Infrastructure Footprint – LIF) – методологию количественной оценки нарушений поверхности, основанную на показателях ландшафтной экологии.

– Анализ фрагментации ландшафта – дороги, кустовые площадки и трубопроводы рассекают природные комплексы на фрагменты, нарушая экологические связи.

– Мониторинг динамики изменений – отслеживание изменений во времени (например, сравнение данных за разные временные периоды).

При оценке геоэкологической ситуации на лицензионных участках учитывается распространение в границах геосистем неблагоприятных природно-антропогенных процессов, форм техногенного рельефа, сохранность естественного растительного покрова. Эти показатели рассматриваются как индикаторы благоприятности или неблагоприятности геоэкологического состояния геосистем. Существенным моментом оценки является выявление лимитирующих факторов, исключающих использование геосистемы в определенных направлениях хозяйственной деятельности.

Картографирование экологической ситуации на лицензионных участках нефтедобычи – это сложный многоэтапный процесс, который в современной практике реализуется на основе ландшафтно-геоэкологического подхода с использованием геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования (ДЗЗ). Ниже представлен детальный обзор методологии, ключевых этапов и практических примеров.

1. Теоретическая и методическая основа.

Современное картографирование базируется на комплексной оценке природно-технических систем, где лицензионный участок рассматривается не просто как площадка для размещения инфраструктуры, а как сложная система взаимодействия природных и техногенных компонентов.

Ключевые принципы подхода:

– Комплексность. Одновременный учет рельефа, растительности, гидрологии, геологических условий и техногенных объектов.

– Фрагментация ландшафта. Анализ расчленения природных комплексов дорогами, трубопроводами и кустовыми площадками.

– Количественная оценка. Переход от качественных описаний к измеримым показателям (площади нарушений, индексы NDVI, концентрации загрязнителей).

– Динамический анализ. Отслеживание изменений во времени (сравнение разновременных снимков, анализ трендов).

2. Основные этапы картографирования.

Этап 1. Сбор и подготовка исходных данных.

Информационная база включает три основных источника, представленные в таблице.

Таблица

Категория данных	Содержание	Масштаб/формат
Топографические	Горизонтالي, высотные отметки, гидросеть	1:100 000 (векторизация топокарт)
Дистанционного зондирования	Космические снимки (Landsat и др.) для выявления нарушений	Растровые данные, разрешение до 30 м/пиксель
Тематические (ГИС-слои)	Границы лицензионных участков, ООПТ, инфраструктура, месторождения	Векторные слои

Этап 2. Создание базовых цифровых моделей.

На этом этапе разрабатываются основополагающие картографические материалы, необходимые для дальнейшего анализа. Например, при создании цифровой модели рельефа (ЦМР) Аганского лицензионного участка в ХМАО-Югра использовалась следующая технологическая цепочка: векторизация → создание типологии → триангуляция → пространственный анализ. Полученная ЦМР состояла из 14 876 треугольников и позволила построить производные карты уклонов и экспозиций склонов.

Этап 3. Пространственный анализ и моделирование.

Это ключевой этап, реализующий аналитические возможности ГИС. Он включает:

- Многокритериальный анализ: геоэкологическая оценка территории по совокупности факторов.
- Расчет буферных зон: определение зон влияния инфраструктурных объектов на прилегающие ландшафты.
- Анализ временных рядов: выявление участков деградации растительности путем сравнения разновременных снимков.

При составлении итоговой карты разрабатывается легенда, в которой цветовая шкала отражает геоэкологическое состояние геосистем, штриховая – обозначает ареалы развития неблагоприятных геоэкологических процессов, условными знаками показываются наиболее экологически опасные объекты. При картографировании природно-антропогенных комплексов в легенде отражают все классификационные ступени: цветовая шкала, построенная по методу «светофора» показывает класс природно-антропогенных комплексов, штриховая – тип природно-антропогенных комплексов, индексами или штриховкой дается краткое название природно-антропогенных комплексов соответствующего ранга.

На кафедре географии Нижневартовского государственного университета разработаны цифровые ландшафтно-геоэкологические карты для лицензионных участков бассейна реки Аган. Работы включали векторизацию топокарт масштаба 1:100 000 в пакете Easy Trace, построение ЦМР ландшафтной основы территории лицензионных участков с техногенной инфраструктурой в программе QGIS.

В качестве примера приведем проведенный нами ландшафтно-геоэкологический анализ Аганского лицензионного участка. Аганский ЛУ расположен на территории так называемого урочища Черный Урман – водораздел р. Аган, его левобережного притока р. Онъеган-Ветленья и р. Ватинский Еган, его правобережных притоков: рр. Нинъеган, Ай-Нинъеган, Кыртыпях, Ай-Кыртыпях. В хозяйственном отношении на территории ЛУ располагается разрабатываемое Аганское нефтяное месторождение, которое эксплуатируется с 1973 года. На площади лицензионного участка развёрнута масштабная инфраструктура: 169 кустовых площадок, общее количество скважин – 1575, из них 620 скважин эксплуатационного фонда. Инфраструктура Аганского месторождения имеет гребенчатый характер – по линии основной транспортной магистрали – автодороги «Высокий (Мегион) – Покачи» в перпендикулярном направлении построены 10 параллельных внутрипромысловых дорог, соединяющих кустовые площадки добывающих скважин (так называемые «разрезы»). Параллельно дорогам проходят

линии внутрипромысловых нефтепроводов, по которым добытая нефть поступает на ЦППН (центр подготовки и перекачки нефти), расположенный в южной части месторождения.

Техногенное воздействие изменило облик большей части территории ЛУ. По данным Б.Е. Чижова на 1998 год на территории Аганского месторождения основные виды воздействия нефтегазодобычи на окружающую природную среду располагаются в следующий ряд (%): механические повреждения лесных насаждений – 27,4, разливы нефти – 21,6, затопление территорий – 19,7, разливы буровых растворов – 12,9, разливы минерализованных вод – 7,8, минерализация почв (разрушение мохово-травяного покрова) – 6,1, термическое и химическое воздействие факелов – 4,5 [8].

В 2017 г. Д.В. Московченко с коллегами была произведена оценка техногенной нарушенности Аганского ЛУ, которая показала, что общая площадь техногенно нарушенных ландшафтов является одной из наиболее высоких в бассейне Агана и составляет 17, 8%. Из них 9,58% приходится на гари и горельники, 4,26% – на вырубки, 3,96% территории, занимают земли, нарушенные инфраструктурой месторождения [3].

В качестве объекта анализа приведем разработанную нами ландшафтно-геоэкологическую карту Аганского лицензионного участка (рис. 1).

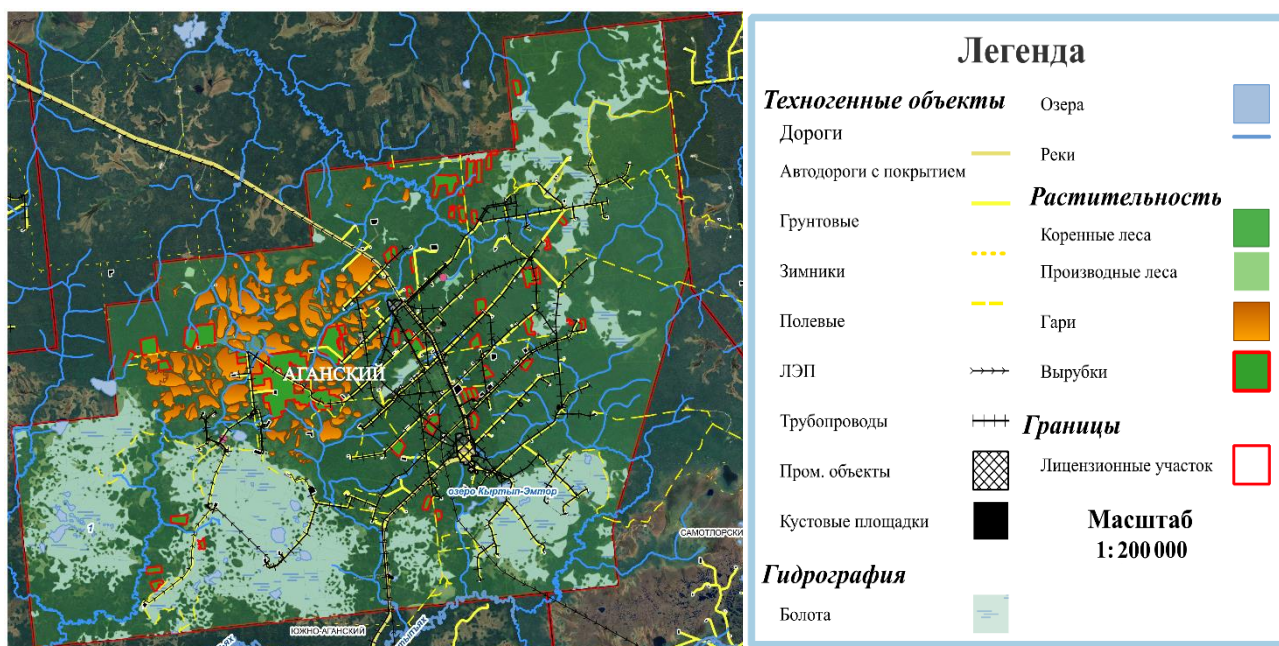


Рис. 1. Ландшафтно-геоэкологическая карта Аганского лицензионного участка [разработана авторами (подложка google.com/maps/Gybrid/ <https://clck.ru/3SJL4K>)]

Ландшафтная структура Аганского ЛУ неоднородна: его можно разделить на три ключевых участка: Юго-Западный, Восточный и Центральный. Юго-западная часть территории, лежащая в долине рек Кыртыпях и Ай-Нинъёган, представляет собою заболоченную равнину с высотными отметками от 52,0 до 59,9 м БС. Поверхность относительно ровная, сильно заболоченная, с мелкими озерами и гривами. Берега рек здесь низкие и заболоченные, в прирусловой части имеются немногочисленные хорошо

дренированные сухие участки и отдельные гривы. В ландшафтной структуре преобладают мохово-кустарничковые с сосной и кедром болота на олиготрофных торфяных почвах.

Центральная часть ЛУ находится на возвышенности Аганский Увал. Рельеф равнинный, средней изрезанности, без резких перепадов высот, за исключением урочища Черный Урман в юго-западной части Аганского Увала, где рельеф увалисто-холмистый, перепад высот достигает 40-50 м, а местность сильно изрезана логами, руслами рек и ручьев. Здесь находится водораздел бассейнов Агана и Ватинского Егана, высота самого высокого участка равна 105 метрам. Данный участок сильно подвержен антропогенной нагрузке здесь находится вся основная часть нефтедобычи. До начала освоения ЛУ на территории преобладали коренные елово-кедрово-лиственничные с примесью березы леса на подзолистых глееватых почвах, которые в настоящее время сильно изменены в результате вырубок и пожаров. Значительные площади занимают производные мелколиственные березово-осиновые леса. Восточная часть ЛУ представляет собой плоскую местами низкогровисто-западинную равнину, расчлененную в краевых частях заторфованными долинообразными понижениями с коренными темнохвойно-сосново-березовыми зеленомошно-кустарничковыми лесами на светлосемах. Ввиду незначительной техногенной нагрузки здесь сохранились слабоизмененные ландшафты.

Проведенный анализ картографического материала показал, что наибольшей техногенной нагрузке подвержена центральная часть лицензионного участка, где сосредоточены основные площадные и линейные техногенные объекты. Результаты подсчетов площади всех форм нарушений на обследуемом лицензионном участке показал, что в связи с введением в строй новых кустовых площадок доля территорий, нарушенных объектами нефтедобычи, выросла до 4,1%. Из непромышленных нарушений также выросла доля гарей и горельников, особенно в северо-западной части ЛУ, которые составляют уже 12,4% территории. Что касается высокой доли вырубок, указанных в работе Д.В. Московченко [3], то по состоянию на 2026 год их площадь фиксируется на космоснимках значительно ниже, что связано, на наш взгляд, с восстановительными сукцессионными процессами (рис. 2).

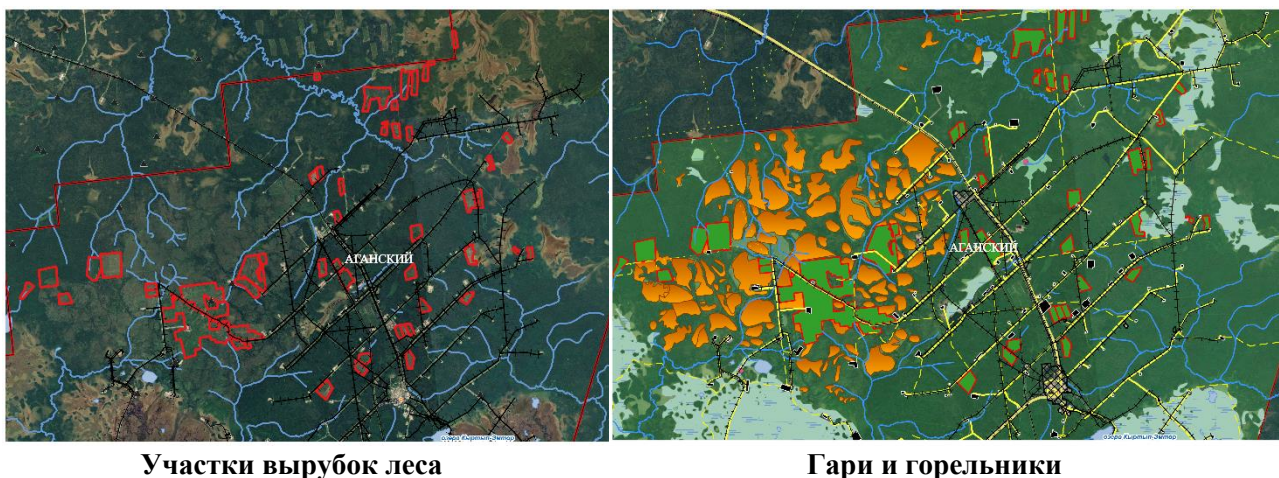


Рис. 2. Техногенные нарушения ландшафтов на территории Аганского ЛУ [разработана авторами (подложка google.com/maps/Gybrid; <https://clck.ru/3SJL4K>)]

Суммирование разных видов техногенного воздействия показало, что общая площадь техногенно нарушенных ландшафтов Аганского ЛУ незначительно выросла, но не превышает 20%. Согласно Б.И. Кочурову [2], если трансформированные ландшафты охватывают от 10% до 50% территории, то степень деградации природных комплексов и уровень экологической опасности следует оценивать, как «средний».

В то же время нами была оценена степень остроты геоэкологической ситуации на разных участках Аганского месторождения. Вид освоения центрального участка ЛУ – крупноочаговый. Трансформация почвенно-растительного покрова сильная (более 30%), наблюдается замена коренных растительных сообществ вторичными, в почвенном покрове высокая доля литостратов и других виды техногенных почвенных образований. Уровень остроты геоэкологической ситуации (по Б.И. Кочурову) – «острая». В юго-западной части ЛУ вид освоения пока мелкоочаговый, геоэкологическая ситуация – умеренно-конфликтная. В восточной части вид освоения остается на локальном уровне, трансформация почвенно-растительного покрова незначительная (менее 1%), ландшафты условно неизменные, геоэкологическая ситуация – нормальная. Для поддержания экологического равновесия и недопущения дальнейшего обострения геоэкологической ситуации необходимо проведение реабилитации нарушенных геосистем на основе постоянного геоэкологического мониторинга их состояния и изменений.

Созданные карты могут быть использованы для планирования рационального обустройства территории лицензионных участков и составления электронного атласа региона. Также данные карты могут стать основой для проведения прогнозного моделирования: использование ГИС для прогноза распространения загрязнений и оценки рисков.

Таким образом, картографирование экологической ситуации на лицензионных участках нефтедобычи эволюционировало от простого отображения инфраструктуры к созданию сложных аналитических ГИС-моделей, позволяющих прогнозировать изменения, управлять рисками и обеспечивать прозрачность природоохранной деятельности для контролирующих органов.

Литература

1. Исаченко Г.А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтноэкологическое картографирование. Курс лекций. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1998. 110 с.
2. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. Москва-Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.
3. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г., Идрисов И.Р. Оценка техногенной нарушенности нефтяных месторождений Среднего Приобья с использованием спутниковых снимков. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2020, № 5, С. 53-61.
4. Середовских Б.А., Исыпов В.А. Исследование геоэкологического состояния территории на основе ландшафтно-гидрологического анализа: учебно-методическое пособие. Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского гос. ун-та, 2024. 88 с.

5. Солодовников А.Ю. Влияние нефтегазодобычи на социально-экологическую среду Обского Севера: монография / А.Ю. Солодовников, А.И. Чистобаев. СПб: ВВМ, 2011. 309 с.
6. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010. 320 с.
7. Хатту А.А., Соромотин А.М., Солодовников А.Ю. Экологические последствия для окружающей среды 30-летнего периода разработки месторождений (на примере Русскинского нефтяного месторождения // Нефтяное хозяйство. 2016. № 12. С. 140-143.
8. Чижов Б.Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского автономного округа. Тюмень, 1998. 141 с.

© Азаматов А.Р., Середовских Б.А., 2026

Аптыкова В.Р., Коркина Е.А.

Нижневартковский государственный университет
Нижневартовск, Россия

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ НА ОСНОВЕ ЁМКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННЫХ КОРМОВЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ЯГЕЛЬНЫЙ»

Территории традиционного природопользования относятся к особым природоохранным территориям и в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре имеют масштабные площади, практически занимая всю территорию округа.

Памятник природы регионального значения «Ягельный» – это особо охраняемая территория, созданная для сохранения ценных в хозяйственном, научном и культурном отношении сосновых лишайниковых и кустарничково-лишайниковых лесов, используемых как олени пастбища, редких и исчезающих видов животных и растений, среды их обитания, путей миграции, а также поддержания экологического баланса территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Памятник природы площадью 9314,1 га находится на территории Нижневартковского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в Тюменской области. Расположен от г. Нижневартовска на северо-запад в 95 км, в 10 км от г. Покачи и в 40 км от п. Аган (рис. 1).

Исследуемая территория располагается в северной части Среднеобской низменности, в пределах долины реки Аган и относится к Сургутскому Полесью. Характерной особенностью для почвообразования является то, что поверхность сложена аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями верхнеплейстоценового возраста. Породы представлены тонкозернистыми песками с отчетливо выраженной слоистостью, которые повсеместно перекрыты торфами. Легкий песчаный состав пород и дренирующая способность поверхности вдоль рек позволяет развиваться подзолам.

Территория памятника находится в северной части Среднеобской низменности, в пределах долины реки Аган и относится к Сургутскому Полесью.

Северная часть Сургутского Полесья в основном сложена с поверхности аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями верхнеплейстоценового возраста. Представленными тонкозернистыми песками с отчетливо выраженной слоистостью, которые повсеместно перекрыты торфами. Легкий песчаный состав пород и дренирующая способность поверхности вдоль рек позволяет развиваться почвам по подзолистому типу. Торфяно-подзолы являются переходными от подзолов к торфяным почвам. Их образование связано с прогрессивным заболачиванием территории таёжной зоны Западно-Сибирской низменности в связи с её слабой дренированностью [8].

Основным условием формирования поверхностно-оглееных является избыточное увлажнение, вызванное скоплением поверхностных вод, что приводит к заселению гидрофильной растительности.

В геоморфологическом отношении территория представляет собой плоскую поверхность, со слабо выраженным уклоном от подножия Сибирских Увалов. Рельеф рассматриваемой территории представлен первой надпойменной террасой реки Аган и реки

Ортыгун с абсолютными отметками ее поверхности от 50 до 60 м, а относительные отметки – 6–12 м. Преобладают формы флювиальной и реликтовой криогенной морфоскульптуры – долины свободно меандрирующих рек, озерные котловины [6]. Территория отличается сильной заболоченностью (80%), преобладающими типами болот являются верховые глядово-мочажинные игрядово-мочажинно-озерковые [4]. В ряде случаев наблюдается и гривистый рельеф, существенно сnivelированный торфяниками. Слабый дренаж придолинных местностей, малый уклон поверхности приводит к процессу торфонакопления. Рассматриваемый участок дренируется рекой Ортыгун, которая является правым притоком реки Тром–Ёган.

Климатические характеристики типичны для средней тайги. Зима суровая, холодная, продолжительная, с сильными ветрами и ранними осенними заморозками. Лето сравнительно короткое, но довольно теплое, с непродолжительным безморозным периодом. Переходные периоды очень короткие, особенно весна.

Климатические показатели: годовая амплитуда температур воздуха, составляющая 38°–40°C и средняя температура января и июля, не позволяют накопившейся органике разложиться, что приводит к накоплению торфа и подстилочного опада на плакорах. Климатические показатели являются важным фактором формирования и протекания элементарных почвообразовательных процессов, определяющий типовое отношение почв. Кроме этого, химические показатели могут варьироваться от климатических показателей: влажность и температура в почве [10].

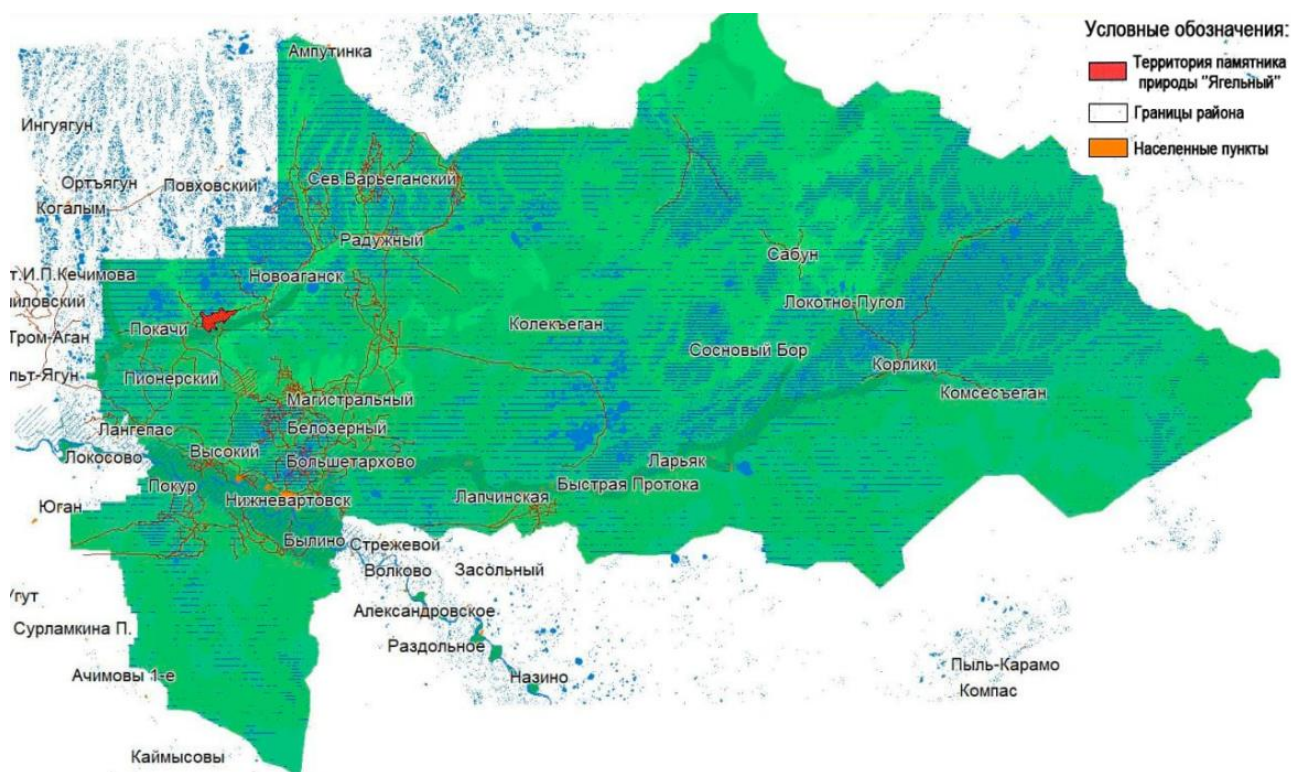


Рис. 1. Местонахождение памятника природы «Ягельный» в отношении Нижневартковского района (автор Аптыкова В.Р.) [9]

Часть территории памятника природы занята родовыми угодьями коренных малочисленных народов Севера, что является основным видом хозяйственной деятельности – традиционным природопользованием [5]. Особенности расположения и природные характеристики памятника природы регионального значения «Ягельный» обеспечивают благоприятные условия для устойчивого развития традиционных форм землепользования и ведения хозяйства коренными народами региона.

Ханты, манси и ненцы – коренные малочисленные народы Севера, для которых Югра является исконным местом проживания. Они сохранили уклад жизни своих предков, живших здесь сотни лет назад, и до сих пор занимаются оленеводством, рыболовством, охотой и сбором дикоросов. В ХМАО-Югре полный комплекс традиционной хозяйственной деятельности занимают северные части Сургутского, Нижневартовского и Ханты-Мансийского районов. Площадь территорий традиционного природопользования составляет 132 723 км² (24,8% общей площади округа).

По состоянию на 31 декабря 2024 года в Реестре организаций, осуществляющих традиционную хозяйственную деятельность о коренных малочисленных народов Севера в автономном округе содержатся сведения о 95 национальных общинах и организациях, из них по видам осуществляемой деятельности: сбор дикоросов (собирательство – 22; оленеводство – 3; рыболовство – 59; охота – 12) [2].

Оленеводство, рыболовство, охотничий промысел и собирание дикоросов – являются основными направлениями хозяйственной деятельностью коренных малочисленных народов. Развитие оленеводства является важной частью сохранения культуры северного народа, так как в данной отрасли занятно преимущественно национальное население [1].

Оленеводство – одна из древнейших отраслей животноводства занимает и поныне ведущее место в сельском хозяйстве Крайнего Севера. Развитие его помогает решить три важные задачи. Во-первых, эта отрасль в значительной степени определяет экономическое состояние северных районов и играет важную роль в деятельности коренного населения. Во-вторых, она имеет большое значение в создании местной продовольственной базы. В-третьих, оленеводство способствует вовлечению в хозяйственный оборот пастбищных ресурсов, которые не могут быть использованы другими видами сельскохозяйственных животных. Пастбища северного оленя составляют 11,4% от всей территории округа, что составляет 6086,7 га.

В последние десятилетия численность домашних оленей между общинами коренных народов Западно-Сибирской равнины резко сократился. Меняющиеся ландшафтно-экологические условия, связанные с изменением климата и интенсивным землепользованием территории округа, влияют на уменьшение кормовых угодий. Исследование пространственного распространения естественных кормовых угодий северного оленя в таёжной зоне Западно-Сибирской равнины и оценка ландшафтно-экологических условий кормовых угодий, является базовым для обоснования традиционного природопользования в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Произрастание лишайников рода вида *Cladonia* (Hillebr. P. Browne) является основным индикатором, определяющим возможность

ведения оленеводства на территориях традиционного природопользования коренных народов Севера.

Ландшафтно-экологические условия таёжной зоны Западно-Сибирской равнины, определяющие возможные пастбища северного оленя, определены историко-геологическими особенностями развития территории. Условия произрастания лишайников рода вида *Cladonia* и другие растения, подходящие для корма оленя, были созданы в последнюю геологическую эпоху, связанную с периодом потепления. Основными ареалами для местообитания лишайника *Cladonia* являются вытянутые минеральные гривы и острова на легких супесчано-песчаных породах, вдоль основных рек Агана. Рельеф исследуемых ключевых участков представлен надпойменными террасами с относительными высотами – 6–12 м, позволяющими создавать дренированные условия. Преобладают формы флювиальной и реликтовой криогенной морфоскульптуры. Особенностью территории является сильная заболоченность (80%), преобладающими типами болот являются верховые грядово-мочажинные и грядово-мочажинно-озерковые. Минеральные острова, с произрастающими сосново-лишайниковыми растительными ассоциациями среди олиготрофных болот, являются хорошим местообитанием для северного оленя, так как защищают их от хищного зверя.

Обобщенные геоботанические описания, произведенные на исследуемых ключевых площадках Сургутского Полесья в границах памятника природы «Ягельный» свидетельствуют об однотипном видовом составе произрастающих растений: *Pinus sylvestris* (L.), *Vaccinium myrtillus* (L.), *Ledum palustre* (L.), *Vaccinium uliginosum* (L.), *Empetrum nigrum* (L.), из лишайников: *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*.

Проективное покрытие лишайником, в сосново-лишайниковых лесах с включением брусники и багульника, составляет 92%. Высота таллома хорошо сформированного лишайника *Cladonia rangiferina* составляет от 6см до 10см. Средняя биомасса лишайника в естественной влажности для ландшафтной провинции Сургутского Полесья составляет 7,38кг/м². В сухом состоянии биомасса лишайника составляет 2,13кг/м². Проективное покрытие олиготрофных грядово-мочажинных болот представлено видами рода *Sphagnum* – 80%, лишайниками *Cladonia* – 20%. Травяно-кустарничковый ярус представлен: видами рода *Carex* – 10%, *Rubus chamaemorus*(L.) – 30%, *Ledum palustre* (L.) – 20%, *Chamaedaphne calyculata* (L.) – 20%, *Betula nana* (L.) – 10%, *Oxycoccus* – 10% [7].

Поэтому для оценки возможности существования северного оленя необходимо рассчитать потенциал и емкость угодий.

Из научной литературы известно, что за сутки летом олень съедает 11–22 кг зеленой массы, зимой – 8–14 кг сырого корма. Примем, что число зимних дней в памятнике природы «Ягельный» равно числу дней со снежным покровом 200 дней, соответственно, число летних дней –160. Эти данные и методика расчета Е.П. Ждановой [3], позволяют нам рассчитать, сколько необходимо корма одной особи северного оленя в год:

$$1) 200 \times 16 + 160 \times 11 = 4960 \text{ кг вегетативной массы.}$$

На основании полевых исследований и научной литературы известно, что средняя масса лишайников на 1 га составляет 8600 кг.

При расчете кормовой базы, однако, следует также учитывать, что восстановление лишайников идет очень медленно (за 25 лет). Чтобы кормовые запасы не оказались подорванными, необходимо, чтобы олень съедал не весь ягель с 1 га, а не более 4%.

$$2) 4960:(8600 \times 0,04) = 14,4 \text{ га}$$

Таким образом, одному оленю для полного обеспечения кормами в год потребуется территория площадью 14,4 га лесоболотных массивов.

Известно, что общая площадь территории заповедника составляет 9314,1 га.

$$3) 9314,1:14,4 = 646 \text{ голов оленей}$$

Итого, запасы кормов на территории памятника природы, пригодных достаточны для поддержания популяции численностью около 646 особей и для пополняемости лесного северного оленя.

Данные свидетельствуют о значительных перспективах дальнейшего развития сельскохозяйственного потенциала региона, особенно в сфере животноводства. Несмотря на зависимость эффективности кормовой базы от природных и климатических условий, результаты проведенных исследований подтверждают наличие существующего потенциала для увеличения поголовья скота и повышения производительности сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, обоснование условий землепользования подтверждает необходимость рационального использования территорий традиционного природопользования. При расчете кормовой базы учитывается состав растительности и наличие ягеля на территории памятника природы регионального значения «Ягельный». Часть исследуемой территории занята родовыми угодьями коренных малочисленных народов Севера, занимающихся оленеводством. Согласно расчетам, емкость угодий позволяет содержать на данной территории до 646 особей оленей.

Литература

1. Вавер О.Ю., Анализ социальных конфликтов природопользования в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре // Фундаментальные исследования. 2012. № 11. С. 533-5375
2. Единый официальный сайт государственных органов Ханты-Мансийского автономного округа – Югра. URL: <https://clck.ru/3Ts3rS>
3. Жданова Е.П. Оценка потенциальных местообитаний и емкости угодий лесного северного оленя в нижегородской области // Научное сообщество студентов XXI столетия. естественные науки: сб. ст. по мат. XVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 4(18). URL: <https://sibac.info/studconf/natur/xviii/37936>
4. Иванова К.Е., Новикова С.М. Болота Западной Сибири, их строение и гидрогеологический режим / Под ред. К.Е. Ивановой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1976
5. Карта охотника // Геопортал охотничьего хозяйства России. URL: <https://clck.ru/3TN6Ms>

6. Козин В.В., Москвина Н.Н. Дробное ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа // Проблемы географии и экологии Западной Сибири: Сборник. Выпуск 3. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 1998. С. 3-39. Elibrary: электронно-библиотечная система. URL: <https://clck.ru/3TN6Nv>
7. Коркина Е., Кушанова А., Середовский Б. Пастбищная способность оленьих пастбищ в бореальной зоне Западно-Сибирской равнины // III Международная конференция по современным проблемам разведения, технологии и переработки сельскохозяйственных культур и окружающей среды (СІВТА-II-2023) (Уфа, Россия, 03-05 июля 2023 года). Текст: электронный // ResearchGate. URL: <https://clck.ru/3TN6RH>
8. Постановление Губернатора Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 09.09.2024 № 95 «О создании охранной зоны памятника природы регионального значения “Ягельный”» // Официальное опубликование правовых актов. URL: <https://clck.ru/3TN6U3>
9. Публичная кадастровая карта // Портал пространственных данных Национальная система пространственных данных. URL: <https://clck.ru/3TN6Uw>
10. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северотаежная подзона Западной Сибири). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 118 с.

© Аптыкова, В.Р., Коркина, Е.А., 2026

Брагина А.А., Кузьмина М.В.

Оренбургский институт (филиал) Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА)
г. Оренбург, Россия

МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ПРАВ ЗЕМЛЕВЛАДЕЛЬЦЕВ ПРИ ИЗЪЯТИИ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ НУЖД

Конституционное закрепление права частной собственности на землю предполагает наличие эффективных юридических гарантий его реализации, что приобретает особую актуальность в ситуациях, когда публичная власть инициирует процедуру принудительного изъятия земельных участков. Современная правоприменительная практика демонстрирует множественность коллизий, возникающих на стыке государственных интересов и прав частных землеладельцев, что обуславливает необходимость критического осмысления действующего правового инструментария защиты имущественных прав. Парадоксальность ситуации заключается в том, что при формальной декларации приоритета прав человека и гражданина реальный механизм изъятия земель нередко функционирует в пользу государственных структур, превращая процедуру компенсации в формальность, лишенную экономического смысла для правообладателя. Более того, анализ судебной практики последних лет свидетельствует о тревожной тенденции: суды все чаще встают на сторону органов публичной власти, даже когда доказательства наличия государственной или муниципальной нужды выглядят сомнительными или недостаточными.

Земельный кодекс Российской Федерации устанавливает исчерпывающий перечень оснований для изъятия земельных участков, среди которых ключевое место занимает изъятие для государственных и муниципальных нужд [1]. Вместе с тем законодательная регламентация данного института, несмотря на многочисленные редакции нормативных актов, по-прежнему характеризуется определенной фрагментарностью. А.А. Иванин и В.И. Кругликова справедливо указывают на сложность достижения оптимального баланса между публичным интересом и защитой частной собственности при изъятии земель, отмечая, что существующая правовая модель нередко смещает акценты в сторону государственных приоритетов [5, с. 156]. Такое положение вещей порождает риски ущемления прав землеладельцев, особенно когда речь идет о субъективной интерпретации понятия «государственные нужды». Представляется, что данная проблема имеет глубокий концептуальный характер: отсутствие четких критериев публичного интереса создает простор для административного усмотрения, которое в условиях коррупционных рисков может трансформироваться в инструмент лоббирования частных интересов под видом государственных.

Исследование практики показывает, что под предлогом государственных нужд нередко изымаются земельные участки для последующей передачи коммерческим структурам, что свидетельствует о системном злоупотреблении правовым институтом. Например, земли могут изыматься якобы для строительства социально значимых объектов, но в итоге на них возводятся торговые центры или элитное жилье. Подобная практика фактически представляет собой скрытую форму перераспределения земельных ресурсов в пользу приближенных к

власти бизнес-структур, что не только нарушает права конкретных землевладельцев, но и подрывает доверие общества к институтам государственной власти. Критически важно отметить, что действующее законодательство не содержит эффективных механизмов контроля за целевым использованием изъятых земель, что фактически легализует подобные злоупотребления.

Процедурные аспекты изъятия земельных участков предполагают обязательное соблюдение последовательности действий органов публичной власти, начиная от принятия решения об изъятии и заканчивая государственной регистрацией прекращения права собственности. При этом Н.М. Фролова обращает внимание на специфическую правовую проблему фактического изъятия земельного участка, когда государственные или муниципальные органы фактически лишают собственника возможности использовать участок до завершения формальной процедуры изъятия [6, с. 189]. Данное явление представляет собой серьезное нарушение имущественных прав, поскольку правообладатель оказывается в правовом вакууме: формально он остается собственником, но реально утрачивает все правомочия владения, пользования и распоряжения. Более того, в подобных ситуациях собственник продолжает нести бремя содержания имущества, уплачивать налоги, но при этом лишен возможности извлекать доходы от использования земельного участка.

Правовая природа фактического изъятия требует дополнительного законодательного урегулирования, а способы защиты в подобных ситуациях нуждаются в четкой систематизации и конкретизации. Критический анализ позволяет констатировать, что фактическое изъятие по своей сути представляет скрытую форму экспроприации, не обремененную обязанностью немедленной компенсации, что противоречит самой идее правового государства. Практика знает случаи, когда земельные участки фактически изымались на десятилетия без какой-либо компенсации: их огораживали, начинали использовать для государственных или муниципальных нужд, но формальная процедура изъятия затягивалась на годы. В результате собственники оказывались в абсурдной ситуации: они не могли ни пользоваться своей землей, ни продать ее, ни получить компенсацию. Судебная защита в таких случаях также оказывается малоэффективной, поскольку суды требуют доказать факт лишения правомочий, что при отсутствии формального решения об изъятии представляется крайне затруднительным.

Одним из центральных элементов механизма защиты прав землевладельцев выступает институт возмещения убытков и выкупной цены земельного участка. Законодатель исходит из презумпции обязательности компенсации всех имущественных потерь, связанных с изъятием земли. Однако практическая реализация данного принципа сталкивается с существенными трудностями. И.Д. Ахмедов, анализируя различные основания изъятия земельных участков, подчеркивает, что методология определения размера возмещения зачастую не учитывает реальной рыночной стоимости недвижимости и упущенной выгоды правообладателя [3, с. 67]. В результате собственник получает компенсацию, которая не позволяет ему приобрести равноценный участок или компенсировать все понесенные потери, что фактически нарушает конституционный принцип неприкосновенности собственности.

Следует отметить, что проблема усугубляется временным лагом между оценкой стоимости и фактической выплатой компенсации: в условиях инфляции и изменения рыночной конъюнктуры землевладелец объективно теряет часть стоимости своего имущества. Кроме того, действующая методология оценки игнорирует такие значимые факторы, как инвестиционная привлекательность земельного участка, его потенциал для коммерческого использования, уникальное местоположение или наличие исторической застройки, что приводит к искусственному занижению реальной стоимости изымаемого имущества. Проведенный анализ показывает, что в среднем размер компенсации составляет лишь 60-70% от реальной рыночной стоимости земельного участка, что делает изъятие *de facto* конфискационным мероприятием. Особенно острой данная проблема становится для землевладельцев, которые используют участки в предпринимательских целях: компенсация не включает упущенную выгоду за весь период, необходимый для поиска альтернативного участка и возобновления бизнеса на новом месте.

Существенное значение имеет дифференциация правовых последствий изъятия в зависимости от категории земель и целевого назначения участка. А.Ш. Азимзода обосновывает особую специфику изъятия земель сельскохозяйственного назначения, указывая на необходимость строгого соблюдения процедуры перевода таких земель в другую категорию перед их изъятием [2, с. 56]. Игнорирование данного требования влечет недействительность всей процедуры изъятия, что открывает для землевладельца возможность восстановления нарушенного права через судебную защиту. Примечательно, что А.А. Горбачев рассматривает нетипичное основание изъятия сельскохозяйственных земель – зарастание участков сорными растениями, что демонстрирует многообразие фактических обстоятельств, способных повлечь прекращение права собственности [4, с. 88].

Вместе с тем возникает закономерный вопрос о справедливости подобного основания изъятия: не является ли оно чрезмерно репрессивным по отношению к собственнику, который в силу объективных обстоятельств (болезнь, экономический кризис, отсутствие финансовых ресурсов) временно утратил возможность надлежащего использования земельного участка? Представляется, что механизм изъятия по данному основанию должен предусматривать предварительное предупреждение собственника с предоставлением разумного срока для устранения нарушений, а не автоматическое лишение права собственности. Анализ практики показывает, что изъятие земель сельскохозяйственного назначения по причине ненадлежащего использования нередко становится инструментом давления на неудобных собственников или способом изъятия привлекательных земельных участков для последующей застройки. При этом формально соблюдаются все процедурные требования, но по существу происходит грубое нарушение прав собственников, которые в силу экономических трудностей не смогли обеспечить надлежащую обработку земли.

Судебная защита прав землевладельцев представляет собой наиболее действенный, хотя и не лишенный недостатков, способ восстановления нарушенных прав. Правообладатель вправе оспорить как само решение об изъятии, так и размер выкупной цены, а также требовать возмещения всех причиненных убытков. Н.М. Фролова выделяет несколько основных

способов судебной защиты при фактическом изъятии: признание права собственности, требование о возврате земельного участка из незаконного владения, взыскание убытков, компенсация за невозможность использования участка [6, с. 192]. Каждый из этих способов обладает определенной спецификой применения и не всегда оказывается эффективным в конкретной ситуации, что требует от правообладателя и его представителей высокой юридической квалификации при выборе стратегии защиты.

Проблематичным представляется также вопрос о процессуальных издержках и длительности судебного разбирательства: нередко правообладатель вынужден годами отстаивать свои права, неся при этом существенные расходы на оплату услуг адвокатов и экспертов. В условиях явного неравенства сторон, когда на стороне ответчика выступают органы государственной или муниципальной власти с практически неограниченными ресурсами, индивидуальный землевладелец оказывается в заведомо невыгодном положении. Анализ судебной статистики показывает, что лишь в 15–20% случаев землевладельцам удается добиться отмены решений об изъятии или существенного увеличения размера компенсации. При этом даже положительные судебные решения нередко саботируются органами исполнительной власти: выплаты компенсаций затягиваются, размеры произвольно пересматриваются в сторону уменьшения, а исполнение судебных актов откладывается под различными предлогами.

Критический анализ существующих механизмов защиты позволяет выявить ряд системных проблем. Процедура изъятия земель нередко инициируется без должного обоснования государственной или муниципальной нужды, что создает предпосылки для злоупотреблений. А.А. Иванин и В.И. Кругликова резонно замечают, что отсутствие четких критериев определения публичного интереса позволяет органам власти расширительно толковать соответствующие нормы [5, с. 157]. Механизм оценки выкупной цены и убытков остается несовершенным, поскольку методики оценки не всегда отражают реальную рыночную конъюнктуру. Временной разрыв между фактическим лишением землевладельца возможности использовать участок и формальным завершением процедуры изъятия порождает правовую неопределенность.

Анализируя данную триаду проблем, следует констатировать их взаимосвязанный характер: расплывчатость понятия публичного интереса провоцирует необоснованные изъятия, несовершенство оценочных механизмов обеспечивает минимизацию компенсаций, а процедурные изъяны лишают собственника эффективных инструментов противодействия произволу. В совокупности это создает системный дефект правового регулирования, требующий комплексного законодательного вмешательства. К этим трем проблемам необходимо добавить четвертую – отсутствие реальной ответственности должностных лиц за незаконное изъятие земельных участков. Даже когда суды признают изъятие незаконным, чиновники, принявшие соответствующее решение, практически никогда не несут ни дисциплинарной, ни тем более уголовной ответственности. Это создает атмосферу безнаказанности и стимулирует дальнейшие правонарушения.

Защита прав при изъятии земель должна осуществляться не только *post factum*, но и на стадии принятия решения об изъятии. Важнейшей гарантией выступает обязательное предварительное уведомление правообладателя о планируемом изъятии с предоставлением разумного срока для подготовки возражений. И.Д. Ахмедов акцентирует внимание на необходимости обеспечения реального, а не формального участия собственника в процедуре согласования условий изъятия [3, с. 69]. Однако практика показывает, что данное требование нередко игнорируется, а уведомления направляются с нарушением установленных сроков или вообще не доходят до адресата.

Представляется необходимым законодательно закрепить обязанность органов власти проводить публичные слушания с участием заинтересованных землевладельцев на стадии планирования изъятия, что позволило бы обеспечить прозрачность процедуры и своевременное выявление незаконных намерений. Кроме того, целесообразно установить правило о том, что решение об изъятии не может быть принято ранее истечения определенного срока (например, трех месяцев) после официального уведомления собственника, что предоставит ему реальную возможность для подготовки правовой позиции и сбора доказательств необоснованности изъятия. Анализ зарубежного опыта показывает, что в развитых правовых системах процедура изъятия земель предполагает многократное взаимодействие с собственником, проведение независимых экспертиз обоснованности изъятия, а также обязательное рассмотрение альтернативных вариантов размещения планируемых объектов. В российской практике подобные гарантии либо отсутствуют вовсе, либо носят чисто декларативный характер.

Альтернативные способы защиты прав землевладельцев включают досудебное урегулирование споров, обращение в органы прокуратуры с заявлениями о проверке законности решений об изъятии, а также использование института общественного контроля. Впрочем, эффективность этих механизмов остается дискуссионной. Н.М. Фролова отмечает, что досудебное урегулирование редко приводит к удовлетворению требований землевладельца в полном объеме, поскольку органы власти заинтересованы в минимизации расходов на компенсацию [6, с. 194]. Следовательно, судебная защита сохраняет статус основного инструмента восстановления нарушенных прав. Между тем, нельзя не отметить потенциал института омбудсмана по правам предпринимателей и уполномоченного по правам человека как альтернативных каналов защиты прав землевладельцев.

Их вмешательство может оказаться эффективным на досудебной стадии конфликта, особенно когда нарушения носят массовый характер или затрагивают особо уязвимые категории граждан. Однако для реализации этого потенциала необходимо наделение указанных институтов реальными полномочиями по приостановлению незаконных действий органов власти. Практика показывает, что обращения к уполномоченным по правам человека и предпринимателей нередко остаются без реального результата: они направляют запросы в компетентные органы, получают формальные ответы об отсутствии нарушений и на этом дело заканчивается. Для повышения эффективности института омбудсменов необходимо предоставить им право самостоятельно проводить проверки, требовать приостановления

решений об изъятии до выяснения всех обстоятельств, а также обращаться в суд в интересах правообладателей.

Особого внимания заслуживает проблема защиты прав землевладельцев в условиях массовых изъятий, связанных с реализацией крупных инфраструктурных проектов. Строительство автомагистралей, железнодорожных путей, газопроводов и иных объектов федерального значения нередко влечет изъятие сотен и даже тысяч земельных участков одновременно. В таких ситуациях правообладатели оказываются в особо уязвимом положении: их индивидуальные интересы противопоставляются масштабному государственному проекту, что психологически и юридически ослабляет их позиции. При этом практика показывает, что размеры компенсаций при массовых изъятиях оказываются еще ниже, чем при единичных случаях, поскольку государство стремится минимизировать общие затраты на реализацию проекта. Представляется необходимым законодательно установить повышающие коэффициенты к размеру компенсации при массовых изъятиях, а также предусмотреть обязательное создание независимых комиссий с участием представителей землевладельцев для контроля за обоснованностью изъятий и справедливостью компенсаций.

Не менее важной проблемой является защита прав арендаторов земельных участков при их изъятии для государственных и муниципальных нужд. Действующее законодательство практически не регламентирует правовое положение арендаторов в подобных ситуациях, что приводит к многочисленным злоупотреблениям. Арендаторы, вложившие значительные средства в благоустройство участков, строительство на них зданий и сооружений, оказываются без какой-либо компенсации: формально изымается земельный участок у собственника, а права арендатора как бы остаются за скобками. Между тем экономический ущерб арендаторов может быть не меньше, а порой и больше, чем у собственников. Требуется законодательное закрепление права арендаторов на возмещение убытков, связанных с досрочным прекращением договора аренды вследствие изъятия участка, включая стоимость произведенных улучшений, упущенную выгоду и расходы на переезд.

Серьезной проблемой остается также вопрос о судьбе расположенных на изымаемых земельных участках объектов недвижимости. Законодательство исходит из принципа единства судьбы земельного участка и расположенных на нем строений, однако на практике нередко возникают ситуации, когда земельный участок изымается, а судьба расположенных на нем зданий и сооружений остается неопределенной. Особенно острой данная проблема становится, когда на земельном участке расположены жилые дома: граждане лишаются не только земли, но и места проживания, причем компенсация зачастую оказывается недостаточной для приобретения равноценного жилья. Представляется необходимым законодательно закрепить обязанность органов власти предоставлять гражданам, лишающимся жилья вследствие изъятия земельных участков, равноценное жилое помещение в том же населенном пункте с сохранением всех удобств и коммуникаций, а денежная компенсация должна рассматриваться лишь как альтернативный вариант по желанию самих граждан.

Анализ правоприменительной практики выявляет также проблему злоупотребления правом изъятия земельных участков для муниципальных нужд. Если изъятие для государственных нужд обычно связано с реализацией крупных федеральных проектов и подвергается определенному контролю, то изъятие для муниципальных нужд нередко осуществляется по весьма сомнительным основаниям. Муниципальные органы власти могут инициировать изъятие земельных участков под предлогом строительства школ, детских садов или больниц, но в итоге на изъятых землях появляются коммерческие объекты. Контроль за целевым использованием изъятых для муниципальных нужд земель практически отсутствует, что создает благоприятную почву для коррупции. Необходимо установление строгой ответственности муниципальных органов власти за нецелевое использование изъятых земельных участков с обязательным возвратом их прежним собственникам в случае выявления злоупотреблений.

Перспективы совершенствования механизмов защиты прав землевладельцев связаны с несколькими направлениями законодательных изменений. Необходимо конкретизировать понятие государственных и муниципальных нужд, установив исчерпывающий перечень ситуаций, когда изъятие допустимо. Требуется законодательное закрепление института фактического изъятия с четким определением правовых последствий и способов защиты. Методология оценки выкупной цены должна быть усовершенствована с учетом не только кадастровой, но и рыночной стоимости, инвестиционной привлекательности участка и упущенной выгоды правообладателя. Представляется также целесообразным введение института обязательной независимой оценки стоимости изымаемого участка с привлечением нескольких независимых экспертов и усреднением полученных результатов, что минимизирует риски манипулирования оценкой.

Кроме того, необходимо законодательно закрепить презумпцию добросовестности землевладельца и возложить бремя доказывания наличия государственной или муниципальной нужды на орган, инициирующий изъятие. Важным направлением совершенствования правового регулирования должно стать установление строгих временных рамок для всех стадий процедуры изъятия: от момента уведомления собственника до выплаты компенсации не должно проходить более шести месяцев, а за каждый день просрочки должны начисляться проценты по ставке рефинансирования Центрального банка. Это стимулирует органы власти к оперативному проведению процедуры изъятия и исключит ситуации, когда землевладельцы годами ждут компенсации.

Представляется также необходимым создание специализированных судебных составов или даже земельных судов, которые бы рассматривали споры об изъятии земельных участков. Специализация судей позволит повысить качество судебных решений, обеспечить единообразие правоприменительной практики и сократить сроки рассмотрения дел. При этом в состав таких судов целесообразно включать не только профессиональных судей, но и представителей общественности, экспертов в области земельных отношений, что обеспечит общественный контроль за законностью изъятий. Зарубежный опыт показывает

эффективность подобных специализированных органов правосудия в сфере земельных отношений.

Таким образом, современная система правовых механизмов защиты прав землевладельцев при изъятии земель для государственных и муниципальных нужд характеризуется определенной противоречивостью: при формальном наличии правовых гарантий их практическая реализация затруднена множественными процедурными и содержательными изъянами нормативного регулирования. Достижение справедливого баланса между публичным интересом и защитой частной собственности требует комплексного реформирования законодательства с акцентом на укрепление правовых позиций землевладельцев и установление действенного контроля за обоснованностью решений об изъятии. Ключевым направлением развития должно стать преодоление формализма в применении компенсационных механизмов и создание системы реальных, а не декларативных гарантий защиты имущественных прав собственников земельных участков. Только комплексный подход, включающий совершенствование материально-правовых норм, процессуальных гарантий и механизмов контроля, позволит обеспечить эффективную защиту прав землевладельцев и восстановить доверие общества к институту изъятия земель для публичных нужд.

Литература

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 29.12.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2026) // Собрание законодательства РФ. 2001. № 44. С. 4147.
2. Азимзода А.Ш. Изъятие земель для государственных и общественных нужд как основание для перевода земель сельскохозяйственного назначения в другие категории // Аграрное и земельное право. 2023. № 10(226). С. 55-57.
3. Ахмедов И.Д. Изъятие земельного участка за совершение правонарушения // Вестник экономики и права. 2021. № 57. С. 65-70.
4. Горбачев А.А. Изъятие земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения вследствие зарастания сорными растениями // Скиф. 2023. № 11(87). С. 87-90.
5. Иванин А.А., Кругликова В.И. Изъятие земельных участков в России: баланс публичного интереса и защиты частной собственности // Экономика. Социология. Право. 2025. № 2(38). С. 154-161.
6. Фролова Н.М. Фактическое изъятие земельного участка для государственных и муниципальных нужд: правовая природа и способы защиты // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина. 2023. № 5(105). С. 188-196.

© Брагина А.А., Кузьмина М.В., 2026

Двинянинова В.Г., Кулагина Л.С.
Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ЛОКАЛЬНАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ОСИНЫ (*POPULUS TREMULA* L.) В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА (НА ПРИМЕРЕ г. УФЫ)

Введение

Изучение реакции древесных растений на условия крупного промышленного центра является сложной задачей из-за высокой мозаичности городской среды. В дендрохронологии это проявляется в соотношении локального и регионального компонентов изменчивости прироста. Корректная интерпретация данных требует понимания того, какой фактор – общегородской климат или локальные особенности участка – оказывает доминирующее влияние. Цель данной работы – оценить степень синхронности колебаний радиального прироста осины (*Populus tremula* L.) в разных функциональных зонах Уфы и определить вклад локальных факторов в формирование изменчивости.

Материалы и методы

Объектом исследования выбрана осина – вид, чутко реагирующий на изменения условий произрастания и широко представленный в городских насаждениях [7, с. 12]. Отбор образцов (кernов) проводился на трех пробных площадях, соответствующих разным функциональным зонам: фоновая (Фон, парковая зона), промышленная (Пром) и селитебная (Сел, жилая застройка). Всего было отобрано 16 kernов с 16 деревьев. Характеристика выборки подробно представлена в таблице.

Таблица

Характеристика пробных площадей и образцов осины (*Populus tremula* L.) в разных функциональных зонах г. Уфы [Составлено авторами]

Параметр	Фоновая зона (Фон)	Селитебная зона (Сел)	Промышленная зона (Пром)	Всего / Среднее
Число деревьев, шт.	5	5	6	16
Число kernов, шт.	5	5	6	16
Всего измерений (колец), шт.	105	149	151	405
Средний диаметр ствола (DBH), см	21,2 ± 3,9	22,4 ± 5,5	19,0 ± 6,8	20,7 ± 5,7
Средний возраст деревьев, лет	21,0 ± 4,2	29,8 ± 4,7	25,2 ± 9,0	25,5 ± 6,9
Средняя ширина годичного кольца, мм	3,87 ± 1,49	3,16 ± 1,23	3,64 ± 1,63	3,54 ± 1,46
Диапазон лет наблюдений	1998–2025	1989–2025	1991–2025	1989–2025

Примечание: значения приведены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение. DBH – диаметр на высоте груди (1,3 м).

Измерения ширины годичных колец выполнены на бинокляре МБС-10 с точностью 0,01 мм. Перекрестная датировка и стандартизация проведены в среде R с использованием

пакета dplR. Для удаления возрастных трендов применялся метод негативной экспоненты или линейной регрессии (ModNegExp), что является стандартом для молодых древостоев (средний возраст деревьев в выборке составил $20,7 \pm 5,7$ лет) и позволяет сохранить высокочастотную межгодовую изменчивость. Статистическая обработка включала расчет описательных статистик, непараметрический тест Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis) для сравнения трех независимых групп, корреляционный анализ Спирмена для выявления связи диаметра ствола и среднего прироста. Выбор непараметрических методов обусловлен малым объемом выборки ($n=5-6$ на зону) и отсутствием нормального распределения данных (тест Шапиро-Уилка, $p < 0,05$). Для оценки качества хронологий рассчитывались EPS (Expressed Population Signal) и Rbar (межсерийная корреляция). Анализ указательных лет (pointer years) проводился для выявления лет с экстремальными значениями прироста.

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ средних значений. Первичный анализ не выявил статистически значимых различий в средних значениях индексов прироста между тремя функциональными зонами. Результаты теста Краскела-Уоллиса ($p = 0,558$) показывают, что при имеющемся объеме выборки значимых различий в среднем многолетнем приросте не обнаружено. Это свидетельствует об устойчивости осины как вида к комплексному воздействию городской среды на уровне общего ростового потенциала. Однако отсутствие значимых различий не означает полного отсутствия эффекта, а может быть следствием низкой статистической мощности теста из-за небольшой выборки, что является ограничением данного исследования.

Связь размеров дерева и прироста. Интересные результаты получены при анализе связи диаметра ствола (DBH) и среднего радиального прироста. В фоновой зоне выявлена сильная и статистически значимая положительная корреляция (r Спирмена = 0,947, $p = 0,014$), что является ожидаемым: более крупные деревья, как правило, имеют и более высокий текущий прирост. В то же время в селитебной ($p = 0,300$, $p > 0,05$) и промышленной ($p = 0,086$, $p > 0,05$) зонах эта связь нарушается и становится статистически незначимой. Это позволяет предположить, что в условиях антропогенного стресса крупные деревья теряют свое конкурентное преимущество в росте, что может служить новым индикатором неблагоприятного состояния среды [1, с. 9].

Анализ синхронности и локальной вариабельности. Для оценки синхронности колебаний прироста были рассчитаны коэффициенты межсерийной корреляции (Rbar) и популяционный сигнал (EPS) для каждой зоны. Качество общих хронологий оказалось низким: значения EPS варьировали от 0,34 до 0,44, что значительно ниже общепринятого порога в 0,85. Значения Rbar также были невысоки: в фоновой зоне – 0,134, в селитебной – отрицательное (-0,024), в промышленной – 0,080. Столь низкие показатели указывают на высокую индивидуальную вариабельность деревьев и доминирование локальных факторов над единым климатическим сигналом. Наиболее ярко это проявляется в селитебной зоне, где отрицательная межсерийная корреляция говорит о полной асинхронности реакций деревьев, вероятно, из-за сильного влияния микроусловий (уплотнение почвы, реагенты, локальное затенение) [3, с. 485].

На рисунке представлена сравнительная динамика индексов прироста осины в различных функциональных зонах г. Уфы за период 2000–2024 гг.

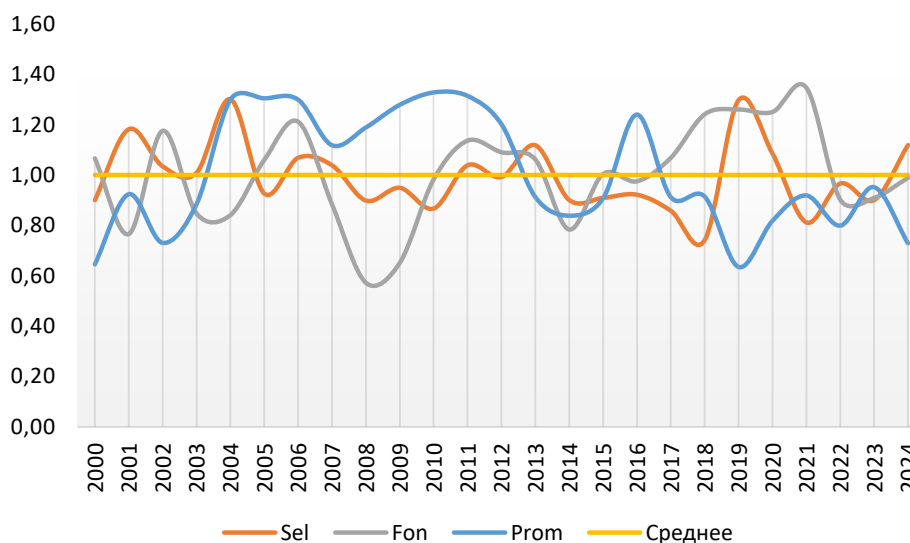


Рис. Сравнительная динамика индексов прироста осины в различных функциональных зонах г. Уфы за период 2000–2024 гг. [Составлено авторами]

Анализ указательных лет. Дополнительным подтверждением локального характера изменчивости служит анализ экстремальных значений прироста (pointer years). Всего было выявлено 32 события резкого отклонения прироста, однако ни одного года с синхронным негативным откликом во всех трех зонах обнаружено не было. Это окончательно подтверждает, что экстремальные для деревьев условия имеют не общегородскую (климатическую) природу, а формируются на локальном уровне [5, с. 155].

Обсуждение гипотез

Полученные результаты позволяют сформулировать гипотезы о природе наблюдаемых различий. Высокая вариабельность прироста в промышленной зоне (стандартное отклонение индексов 0,230) может быть связана с пульсирующим характером техногенной нагрузки, зависящей от объемов производства и метеоусловий [2, с. 12]. Низкая вариабельность и асинхронность в селитебной зоне (стандартное отклонение 0,138), вероятно, объясняется действием постоянного лимитирующего фактора, например, уплотнения почвы или химического загрязнения от противогололедных реагентов [4, с. 7], который «стабилизирует» прирост на низком уровне и нивелирует климатический сигнал.

Заключение

1. Проведенное исследование показало, что в молодых древостоях осины (*Populus tremula* L.) на территории крупного промышленного центра (г. Уфа) локальные условия произрастания оказывают на изменчивость радиального прироста более сильное влияние, чем региональный климатический фон. Этот вывод подтверждается комплексом статистических показателей: крайне низкими значениями EPS (0,34–0,44) и Rbar (от –0,024 до 0,134), отсутствием синхронных указательных лет, а также отрицательными и близкими к нулю корреляциями между хронологиями разных функциональных зон.

2. Важным результатом является отсутствие статистически значимых различий в среднемноголетних значениях прироста между зонами (тест Краскела-Уоллиса, $p=0,558$). Это свидетельствует о высокой физиологической устойчивости осины к комплексному воздействию урбосреды на уровне общего ростового потенциала. Вид может рассматриваться как перспективный для озеленения и мониторинга в условиях города. Однако отсутствие значимых различий не следует интерпретировать как полное отсутствие влияния антропогенных факторов – при малом объеме выборки (5–6 деревьев на зону) мощность статистических тестов невысока, и более тонкие эффекты могут оставаться незамеченными.

3. Принципиально важным оказалось выявление различий не в средних значениях, а в паттернах реакции деревьев. Нарушение положительной корреляции между диаметром ствола и величиной прироста в жилой и промышленной зонах ($\rho = 0,300$ и $0,086$ соответственно, $p > 0,05$) по сравнению с фоновой зоной ($\rho = 0,947$, $p = 0,014$) указывает на то, что в условиях стресса крупные деревья теряют свое ростовое преимущество. Этот феномен может служить новым индикатором неблагоприятного состояния городской среды, требующим дальнейшего изучения [6, с. 15].

4. Различия в вариабельности прироста также несут важную информацию. Высокий разброс индексов в промышленной зоне (стандартное отклонение $0,230$) согласуется с гипотезой о пульсирующем характере техногенной нагрузки, зависящей от режима работы предприятий и метеорологических условий [2, с. 14]. Низкая вариабельность в жилой зоне (стандартное отклонение $0,138$) и отрицательная межсерийная корреляция, вероятно, отражают действие постоянных лимитирующих факторов, таких как уплотнение почвы, засоление противогололедными реагентами и рекреационная нагрузка [4, с. 10]. Эти гипотезы требуют проверки в специальных исследованиях с привлечением данных о динамике выбросов, физико-химических свойствах почв и микроклиматических параметрах.

5. Полученные результаты имеют важное методическое значение. Они демонстрируют, что в условиях сильной пространственной неоднородности городской среды построение единой региональной дендрохронологии без учета внутригородской зональности методически некорректно – полезный экологический сигнал «размывается» высоким индивидуальным шумом. Низкие значения EPS в данном случае являются не столько показателем ненадежности результатов, сколько биологически осмысленным сигналом, отражающим высокую гетерогенность условий произрастания. Для получения надежных популяционных оценок в урбозкосистемах необходимо значительное увеличение объема выборки, стратифицированной по функциональным зонам и микроусловиям.

6. Практическая значимость работы заключается в обосновании использования осины как вида-индикатора для биоиндикации состояния городской среды. Выявленные паттерны реакции (нарушение связи «размер–прирост», асинхронность колебаний) могут быть положены в основу системы раннего предупреждения о стрессовом воздействии на древесные насаждения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на верификацию выдвинутых гипотез, расширение выборки, включение в анализ климатических факторов и данных о загрязнении, а также на сравнительное изучение других древесных видов.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору Кулагину Андрею Алексеевичу за неоценимую помощь в сборе полевого материала, ценные советы при обсуждении результатов и интерпретации статистических данных.

Литература

1. Алемасова А.С., Сафонов А.И. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 6. С. 5-13.
2. Гиниятуллин Р.Х., Иванов Р.С., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях «здоровых» и «ослабленных» деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в условиях промышленного загрязнения (Республика Башкортостан, Стерлитамакский промышленный центр) // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 1. С. 43-48.
3. Гончаров Г.А., Соктоев Б.Р., Ляпина Е.Е., Фархутдинов И.М. Эколого-геохимическая оценка состояния территории города Уфы по данным изучения листьев тополя (*Populus balsamifera* L.) // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2024. Т. 166, кн. 3. С. 476-494.
4. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В., Уразгильдин Р.В., Гиниятуллин Р.Х., Янбаев Ю.А. Особенности формирования ландшафтно-природных комплексов в промышленных городах Предуралья // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1(84). С. 4-18.
5. Царев В.А., Царев А.П., Царева Р.П., Лаур Н.В. Многолетние испытания клонов осины в Европейской России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2025. № 3. С. 9-19.
6. Шихова Н.С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестник ДВО РАН. 2022. № 2. С. 17-36.
7. Cook E.R., Kairiukstis L.A. *Methods of Dendrochronology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p.

© Двинянинова В.Г., Кулагина Л.С., 2026

Дербушова А.В., Доровская Ю.Н., Лопачук О.Н.

Филиал Российского государственного социального университета в г. Минске
г. Минск, Республика Беларусь

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ: АНАЛИЗ И ОЦЕНКА

В современных условиях глобальных изменений климата и растущей антропогенной нагрузки на экосистемы, рациональное использование водных ресурсов становится одним из ключевых факторов обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития страны. Динамика изменения экономических условий, а также системные тренды по реализации Целей устойчивого развития ООН (ЦУР 6 – «Чистая вода и санитария»), переходу к «зеленой» и циркулярной экономике требуют актуализации подходов к оценке экономической и экологической эффективности водопользования [1; 6; 8].

Методологической основой анализа и оценки эффективности водопользования являются теоретические и прикладные работы российских и белорусских ученых, а информационной – данные Национального статистического комитета Республики Беларусь (<https://www.belstat.gov.by>) и Министерства окружающей среды и природных ресурсов Республики Беларусь (<https://minpriroda.gov.by/ru>).

В силу природно-географических факторов и условий (более 20 тыс. водотоков и более 10 тыс. озер, в которых сосредоточено около 9 км³ воды) Беларусь имеет высокий статус водообеспеченности (табл. 1). Значение *индекса эксплуатации водных ресурсов*, рассчитываемого как отношение объема добычи (изъятия) вод из природных источников к общему объему возобновляемых ресурсов пресных вод, за последние пять лет находится в интервале от 2% (2024 г.) до 3,4% (2020 г.), что подтверждает отсутствие водного стресса в стране. Однако, как отмечено в Стратегии управления водными ресурсами до 2040 г., вследствие неравномерности распределения водных ресурсов по территории в засушливые периоды возможна нехватка воды для субъектов хозяйствования, в первую очередь, очевидным рискам подвержено сельское и рыбное хозяйство, внутренний водный транспорт.

Таблица 1

Показатели водопользования в Республике Беларусь, млн м³ [составлено авторами]

Показатели	2020	2021	2022	2023	2024
Возобновляемые ресурсы пресных вод, (без учета притока из подземных вод)	38100,0	49800,0	53400,0	73200,0	68500,0
Добыча (изъятие) вод из природных источников	1328,6	1425,1	1414,1	1435,1	1460,3
Использование вод	1195,3	1273,4	1263,4	1272,4	1283,5
Потери, неучтенные расходы вод и воды не для использования	133,2	151,7	150,7	163,0	176,8

Негативной тенденцией является рост *показателя потерь воды*, который за анализируемый период увеличился почти на 33%. Доля потерь, неучтенных расходов и воды не для использования в общей добыче также возросла (с 10% в 2020 г. до 12% в 2024 г.). Анализируемый показатель, с одной стороны, свидетельствует о физическом износе инфраструктуры водного хозяйства, а с другой стороны, является индикатором возможных

недочетов в системе контроля и учета воды. Вместе с тем, средний показатель потерь воды западноевропейских странах составляет 15–20%, в странах СНГ – 25–35%, что позволяет оценивать позицию Беларуси как сильную, благодаря систематической реконструкции и замене водопроводных сетей, а также высокому уровню наличия счетчиков у населения.

В разрезе видов экономической деятельности основными водопользователями являются (рис. 1):

- *сельское, лесное и рыбное хозяйство* – 30%, причем крупнейшим водопользователем в этом секторе, особенно в районах с развитым прудовым хозяйством, является рыбоводство. Основные цели использования воды в сельском хозяйстве [2] – содержание и поение скота, приготовление кормов, дезинфекция оборудования; орошение применяется локально, в основном на высокодоходных культурах. Расходы воды в лесном хозяйстве значительно ниже, чем в аграрном секторе и рыбоводстве;

- *домашние хозяйства* – 26%. Отметим, что на начало 2025 г. 98% домашних хозяйств проживали в жилье, оборудованном водопроводом, и 97,4% – канализацией. Доступ к горячему водоснабжению имеют 95,1% домохозяйств. Объем хозяйственно-питьевого водопотребления в настоящее время составляет 36,6 м³ воды на одного человека в год;

- *обрабатывающая промышленность* – 15%. В качестве наиболее водоемких отраслей отметим пищевую промышленность, химическое и нефтехимическое производство, целлюлозно-бумажную промышленность и текстильное производство.

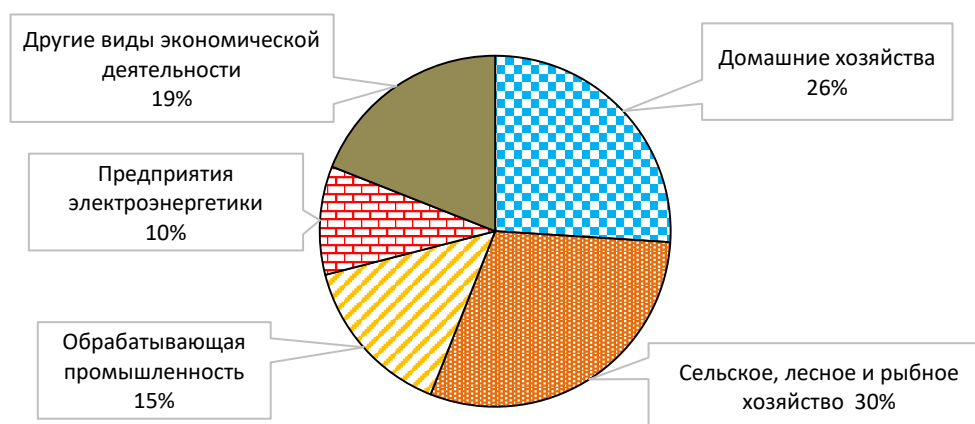


Рис. 1. Структура водопользования по видам экономической деятельности в 2024 г.
[разработано авторами]

В целом, за исследуемый период, как показано в табл. 1, общий объем использованных пресных вод незначительно вырос (на 7,4%). Можно отметить и произошедший структурный сдвиг: доля водопотребления в сельском, лесном и рыбном хозяйстве в конце периода по сравнению с началом снизилась на 1 п. п., доля домашних хозяйств – на 2 п. п., при росте доли предприятий электроэнергетики на 3 п. п.

Одним из ключевых индикаторов антропогенного воздействия на гидросферу является показатель *сброса сточных вод в поверхностные водные объекты* (табл. 2).

Таблица 2

Динамика сброса сточных вод в поверхностные водные объекты [составлено авторами]

Показатели	2020	2021	2022	2023	2024
Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³ , в том числе	1038	1134	1119	1130	1136
без превышения нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ	1035	1132	1117	1129	1133
с превышением нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ	3	2	2,8	1,5	3,1
Доля сточных вод с превышением нормативов в общем объеме стоков, %	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3

За анализируемый период количественно объем воды, который возвращается в природу после использования, незначительно возрос в 1,1 раза. При этом доля сточных вод с превышением нормативов в общем объеме стоков традиционно мала: среднее значение за пять лет – 2,48 млн м³. Доля загрязненных сточных вод – важнейшая качественная характеристика сбросов – находится в интервале от 0,1% до 0,3%. Вместе с тем, по результатам мониторинга поверхностных вод за последние пять лет наблюдается тенденция к изменению их экологического состояния – количество поверхностных водных объектов, которым присвоен хороший и выше экологический статус, снизилось с 74,6% в 2020 году до 67,7% в 2024 году.

Макроэкономический анализ эффективности водопользования проведем на основе расчета показателей *водоемкости ВВП* (м³/тыс. руб.), который позволяет оценить насколько интенсивно каждый кубометр воды трансформируется в готовый продукт, и *продуктивности водных ресурсов* (руб./м³), который отражает степень зависимости экономического роста от использования водных ресурсов [9; 11; 12]. Исходные данные для расчета показателей водоемкости ВВП и продуктивности водных ресурсов представлены в (табл. 3.)

Таблица 3

Исходные данные для расчета показателей водоемкости ВВП и продуктивности водных ресурсов [составлено авторами]

Показатели	2020	2021	2022	2023	2024
Добыча (изъятие) вод из природных источников	1328,6	1425,1	1414,1	1435,1	1460,3
ВВП в текущих ценах, млн руб.	149720,8	176879	193741	217969	255144,2
Индекс физического объема ВВП в% к предыдущему году	99,3	102,4	95,3	104,1	104,3
ВВП в сопоставимых ценах 2020 г., млн руб.	149720,8	153314,1	146108,3	152098,8	158639,03

За период 2020–2024 гг. средняя водоемкость ВВП (в сопоставимых ценах 2020 г.) составила 9,3 м³/тыс. руб., а средняя продуктивность водных ресурсов – 107,8 руб./м³ (рис. 2).

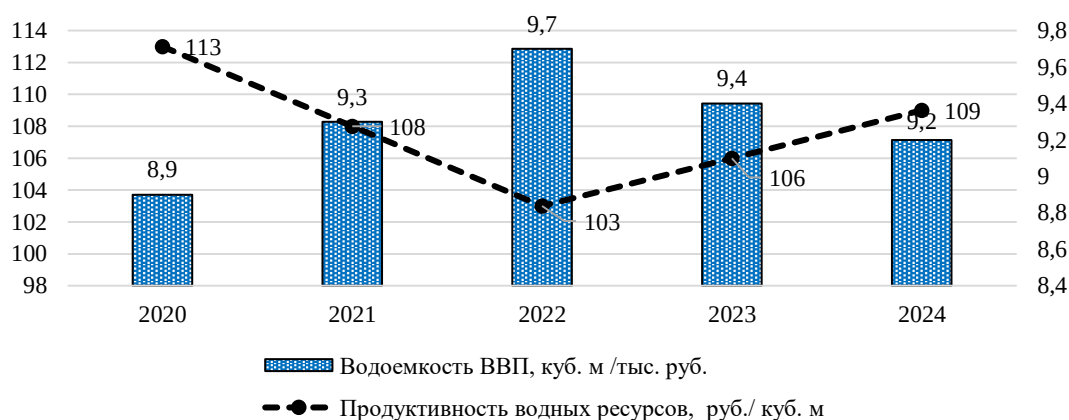


Рис. 2. Динамика показателей водоемкости ВВП (правая ось), м³/тыс. руб. и продуктивности водных ресурсов (левая ось), руб. / м³ [составлено авторами]

Дальнейшее снижение водоемкости ВВП и повышение продуктивности водных ресурсов связано с внедрением современных мало-водоемких и безотходных технологий в промышленности, дальнейшей реконструкцией изношенных водопроводных сетей и сооружений и установкой приборов учета на всех этапах – от добычи (изъятия) до конечного потребителя, а также переходом к современным методам мелиорации и орошения, использованием селекционных сортов культур, устойчивых к дефициту влаги, в сельском хозяйстве [3; 5; 13].

С целью повышения эффективности водопользования и устойчивого функционирования водных экосистем в Республике Беларусь разработана и принята (16.01.2026 г.) Стратегия управления водными ресурсами до 2040 г. (<https://clck.ru/3TN8mx>), анализ которой позволил авторам структурировать по сферам деятельности следующие перспективные направления развития национального водного хозяйства (табл. 4).

Таблица 4

Перспективные направления развития национального водного хозяйства [составлено авторами]

Сфера деятельности	Направления деятельности
Водопроводно-канализационное хозяйство	Использование производственных мощностей существующих коммунальных очистных сооружений, исключая необоснованную организацию дополнительных сбросов сточных вод
	Возведение и реконструкции коммунальных очистных сооружений сточных вод
Сельское хозяйство	Реконструкция существующих осушительных систем с переводом их в осушительно-увлажнительные системы
	Возведение водорегулирующих сооружений, устройство временных водоподпорных сооружений (мембранных, или «мягких», плотин), реконструкция гидротехнических сооружений и насосных станций
	Восстановление защитного лесоразведения на сельхозземлях и водно-болотных угодий путем повторного заболачивания нарушенных торфяников
Бутилирование вод	Оценка экономической целесообразности и инвестиционной привлекательности имеющихся месторождений подземных пресных и минеральных вод
	Адаптация маркетинговых стратегий отечественных производителей бутилированной воды под специфику конкретного региона

Речное судоходство	Каскадное регулирование речного стока на проблемных участках больших рек
	Обеспечение надежной эксплуатации водоподпорных сооружений
Защита от чрезвычайных ситуаций природного характера	Регулирование и регламентация хозяйственного использования территорий, подверженных периодическому затоплению
	Развитие системы мониторинга и технологий прогнозирования и предупреждения опасных гидрологических явлений
Туристическая деятельность. Благоустройство и обслуживание ландшафтных территорий	Внедрение ИТ-технологии для создания индивидуальных туристических маршрутов, моделирование виртуальных путешествий
	Обслуживание рекреационных зон на поверхностных водных объектах с учетом устойчивого функционирования водных экосистем
Системная работа по информированию и просвещению населения, нацеленная на обеспечение водной безопасности страны	Создание условий для многостороннего диалога, привлечение населения и общественности к решению задач по рациональному использованию и охране водных объектов
	Организация тематических (водных) форумов, конференций, семинаров, выставок
	Поддержка социальных проектов, направленных на восстановление малых рек и обустройство родников; усиление роли социальной рекламы

Устойчивая, «зеленая» модель развития предполагает рост экономики при стабилизации или снижении экологической нагрузки, что в научной литературе определяется термином «эффект декарпинга» (от англ. decoupling – разъединение, рассогласование) [4; 7; 10]. Для оценки и *эффекта декарпинга* авторами были рассчитаны базисные (по отношению к 2020 г.) темпы роста добычи (изъятия) вод из природных источников и сброса сточных вод в качестве показателей антропогенной нагрузки на гидросферу, а также темпы роста ВВП в сопоставимых ценах в качестве показателя экономической результативности (табл. 5).

Таблица 5

Исходные данные для оценки эффекта декарпинга [рассчитано авторами]

Показатели	2020	2021	2022	2023	2024
Темп роста ВВП в сопоставимых ценах, в % к 2020 г.	100	107	106	108	110
Темп роста добычи (изъятия) вод из природных источников, % к 2020 г.	100	109	107	108	109
Темп сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, % к 2020 г.	100	102	98	102	106

Проведенные расчеты визуализированы графически и иллюстрируют отсутствие реального разрыва прямой зависимости между темпами экономического роста (ВВП) и антропогенным воздействием на гидросферу (рис. 3).

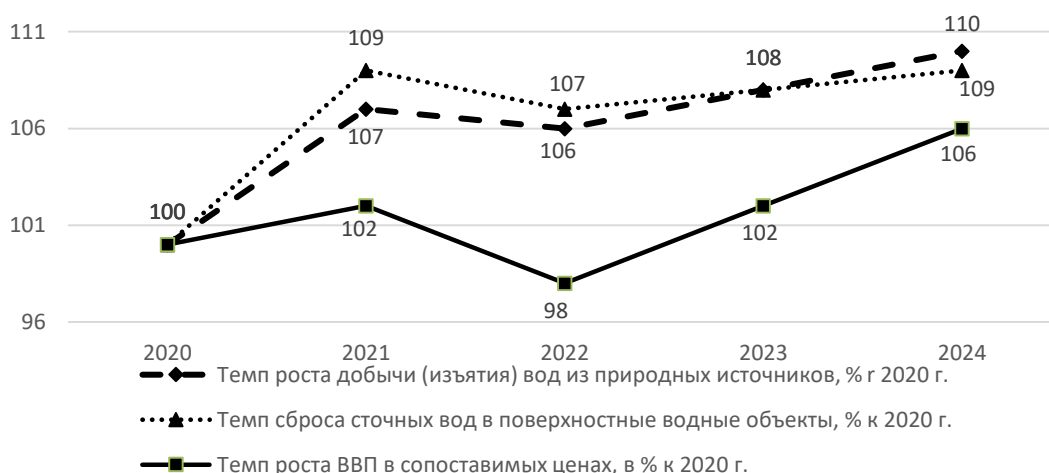


Рис. 3. Динамика темпов роста ВВП, добычи (изъятия) вод и сброса сточных вод [разработано авторами]

За период 2020-2024 гг. темпы антропогенного давления на гидросферу (как добычи (изъятия), так и сброса сточных вод) превышают темпы роста ВВП, при этом показатели изменяются (растут) примерно одинаково, что следует трактовать крайне негативно. Наблюдается жесткая зависимость: чтобы произвести единицу стоимости (ВВП), обществу приходится расходовать или загрязнять воды в еще большем объеме, чем раньше. С научной точки зрения такую ситуацию можно определить, как состояние, обратное эффекту декаплинга – эффект экспансивного каплинга (связанности) [8, с.120].

Проведенный анализ эколого-экономической эффективности водопользования в Республике Беларусь за 2020–2024 гг. позволяет сделать следующие выводы:

1) сильными сторонами являются высокая водообеспеченность и отсутствие водного стресса в стране; низкая доля сточных вод, сбрасываемых с превышением нормативов, в общем объеме стоков; снижение водоемкости ВВП в рассматриваемом периоде. Вместе с тем, в качестве негативных тенденций выявлены рост показателя потерь воды, а также ухудшение состояния поверхностных водных объектах;

2) анализ структуры водопользования, позволяющий выявить потребность в водных ресурсах для различных видов экономической деятельности, лежит в основе разработки стратегических документов развития водного хозяйства на государственном уровне;

3) ключевым выводом исследования является диагностирование эффекта «экспансивного каплинга», то есть темпы роста добычи воды и сброса сточных вод опережают темпы роста ВВП, что свидетельствует о сохранении экстенсивной модели водопользования;

4) предложенная авторами система аналитических показателей, основанная на открытых официальных данных национальной статистики, может быть использована на мезоуровне (в качестве экономического показателя – ВВП) и на микроуровне (в качестве экономического показателя – объем произведенной продукции в денежном выражении).

Литература

1. Гичиев Н.С., Гусейнова Н.О. Экологические аспекты экономического роста Российских регионов // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20. № 1 (74). С. 160-178. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2025-1-14>
2. Давлатова С.Д., Одинаев Х.А. Пути повышения эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2023. Т. 3. № 4. С. 75-80.
3. Жильникова Н.А., Баранова А.А. Методы оценки водного следа для повышения эффективности водопользования промышленных производств // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сборник докладов Третьей Всероссийской научной конференции (Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2022 года). Санкт-Петербург: изд-во Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. С.138-143. <https://doi.org/10.31799/978-5-8088-1707-4-2022-3-138-143>
4. Зубарев Н.Ю., Глезман Л.В., Федосеева С.С., Зубарев Ю.Н. Диагностика эффекта декарпинга в агропромышленном комплексе региона(на примере Пермского края) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 5. С. 806-818. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-05-806-818>
5. Каранина Е.В., Караулов В.М. Оценка экологических рисков в контексте устойчивого развития экономики региона // Управление рисками: новые вызовы, проблемы и решения: труды X научно-практической конференции с зарубежным участием (Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2024 года). Санкт-Петербург: изд-во ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. С. 57-67.
6. Караулов В.М., Караулова Л.В., Пугач В.Н., Каранина Е.В. Экологическая эффективность экономики как основа устойчивого развития региона // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 211-224. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-211-224>
7. Лебедева М.А., Кожевников С.А. Проблемы обеспечения сбалансированности развития северного региона: эколого-экономический аспект // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. Т. 14. № 4. С. 131-149. <https://doi.org/10.15838/esc.2021.4.76.8>
8. Лопачук О.Н. Методология анализа и оценки экологической безопасности Республики Беларусь: монография. Минск, 2023. 268 с.
9. Лопачук О.Н. Оценка природоемкости производства и потребления: методические и прикладные аспекты // Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2022. № 6(155). С. 61-67.
10. Поляков В.В. Концепция декарпинга: целевой ориентир или иллюзия? // Экономика и экология территориальных образований. 2024. Т. 8. № 2. С. 8-14. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2024-8-2-8-14>
11. Прудовинникова П.В., Прудовинникова М.В., Левкин В.А. Экономический механизм системы охраны окружающей среды // Информационные системы и технологии АПК и ПГС: сборник научных статей Международной научно-технической конференции

(Курск, 6 октября 2023). Курск: изд-во Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова, 2023. Т. 2. С. 266-268.

12. Фомина В.Ф. Оценка водопользования регионов России по критериям водообеспеченности, эффективности и устойчивого развития // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». 2023. Т. 18. № 2. С. 215-240. <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2023-2-215-240>

13. Яшина М.Л., Балдашин М.С. Роль экологической составляющей в устойчивом развитии регионов // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2021. № 2(129). С. 43-49.

© Дербушова А.В., Доровская Ю.Н., Лопачук О.Н., 2026

Крайнов К.С.Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Россия

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

Современная экологическая повестка характеризуется одновременным ростом природных и техногенных рисков. Изменение климата повышает частоту экстремальных штормов, усиливает эрозию берегов и увеличивает динамику переносов в морской среде; в то же время антропогенная нагрузка (судоходство, добыча ресурсов, прибрежная застройка) усложняет способность экосистем к самовосстановлению. Для Черного моря эта связка особенно заметна, поскольку акватория граничит с несколькими государствами и находится под высоким антропогенным давлением. Опасные морские объекты – мины, неразорвавшиеся боеприпасы (UXO), районы послевоенного затопления взрывчатых веществ, а также затонувшие суда с нефтепродуктами – формируют комплексную угрозу: одновременно для безопасности людей и для состояния морских экосистем. В таких условиях экологическая проблематика становится не только вопросом охраны природы, но и вопросом устойчивости прибрежной экономики (рыболовство, туризм, порты) и сохранения экосистемных услуг моря.

Под опасными морскими объектами в рамках настоящей статьи понимаются техногенные объекты и предметы, способные причинить вред морской среде и/или человеку за счет взрыва, утечки токсичных веществ либо длительного химического загрязнения. По данным экспедиционных обследований российского сектора Черного моря, основным видом подводных потенциально опасных объектов являются взрывоопасные объекты, включая районы «свалок» взрывчатых веществ, затопленных в послевоенное время, и суда/корабли, затонувшие с боезапасами [1, с. 48].

Актуальность проблемы усилилась после 2022 года: для северной части бассейна характерны эпизоды дрейфа морских мин, что создает риск для судоходства, прибрежных экосистем и промысловых районов. В специализированной работе по моделированию дрейфа указано, что в предупреждении от 18 марта 2022 года сообщалось об отрыве порядка 420 мин в районе северного побережья Черного моря в штормовых условиях [5, с. 353].

В отличие от донных захоронений, дрейфующие мины опасны непредсказуемостью и трансграничным характером: они могут перемещаться течениями к новым участкам побережья, попадать в районы рыболовства и формировать локальные зоны ограничений. Моделирование показывает зависимость траекторий от начальных районов отрыва и особенностей циркуляции; в ряде сценариев часть объектов достигает района пролива Босфор [5, с. 359].

Экологическая опасность боеприпасов связана не только с непосредственной детонацией. С течением времени коррозия оболочек приводит к нарушению герметичности и выходу компонентов взрывчатых веществ, металлов и иных соединений в воду и донные отложения. Обзор по морским захоронениям боеприпасов подчеркивает, что длительное пребывание боеприпасов в морской воде приводит к коррозии и образованию «брешей», через

которые токсичные соединения попадают в среду; отмечается также наличие тяжелых металлов и металлоидов вблизи ряда захоронений [3, с. 3-4].

Для Черного моря этот механизм важно рассматривать в контексте неполноты исторических данных. В публикации по обследованию затонувших объектов отмечено, что при отсутствии точных сведений о местах возможного захоронения боеприпасов и химического оружия сохраняется вероятность будущего выхода отравляющих веществ и их переноса течениями вдоль побережья, что обосновывает необходимость регулярного мониторинга [1, с. 49].

Климатические изменения способны усиливать данный риск. Обзор в *Environmental Sciences Europe* указывает, что рост температуры и повышение частоты экстремальных погодных явлений могут ускорять коррозию и, как следствие, увеличивать скорость выхода боеприпасных соединений в окружающую среду, одновременно повышая стрессовую нагрузку на гидробионтов (температурный стресс, изменения кислородного режима, pH и солености) [6, с. 1].

С точки зрения экотоксикологии важно, что многие боеприпасные соединения и продукты их трансформации способны сорбироваться на частицах взвеси и аккумулироваться в донных отложениях, создавая «депо загрязнения». При механическом возмущении дна (штормы, траление, строительство, подъем объектов) возможно вторичное поступление загрязнителей в водную толщу и их перенос по акватории. В итоге экологическая опасность может сохраняться даже при отсутствии видимых инцидентов, в виде хронического фоновое воздействия.

Для биоты риск проявляется двояко: (1) прямое токсическое действие на организмы, обитающие вблизи объектов и в зонах накопления загрязнителей; (2) вовлечение соединений в пищевые цепи. В обзоре по влиянию изменения климата на морские захоронения отмечается подтвержденное поступление боеприпасных соединений в двустворчатых моллюсков и рыб в загрязненных районах, что делает задачу мониторинга не только гидрохимической, но и биоиндикаторной [6, с. 1].

Опасные морские объекты в Черном море включают не только боеприпасы, но и затонувшие суда, потенциально содержащие нефть и нефтепродукты. В исследованиях, посвященных мониторингу затонувших объектов, подчеркивается, что определенные экологические проблемы представляют суда и корабли, затонувшие с нефтепродуктами, и потому приоритетом становится обследование районов их нахождения геофизическими и гидрофизическими средствами [1, с. 48].

Нефтяное загрязнение в регионе имеет и «фоновые» проявления, связанные с интенсивной навигацией и хозяйственной деятельностью. В работе по нефтяному загрязнению вод и донных отложений северо-восточной части российского сектора Черного моря отмечено, что средний уровень загрязнения воды по ряду показателей снизился по сравнению с 2001–2010 гг., однако в отдельных районах он остается высоким; среди наиболее загрязненных выделены Керченская предпроливная зона и участок между Анапой и Геленджиком [2].

С практической точки зрения «опасность судна» для экосистемы определяется остаточным запасом топлива/нефти, состоянием корпуса и гидродинамикой района. При медленном разрушении корпуса возможны длительные малые утечки (хроническое загрязнение), которые труднее фиксировать и устранять, чем разовый крупный разлив. Поэтому оценка риска должна включать модель сценариев: от «постепенной утечки» до аварийного разрушения корпуса в шторм.

Практический мониторинг опасных объектов требует сочетания геофизических, гидрофизических и химико-аналитических методов. В экспедиционной практике, описанной для российского сектора Черного моря, выделяются: поиск и обследование районов нахождения объектов с использованием геофизической аппаратуры для уточнения координат; измерение гидрологических параметров; отбор проб воды и донного грунта вблизи объектов с последующим анализом на наличие загрязнителей и отравляющих веществ; визуальное обследование с использованием средств визуализации [1, с. 49].

С экологической точки зрения важна не только фиксация факта наличия объекта, но и наблюдение за динамикой: изменением состояния корпуса/оболочки, появлением признаков утечки (нефтяные пленки, локальные пики углеводородов, изменение состава донных отложений), а также биоиндикаторными реакциями. Обобщенные данные по морским захоронениям боеприпасов показывают, что мониторинг вокруг захоронений способен выявлять присутствие боеприпасных составляющих в воде, осадках и биоте, однако сохраняются значимые пробелы по долговременной динамике и масштабированию наблюдений [3, с. 1-2].

Обобщенная классификация таких объектов по степени экологической опасности и необходимые меры реагирования представлены в Таблице 1.

Таким образом, методически оправдан переход к регулярным программам наблюдения с фиксированной сеткой точек и единым протоколом регистрации данных. Это снижает риск «потери» информации между сезонами и повышает сопоставимость результатов между экспедициями и организациями.

Таблица 1

**Классификация опасных морских объектов Черного моря
и приоритетные меры реагирования [1, с. 48-49]**

Класс объекта	Экологическая опасность	Приоритетные меры
Донные захоронения боеприпасов, UXO	Коррозия и утечка соединений; локальная токсичность и вторичное загрязнение	Картирование, мониторинг проб воды/донных отложений, риск-ранжирование участков
Дрейфующие морские мины	Риск взрыва; ограничение рыболовства; локальная фрагментация местообитаний при подрывах	Оперативные предупреждения, мониторинг траекторий, безопасная нейтрализация
Затонувшие суда с нефтепродуктами	Хронические утечки нефти/топлива; загрязнение береговой зоны	Обследование, оценка остаточных запасов, план предотвращения/локализации утечек

Для оценки воздействия этих объектов на морскую среду требуется система конкретных измеримых показателей. Основные группы таких показателей, используемых при экологическом мониторинге, систематизированы в таблице 2.

Таблица 2

Показатели для экологического мониторинга опасных морских объектов [3]

Группа показателей	Примеры измерений	Зачем нужно
Гидрохимия	нефтепродукты, растворенный кислород, рН, взвесь	раннее выявление утечек и зон вторичного загрязнения
Донные отложения	углеводороды, металлы/металлоиды, гранулометрия	оценка «депо» загрязнения и рисков ремобилизации
Биоиндикаторы	накопление соединений в моллюсках/рыбе, изменения сообществ	контроль воздействия на пищевые цепи и экосистемы

Решение проблемы опасных морских объектов в Черном море рационально строить по принципу управления риском, а не исключительно по принципу «полной очистки»: для разных классов объектов требуются разные режимы. Для донных захоронений критичны: создание и поддержание реестра (геопривязка, тип объекта, степень коррозии), регулярные обследования и экологический мониторинг, включая контроль нефтепродуктов и элементов-микрозагрязнителей (например, мышьяка и других металлоидов).

Для дрейфующих мин важны оперативные предупреждения и моделирование траекторий на основе данных о течениях и ветре, чтобы снижать вероятность контакта судов и рыболовных орудий лова с опасными предметами [5, с. 353; 5, с. 359]. Для потенциально загрязняющих затонувших судов – оценка остаточного запаса топлива и сценариев утечки, а также меры по локализации и предотвращению хронического загрязнения [1, с. 48].

Важный организационный элемент – единые процедуры действий при случайных находках. Европейский обзор практик по подводным UXO фиксирует востребованность общих моделей реагирования, учитывающих особенности морских сообществ (рыболовство, транспорт, строительство, туризм), и практик удаления с минимальным воздействием на среду [4, с. 4-6].

Необходимо учитывать климатический фактор: усиление штормов и изменение режимов циркуляции увеличивает риск перемещения объектов и ускоряет деградацию оболочек боеприпасов, поэтому программы мониторинга должны быть регулярными, а не разовыми [6, с. 1].

В рамках работы автором разработано и находится в процессе патентования решение (полезная модель), ориентированное на повышение эффективности мониторинга опасных морских объектов в прибрежно-морской зоне (рис.). Содержательно решение направлено на ускорение трех ключевых операций: (1) выявление и первичная классификация опасного объекта, (2) точная фиксация пространственно-временных параметров обнаружения (координаты, время, условия), (3) стандартизированная передача сведений ответственным службам для последующих действий (проверка, постановка на учет, ограничение района, обследование, нейтрализация).

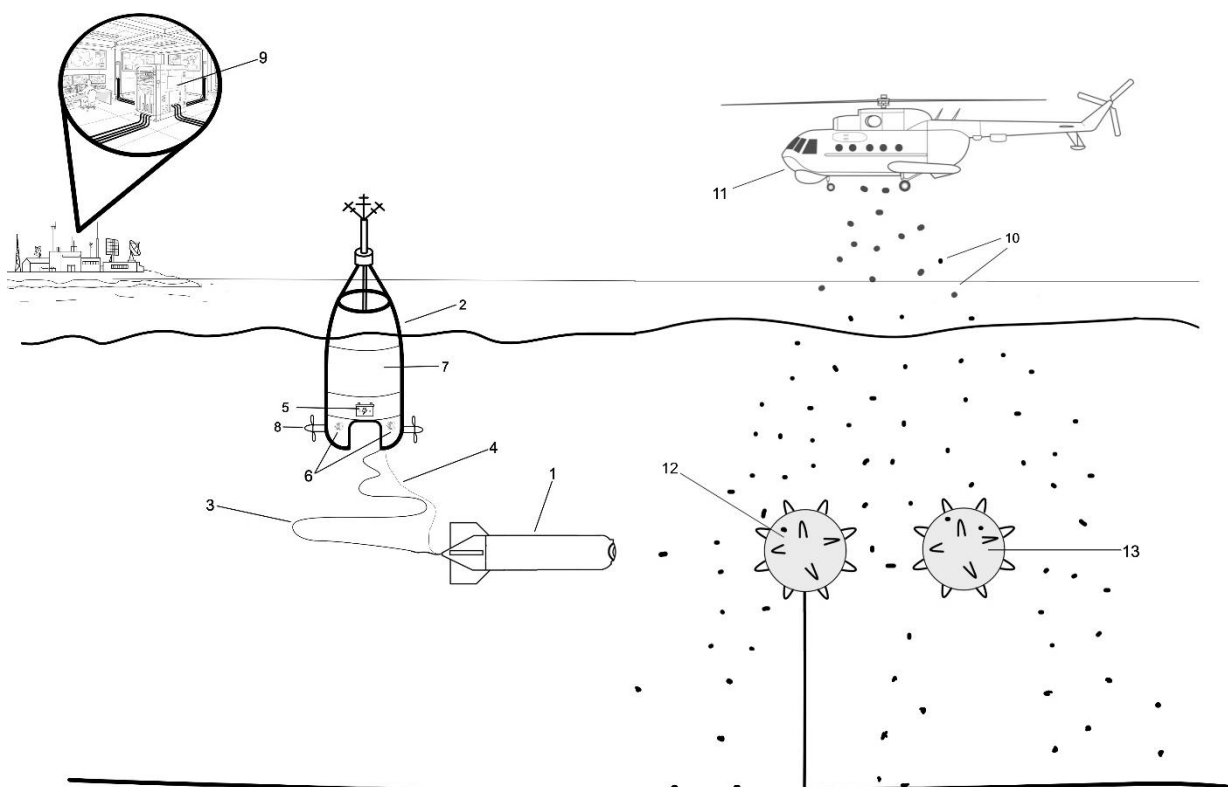


Рис. 1. Общая схема системы обнаружения и сопровождения подводных объектов «составлено автором». Обозначения: 1 – автономный необитаемый подводный аппарат; 2 – надводный буй; 3 – защищённый оптоволоконный кабель; 4 – укрепляющая металлическая леска; 5 – источники электропитания надводного буя; 6 – запасные катушки оптоволоконного кабеля; 7 – программно-аппаратные средства переподключения; 8 – гребные винты; 9 – командный пункт; 10 – акустические метки; 11 – летательный аппарат; 12 – якорная мина; 13 – дрейфующая мина

Предлагаемая полезная модель ориентирована на унификацию регистрации событий и накопление сопоставимой базы данных. Это позволяет повышать качество реестра опасных объектов и точность планирования работ: от выбора приоритетных участков обследования до контроля эффективности мер по снижению экологического ущерба (сокращение зон риска для биоты и человека, снижение хронического загрязнения).

Ожидаемый практический эффект – повышение скорости реагирования, снижение вероятности повторных инцидентов и снижение долгосрочных экологических издержек, связанных с коррозионными утечками и вторичным загрязнением. Прикладная ценность решения особенно высока для трансграничных акваторий, где важны совместимость данных и оперативность обмена информацией.

Современные экологические вызовы в Черном море проявляются как сочетание хронических загрязнений (включая нефтяные) и техногенно-исторических факторов – опасных морских объектов, унаследованных от прошлых конфликтов и усилившихся в результате современных событий. Наиболее значимыми источниками риска выступают подводные боеприпасы и районы их захоронений, дрейфующие мины, а также затонувшие суда с нефтепродуктами [1, с. 48; 5, с. 353]. Эффективная система решений должна включать мониторинг, картирование, экологически безопасные процедуры обращения с UXO и

унифицированную фиксацию данных. Авторское запатентованное решение рассматривается как вклад в технологическую часть этой системы, обеспечивающий более оперативное и стандартизированное управление информацией о рисках.

Литература

1. Лискин В.А., Пронин А.А., Руссак Ю.С. Исследование состояния затонувших объектов и экологический мониторинг окружающей их среды в Черном море // Научное обозрение. Технические науки. 2024. № 3. С. 48-52. <https://doi.org/10.17513/srts.1475>
2. Pavlenko L.F., Barabashin T.O., Zhukova S.V. et al. Components of Oil Pollution in Water and Bottom Sediments of the Northeastern Part of the Russian Black Sea Region // Oceanology. 2022. Vol. 62. P. 59-67. <https://doi.org/10.1134/S0001437022010118>
3. Alves Barbosa J., Asselman J., Janssen C.R. Synthesizing the impact of sea-dumped munition and related chemicals on humans and the environment // Marine Pollution Bulletin. 2023. Vol. 187. 15 p. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114601>
4. European Commission. Study on underwater unexploded munition. Draft final report. March 2022. 185 p.
5. Gunduz M., Kutluk D. Detection of possible route of mines broken off during the Russia-Ukraine war with an ocean circulation and a particle model // J. Black Sea/Mediterranean Environment. 2022. Vol. 28, No. 3. P. 353–360.
6. Scharsack J.P., Koske D., Straumer K., Kammann U. Effects of climate change on marine dumped munitions and possible consequence for inhabiting biota // Environmental Sciences Europe. 2021. 33:102. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00537-4>

© Крайнов К.С., 2026

Локотькова Д.В., Русакова Е.Г.

Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева
г. Астрахань, Россия

ВОЗДЕЙСТВИЕ КАРАНТИННОГО ВРЕДИТЕЛЯ ЗЛАТКИ ИЗУМРУДНОЙ (*AGRILUS PLANIPENNIS*) НА ЯСЕНЕВЫЕ НАСАЖДЕНИЯ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh) появился в культуре на территории Европы в XVIII веке, а популярным стал с первой половины XX века. В СССР широко использовался для создания полезащитных лесонасаждений, особенно на юго-востоке европейской части России. В настоящее время ясень широко распространён по всей средней полосе России.

Астраханская область расположена в зоне опустыненных степей и северных пустынь, ее лесистость составляет лишь 1,8% [1, с. 41]. На территории области посадки ясеня пенсильванского появились в конце 20-х годов XX века. В 60-70-х годах ясень активно использовался в создании защитных лесополос. Древесная порода оказалась хорошо приспособленной к аридным климатическим условиям региона, со временем ясень стал активно мигрировать в естественные ленточные пойменные и дельтовые леса, вытесняя коренные виды.

Интродукция ясеня в Волго-Ахтубинскую пойму привела к его широкому распространению. Данный вид прекрасно переносит длительное затопление во время паводков, дает обильный самосев и подрост. К началу XXI века он естественным путем расселился в лесном фонде Астраханской области и часто образовывал третий или второй ярусы в ивовых и тополевых лесных сообществах. В лесном фонде области до недавнего времени ясень входил в тройку наиболее распространенных лесообразующих пород [1, с. 41]. В Астраханском государственном биосферном заповеднике в первое десятилетие XXI века даже рассматривали возможность радикальных вырубок ясеня, чтобы снизить его влияние на естественные сообщества низовьев дельты Волги.

Переломным моментом в распространении ясеня на территории области стали 2024-2025 годы, когда стали наблюдаться явления массового усыхания ясеновых сообществ. Причиной этого явления и массовой гибели ясеня стал карантинный вредитель – ясеновая изумрудная узкотелая златка (ЯИУЗ) (*Agrilus planipennis* Fairmaire), родиной которой является Северо-Восточная Азия.

Первые сообщения об инвазии ЯИУЗ в нашей стране появились в 2007 году [3]. В течение первых десяти лет изумрудная златка довольно широко распространилась на Дальнем Востоке и некоторых областях в европейской части РФ, за последние 5 лет сообщения о появлении и распространении данного вредителя приобрели лавинообразный характер, постоянно появляются новые данные о первичном обнаружении вредителя в южных регионах страны [2; 5; 7-8]. А.Н. Володченко [4, с. 116] отмечает, что за период наблюдений с 2021 по 2024 годы в очагах заражения златка продвинулась на 120-260 км, он полагает, что ведущую роль в непреднамеренном расселении вредителя играет человек, такой же точки зрения придерживаются и другие исследователи [6, с. 55].

В естественном ареале вредителя его кормовой базой служат ясени маньчжурский и китайский (*Fraxinus mandshurica* Rupr. и *F. chinensis* Roxb.), которые достаточно устойчивы к поражению. Европейский вид ясеня обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) и североамериканский вид ясеня пенсильванский (*F. pennsylvanica* Marshall) оказались неустойчивыми, и при поражении вредителем начинают усыхать и погибать, причем ясеня пенсильванский поражается сильнее и погибает раньше.

Самки ЯИУЗ откладывают яйца в щели коры ясеня. После вылупления из яиц личинки питаются флоэмой, камбием и наружной ксилемой. Личинки растут и развиваются до двух лет, за это время они прокладывают под корой длинные извилистые ходы (рис. 1), которые нарушают проводящую систему дерева, приводя его к постепенной гибели. Обнаружить вредителя можно только при внимательном осмотре деревьев по наличию частичного или полного усыхания ветвей, а также отверстий на стволе (рис. 2).



Рис. 1. Ходы личинок ясеневой златки под корой. Фото Д.В. Локотьковой



Рис. 2. Отверстие вылета насекомого. Фото Д.В. Локотьковой

По данным федерального государственного надзора в сфере оборота древесины и осуществления лесной охраны по Астраханской области и Республике Калмыкия заражение ясеней златкой на территории Астраханской области началось в 2022 году. Проникновение вредителя произошло на севере региона с территории Волгоградской области, и к 2025 году златка достигла южных районов области, включая низовья дельты Волги. В ряде районов области произошло полное усыхание ясеневых лесов, вместе с тем в пораженных лесах наблюдается порослевое восстановление от основания ствола (рис. 3).



Рис. 3. Высохший ясеневый лес в Астраханской области. <https://clck.ru/3RwXsX>

Также на протяжении последних нескольких лет наблюдается усыхание ясеня в городских насаждениях г. Астрахань, однако специальных исследований по выяснению причин этого явления не проводилось. Специалисты городских муниципальных служб проводят санитарные рубки высохших деревьев без привлечения научных сотрудников. Учитывая массовость гибели ясеня в различных частях города, можно предположить заражение его златкой. Сложность своевременного выявления проблемы связана с тем, что начальные этапы поражения деревьев малозаметны и могут быть объяснены множеством других причин. Исследования показывают, что «явное отмирание деревьев обычно наблюдается на 4–5-й годы после заселения, т. е. тогда, когда плотность популяции вредителя под корой уже высока» [5, с. 171].

В 2025 году во время производственной практики в Астраханском государственном заповеднике Д.В. Локотьковой проводились исследования по изучению поражения ясеня пенсильванского изумрудной златкой [7]. По результатам обследования ста деревьев можно сделать вывод, что сильнее всего вредитель поражает зрелые и старые деревья. После поражения у большинства деревьев наблюдались попытки восстановления, которые выражались в корневых и стеблевых побегах (рис. 4). В травяном ярусе у многих деревьев наблюдались молодые подросты ясеня, что тоже служит попыткой возобновления. Во время исследований были выбраны отдельные экземпляры деревьев для дальнейшего мониторинга.



Рис. 4. Отрастание побегов на стволе пораженного ясеня. Фото Д.В. Локотьковой

У ЯИУЗ на территории нашей страны фактически нет естественных врагов, которые могли бы ограничивать ее численность, за исключением дятлов, которые могут питаться ее личинками. Однако птицы не могут решить проблему стремительного распространения вредителя. Применение инсектицидов также не является эффективным методом борьбы, т.к. личинки находятся под защитой коры, и кроме того их применение может нанести существенный вред экосистемам, вызывая массовую гибель многих видов насекомых.

В настоящее время идут активные исследования по изучению возможностей биологических методов борьбы с ясеневой златкой. Например, в Северную Америку для борьбы с ЯИУЗ были интродуцированы четыре азиатских вида паразитоидов, которые эволюционировали одновременно с ней [10]. На территории Европы есть местные виды, «наиболее значимым паразитоидом златки считают бракониду *Spathius polonicus* (Hymenoptera: Braconidae)» [6, с. 55], также ведется поиск бактериальных патогенов, которые могут быть полезны для борьбы с вредителем [9, с. 68]. По наблюдениям научных сотрудников ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» после заражения и гибели основного ствола ясеня, появившаяся новая поросль фактически не заселяется вредителем, так как его численность резко снижается в результате заселения личинок ЯИУЗ паразитоидами [6, с. 55]. Данный факт свидетельствует о том, что возможно самостоятельное порослевое восстановление ясеневых сообществ с течением времени.

Среди предлагаемых способов биологической борьбы с ЯИУЗ особый интерес вызывает использование энтомопатогенных грибов, которые оказывают овицидное действие на яйца жуков и возможно нарушают жизненный цикл вредителя [11]. С нашей точки зрения применение комплекса биологических способов борьбы с ЯИУЗ может помочь контролировать ситуацию с распространением и размножением вредителя. Особенно актуально использование биологических способов борьбы в населенных пунктах, водоохранных зонах и на особо охраняемых природных территориях.

Литература

1. Бармин А.Н., Бармина Е.А., Безуглова М.С. [и др.]. Атлас Астраханской области. Астрахань: Сорокин Р.В., 2023. 128 с.
2. Баранчиков Ю.Н., Пономарев В.И. Ясеновая изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888) достигла Кавказа // Промышленная ботаника. 2024. Вып. 24, № 1. С. 69-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10845636>
3. Волкович М.Г. Узкотелая златка *Agrilus planipennis* – новый опаснейший вредитель ясеней в европейской части России // <http://www.zin.ru/ANIMALIA/Coleoptera/rus/eab>. 2007.
4. Володченко А.Н. Расширение ареала ясеновой узкотелой златки (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888) на юго-востоке европейской части России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. № 254. С. 112-124.
5. Журавлёва Е.Н., Карпун Н.Н. Первая находка ясеновой изумрудной узкотелой златки (*Agrilus planipennis* Fairmaire) в Ставрополе // Субтропическое и декоративное садоводство. 2023. № 85. С. 169-177. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2023-85-169-178>
6. Кулинич О.А., Ряскин Д.И., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н., Чалкин А.А. Распространение ясеновой изумрудной златки *Agrilus planipennis* на территории России и возможные меры контроля // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. №4 S (20B). С. 54-55
7. Локотькова Д.В., Русакова Е.Г. Повреждение ясеня пенсильванского златкой изумрудной на территории Астраханского государственного биосферного заповедника // Науч. тр. Национального парка «Хвалынский»: сб. науч. статей по материалам XII Международной научно-практической конференции «Особо охраняемые природные территории: прошлое, настоящее, будущее». Саратов – Хвалынский: Амирит, 2025. Вып. 17. С. 190-195.
8. Мартынов В. В., Губин А. И., Никулина Т. В., Орлатый А. А. Первая находка ясеновой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera, Buprestidae) в Донбассе // Труды Русского энтомологического общества. 2024. Т. 95, № 1. С. 54-57. <https://doi.org/10.56304/S160576782401005X>.
9. Орлова-Беньковская М.Я., Беньковский А.О. Поиск бактериальных патогенов и мутуалистических симбионтов ясеновой изумрудной узкотелой златкой (*Agrilus planipennis*) // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № 4S(20B). С. 67-68.
10. Kenis M., Eisenring M., Gossner M. M., Seehausen M. L., Parasitoids of *Agrilus* spp. in Europe: Anticipating the arrival of *Agrilus planipennis*, Biological Control, Volume 199, 2024, 105655. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105655>.
11. Ovicidal Effect of Entomopathogenic Fungi on Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, Eggs / S. Simeto, B. W. Held, D. N. Showalter [et al.] // Forests. 2024. Vol. 15, No. 12. P. 2170. <https://doi.org/10.3390/f15122170>. EDN WCBMCL.

© Локотькова Д.В., Русакова Е.Г., 2026

Мальгина Д.А., Кушанова А.У.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УЧЕТА ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА

Учет лесных участков является неотъемлемым элементом государственной кадастровой системы и представляет собой совокупность мероприятий, направленных на формирование, накопление и актуализацию сведений о состоянии лесного фонда. В рамках кадастрового учета обеспечивается систематизация информации о площади лесных участков, их пространственном расположении, породном составе лесных насаждений, целевом и функциональном назначении, а также об установленных ограничениях и обременениях в использовании территории. Наличие достоверных и актуальных данных о лесных участках создает основу для эффективного управления лесными ресурсами, осуществления государственного контроля и надзора, а также для принятия обоснованных управленческих решений в сфере лесопользования [2, с. 207].

Цель исследования заключается в проведении комплексного анализа использования лесных участков на территории Нижневартовского района, изучении действующей системы кадастрового учёта лесных ресурсов, оценке эффективности их использования и выявлении проблем в организации лесного хозяйства.

В соответствии со статьей 7 Лесного кодекса Российской Федерации, лесной участок представляет собой земельный участок, находящийся в пределах границ лесничеств и сформированный в предусмотренном законом порядке с учетом требований земельного и лесного законодательства. Таким образом, лесной участок является одновременно объектом земельных и лесных правоотношений, что обуславливает необходимость согласованного учета его характеристик в рамках двух отраслей права [4, с. 156]. Несоответствие или неполнота сведений о лесных участках, в том числе отсутствие информации об установленных охранных зонах линейных объектов, приводит к искажению данных государственного кадастра и снижает эффективность регулирования землепользования и лесопользования [1, с. 37].

В условиях Нижневартовского района, характеризующегося высокой плотностью размещения объектов инженерной инфраструктуры, вопросы учета лесных участков приобретают особую актуальность, поскольку именно от полноты и точности кадастровых сведений зависит баланс между развитием инфраструктуры и сохранением лесного потенциала региона.

Согласно данным Росреестра в Нижневартовском районе 96% земель в границах района занимают земли лесного фонда, которые представлены следующими лесничествами: Нижневартовское, Мегионское, Аганское.

В состав Нижневартовского лесничества входят 5 участковых лесничеств:

1. Нижневартовское (площадь – 272 777 га).
2. Излучинское (площадь – 705 292 га).

3. Охтеурское (площадь – 676 304 га).
4. Ларьякское (площадь – 1 246 392 га).
5. Корликовское (площадь – 3 422 533 га).

В пределах Нижневартовского района лесные участки задействованы в различных целях – от заготовки древесины и организации отдыха до ведения сельского хозяйства, охоты и других направлений, предусмотренных статьями 24 и 25 Лесного кодекса РФ и нормативными правовыми актами, утвержденными органами исполнительной власти Российской Федерации. Порядок использования лесов определен в лесохозяйственных регламентах, составленных лесничествами в соответствии с требованиями федерального законодательства.

На основе анализа разрешенных видов использования земельных участков лесного фонда, поставленных на государственный кадастровый учет, по данным публичной кадастровой карты и кадастрового плана территории было установлено, что в Нижневартовском районе лесные участки, согласно статье 25 Лесного Кодекса РФ, эксплуатируются (арендуются) организациями по 4 основным видам использования:

- заготовка древесины;
- осуществление рекреационной деятельности;
- осуществление геологического изучения недр, разведка и добыча полезных ископаемых;
- строительство, реконструкция, эксплуатация линейных объектов.

Правовое регулирование использования лесных участков под линейными объектами, в том числе линий электропередач, осуществляется нормами земельного и лесного законодательства Российской Федерации. Важное значение для данного исследования имеют положения Земельного кодекса РФ, Постановление Правительства РФ № 160 от 24.02.2009 «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон», регламентирующее установление охранных зон объектов электросетевого хозяйства, а также Приказ Минприроды России № 434 от 10.07.2020 «Об утверждении Правил использования лесов для строительства, реконструкции, эксплуатации линейных объектов и Перечня случаев использования лесов для строительства, реконструкции, эксплуатации линейных объектов без предоставления лесного участка, с установлением или без установления сервитута, публичного сервитута», устанавливающего правила использования лесов при строительстве и эксплуатации линейных объектов.

Линии электропередач относятся к числу таких объектов, для которых в процессе строительства формируется полоса отвода во временное пользование, а после ввода объекта в эксплуатацию земельные участки оформляются в постоянное пользование исключительно под опорами. Параллельно определяется охранный зона линии электропередачи – территория с особыми условиями землепользования, где вводятся специальные ограничения и обязательства относительно эксплуатации и использования этих участков.

Следует отметить, что действующие нормы отвода земель под линейные объекты в ряде случаев не обеспечивают рационального использования земель лесного фонда. Формирование

охранных зон существенно ограничивает возможность использования прилегающих территорий, при этом данные зоны нередко не отражены в Едином государственном реестре недвижимости. Недостатки землепользований, таких как чересполосица, вкрапливания и вклинивания, препятствуют рациональному землепользованию, поскольку к таким территориям зачастую нет свободного прохода и проезда. Кроме того, действующее законодательство не содержит продуманной системы использования земельных участков под линиями электропередач, земельный участок под которыми отведено только под опорами и на которые возложены ограничения и обременения (охранная зона), что полноценно препятствует полноценному и рациональному использованию территории [3, с. 57].

Для анализа был рассмотрен лесной участок с кадастровым номером 86:04:0000001:8094, расположенный на землях лесного фонда Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Участок является ранее учтенным, многоконтурным и сформирован под существующие опоры воздушной линии электропередачи напряжением 35 кВ «Пермяки – Ларьяк», кадастровая стоимость 993 738 руб., удельный показатель кадастровой стоимости 174, 34 руб./кв.м. Общая площадь земельных участков под опорами составляет 5700 кв. м, при этом сведения об охранной зоне линии электропередачи в Едином государственном реестре недвижимости отсутствуют. Целевое назначение лесов – эксплуатационное. Площадь лесного участка неоднородна по преобладающим породам: 3700 кв.м. площади покрыто хвойными породами, а 2000 кв.м. – мягколиственными.

С использованием геоинформационных технологий была смоделирована полоса отвода шириной 11 м в соответствии с действующими нормами отвода под линейные объекты, а также охранная зона шириной 15 м с каждой стороны от оси линии электропередачи (рис.).

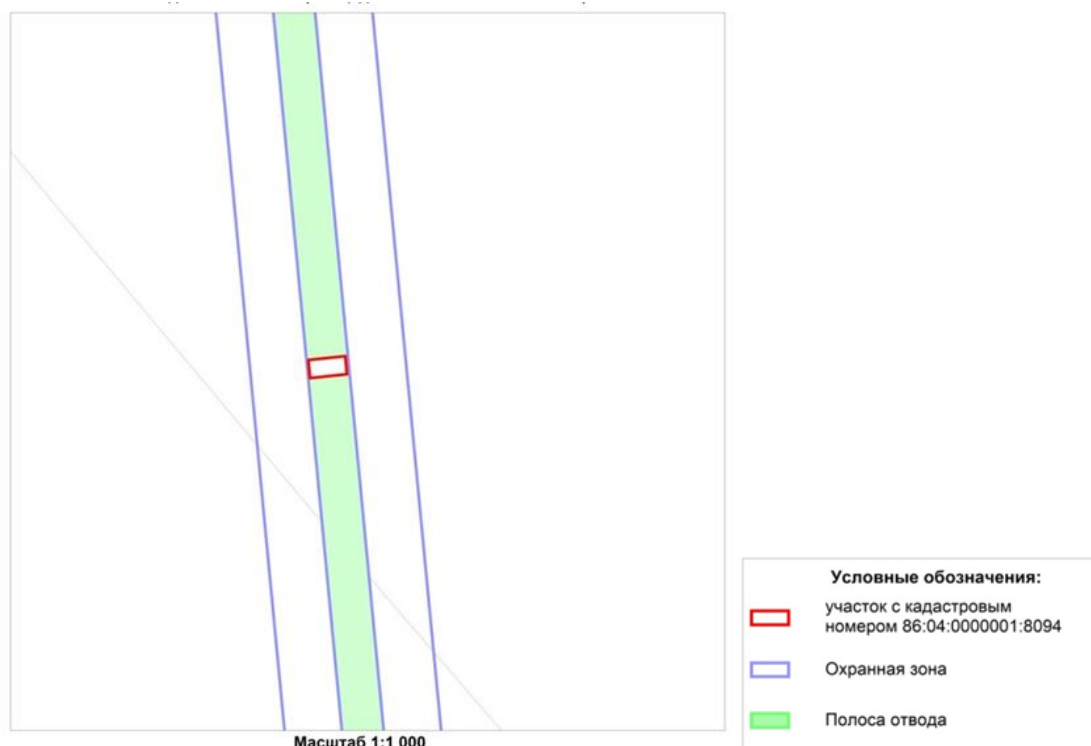


Рис. Схема расположения земельного участка с кадастровым номером 86:04:0000001:8094 под линию ВЛ-35 кВ (площадью 0.5700 га) [составлено автором]

Протяженность линии электропередач в границах анализируемого участка составила 40,38 км. Общая площадь полосы отвода достигла 44,42 га, а площадь охранной зоны – более 121 га, что существенно превышает площадь земельных участков, учтенных в Едином государственном реестре недвижимости.

Размещение линейных объектов на территориях лесного фонда требует заключения договора аренды лесного участка. Арендовать допускается только лесные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности и поставленные на государственный кадастровый учет. Срок действия договора аренды составляет от десяти до сорока девяти лет и подлежит обязательной регистрации в установленном порядке. Величина арендной платы устанавливается уполномоченными органами власти исходя из минимальных ставок, предусмотренных Лесным кодексом РФ, а также действующими нормативными правовыми актами:

– Постановление Правительства РФ от 23.12.2022 № 2405 «О применении в 2023–2026 годах коэффициентов к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности»;

– Постановление Правительства РФ от 22.05.2007 № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».

Расчёт арендной платы за лесной участок осуществляется органами государственной власти и местного самоуправления в пределах своих полномочий, определённых статьями 81–84 Лесного кодекса Российской Федерации.

Размер арендной платы по договору аренды лесного участка определяется на основе минимального размера арендной платы, устанавливаемого в соответствии с лесным законодательством.

Расчет арендной платы производится по следующей формуле (1):

$$A = S_{\text{участка}} \times A_{\text{ставка}} \times A_{\text{п}} \times K_{\text{п1}} \times K_{\text{п2}}, \quad (1)$$

где:

$S_{\text{участка}}$ – площадь участка (га);

$A_{\text{ставка}}$ – размер оплаты за использование единицы площади лесного участка (определяемый в зависимости от вида лесного хозяйства согласно доминирующим древесным породам) установлен постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2022 г. № 2405, для хвойных пород $A_{\text{ставка}} = 2249,14$ руб/га в год, для мягколиственных пород $A_{\text{ставка}} = 2157,12$ руб/га в год (табл. 1).

Таблица 1

Ставки платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности, при строительстве, реконструкции и эксплуатации линейных объектов [составлено автором]

Группы основных и неосновных древесных пород лесных насаждений по субъектам Российской Федерации, муниципальным образованиям	Ставка платы, рублей за гектар в год
Хвойные	2249,14
Мягколиственные	2157,12

A_{Π} – ставка платы за единицу объема лесных ресурсов в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 23 декабря 2022 № 2405, составляющий 2,93 (за 2026 год);

$K_{\Pi 1}$ – коэффициент (Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 года №310), равный 1;

$K_{\Pi 2}$ – коэффициент (Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 года № 310), равный 2

Рассчитаем арендную плату за земельный участок с кадастровым номером 86:04:0000001:8094 общей площадью 0,57 гектара, занятую опорами линии электропередачи. Из этой площади 0,37 га приходится на лесные участки с древесной растительностью типа «Хвойное», а оставшиеся 0,20 га – на участки с древесной растительностью типа «Мягколиственное».

Соответственно, при площади 0,57 га под опорами линии электропередач арендная плата по установленной методике составит 7 405 руб./год (табл. 2).

Таблица 2

Расчет арендной платы по лесному участку с кадастровым номером 86:04:0000001:8094 под опорами линии электропередач 35 кВ [составлено автором]

№ п/п	Целевое назначение лесов	Площадь, га	Типы хозяйств по преобладающим породам	$A_{\text{ставка}}$	A_{Π}	$K_{\Pi 1}$	$K_{\Pi 2}$	A, руб.
1	Эксплуатационные	0,37	Хвойное	2249,14	2,93	1	2	4 877
2	Эксплуатационные	0,20	Мягколиственное	2157,12	2,93	1	2	2 528
ИТОГО		0,57						7 405

Далее выполним расчёт арендной платы за лесной участок с тем же кадастровым номером 86:04:0000001:8094, общая площадь которого – 44,42 гектара, включая полосу отвода. При этом 22,21 га относятся к лесным территориям с древесной растительностью типа «Хвойное», а остальные 22,21 га – к участкам с типом растительности «Мягколиственное» (табл. 3).

Таблица 3

Расчет арендной платы по лесному участку с кадастровым номером 86:04:0000001:8094 под полосой отвода линии электропередач 35 кВ [составлено автором]

№ п/п	Целевое назначение лесов	Площадь, га	Типы хозяйств по преобладающим породам	$A_{\text{ставка}}$	A_{Π}	$K_{\Pi 1}$	$K_{\Pi 2}$	A, руб.
1	Эксплуатационные	22,21	Хвойное	2249,14	2,93	1	2	292 727
2	Эксплуатационные	22,21	Мягколиственное	2157,12	2,93	1	2	280 751
ИТОГО		44,42						573 478

Проведя расчет арендной платы по договору аренды за использование земельного (лесного) участка с кадастровым номером 86:04:0000001:8094 под опорами линии электропередач 35 кВ и полосой отвода данного участка, было установлено, что аренда под полосой отвода, необходимой для строительства объекта, в 77 раз меньше стоимости аренды всей полосы отвода. Этот факт наглядно показывает, что необходимо грамотно формировать образование земельных участков, а особенно линейных объектов.

Подводя итог, мы можем сделать вывод, что анализ использования и учета лесных участков на территории Нижневартовского района демонстрирует важность точного кадастрового учета для эффективного управления лесными ресурсами [5]. Современные подходы к учету позволяют обеспечить актуальность данных и способствуют более рациональному распределению ресурсов, что в свою очередь повышает эффективность лесного хозяйства в регионе.

Литература

1. Беликова А.С. Организация кадастрового учета лесных участков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 36-40.
2. Вараксин Г.С., Гаевская В.С. Современные проблемы постановки на кадастровый учет лесных участков // Современные проблемы рационального природообустройства и водопользования. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. С. 207-211.
3. Ершова Н.В., Рахманова Ю.А., Адодина А.А. Кадастровый учет лесных участков // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2022. № 1(14). С. 54-58.
4. Майборода В.А., Майборода Э.Т. Единство учета земель и земельных участков – принцип земельного законодательства // Аграрное и земельное право. 2025. № 4. С. 155-157.
5. Korkina E., Kushanova A., Seredovskich B. Grazing capacity of reindeer pastures in the boreal zone of the West Siberian Plain // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, 03–05 июля 2023 года. Vol. 71. Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. P. 1031. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101031>

© Мальгина Д.А., Кушанова А.У., 2026

Мартынович Д.И.

Пермский государственный национальный исследовательский университет
г. Пермь, Россия

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУКАХ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Введение. На данной ступени развития науки и различных информационных технологий искусственный интеллект (ИИ), нейросети, технологии машинного обучения (МО) стали значимыми и, возможно даже, необходимыми инструментами российских и зарубежных исследователей. Во многом это связано с тем, что они способны с достаточно высокой скоростью обрабатывать информацию. В связи с этим методы ИИ закрепились в различных сферах трудовой деятельности человека. Стоит отметить, что данные технологии применяются и в областях деятельности человека, которые не так прочно связаны с наукой. К примеру, ИИ и МО нашли своё место в промышленности при автоматизации производства, медицине (различные чат-боты, помогающие больным), музыке и др. Конечно же данные информационные технологии, которые действительно являются общенаучными (и не только) инструментами, не могли обойти геологию стороной. Однако, в связи с тем, что обзорных статей о применении ИИ в геологических науках крайне мало, создаётся ошибочное впечатление, что применение данных технологий в геологических исследованиях является лишь единичным случаем, не имеющим прикладного значения. Целью этого исследования является рассмотрение применения искусственного интеллекта в различных геологических исследованиях, чтобы показать эффективность, необходимость, значимость и целесообразность применения искусственного интеллекта в различных геологических науках, а также выделить те направления исследований, в которых необходимо использование искусственного интеллекта.

Геологоразведка и геофизика. Во-первых, ИИ активно используется в геологоразведке. При помощи искусственного интеллекта происходит процесс обработки геологических данных, что позволяет ускорить анализ и выделить связи между различными показателями. Кроме того, анализ данных можно осуществлять и с помощью технологии машинного обучения, что позволяет, к примеру, определять черты геологического строения местности на основе различных показателей. [9, с. 141] Стоит отметить, что нейронные сети позволяют достоверно идентифицировать линеаменты, что действительно необходимо для понимания истории геологического развития определённой территории и обнаружения подземных коллекторов, вмещающих нефть и газ [31, с. 32]. Также технологии машинного обучения используются для обнаружения геохимических аномалий, так как они эффективнее математических и статистических способов. Более того, данные технологии способны создавать карты ПИ (полезных ископаемых) [14, с. 3] и литологические карты [15, с. 2]. Кроме того, такой метод искусственного интеллекта, как искусственная нейронная сеть, отлично подходит для распознавания трещин в массиве горных пород в связи с тем, что она приспособлена к анализу двумерных геофизических данных и устойчива к шумам [11, с. 95].

Стоит отметить, что данные технологии используются не только для анализа данных в целях, выявления внутреннего геологического строения территории и наличия ПИ, но и для планирования геологоразведочных работ. То есть данные технологии применяются для рационализации необходимых этапов исследования и таким образом искусственный интеллект сокращает финансовые затраты, ускоряет поиск ПИ [1, с. 259]. К примеру, нейросети используются при разработке буровых растворов [10, с. 166; 17, с. 2]. Другим примером является улучшение эффективности бурения при применении искусственного интеллекта и модели удельной механической энергии [19, с. 4]. Также стоит отметить, что существует перспектива использования различных методов ИИ для обнаружения неисправностей геологического оборудования, поскольку уже сейчас ИИ активно применяются в области обнаружения неисправностей [7, с. 0129].

Кроме того, искусственный интеллект активно применяется в геофизических исследованиях. К примеру, обученная нейросеть способна создать кривую гамма-гамма каротажа [8, с. 72-73]. Другим примером является способность ИИ интерпретировать геофизические аномалии [4, с. 19-20].

Сейсмология. Также ИИ используется в науке, изучающей сейсмические явления. К примеру, ИИ используется при идентификации сейсмических событий и событий антропогенного характера, оценки кривых сейсмоустойчивости [25, с. 2], классификации землетрясений [26, с. 2]. Кроме того, МО способно оценивать ущерб для зданий от землетрясений [12, с. 2] и осуществлять мониторинг землетрясений [14, с. 3].

Инженерная геология. Стоит отметить, что технологии искусственного интеллекта применяются и при инженерно-геологических изысканиях. К примеру, ИИ применяется для оптимизации уплотнения и контроля качества насыпей, классифицирования грунтов, расчётов фундаментов, сооружений, откосов, туннелей, улучшения и упрочнения грунта [3, с. 13]. Кроме того, ИИ способны осуществить картирование оползней [30, с. 2] и оценивать устойчивость склонов [29, с. 3]. Помимо этого, технологии ИИ способны оценивать геотехнические свойства грунта, что необходимо для нужд строительства тех или иных объектов [13, с. 3].

Минералогия. Даже в сфере минералогических исследований ИИ активно применяются, так как нейросети способны с высокой точностью идентифицировать образцы минералов [14, с. 3; 4, с. 20]. Также известно, что они способны в шлифах определять андалузит и выделять зёрна с оолитовой структурой [21, с. 7-10]. Стоит отметить, что существуют исследования, свидетельствующие о том, что ИИ способен проводить минералогический анализ шлихов. Согласно исследованию японских учёных, технологии ИИ смогли идентифицировать монацит, турмалин, кварц, циркон, рутил, кианит эпидот в тяжёлых минеральных песках [22, с. 12-16]. Однако стоит отметить, что в данном исследовании проводились исследования минеральных песков созданных искусственно. Кроме того, из-за того, что ИИ идентифицировал образцы основываясь на спектрах минералов, которые часто пересекаются друг с другом, точность определения была невысокой. Учитывая, также, что пески в данном исследовании были мономинеральные, кажется невозможным применение ИИ для анализа

шлихов. Однако, если проводить анализ песков по другим признакам, таким как цвет, спайность и морфология минерала, то возможно, будут достигнуты более высокие результаты.

Геммология. Кроме того, технологии искусственного интеллекта применяются геммологами. Например, при идентификации драгоценных камней. ИИ, действительно способны идентифицировать драгоценные камни, используя различные наборы данных [16, с. 1; 18, с. 344; 23, с. 2;]. К примеру, нейросети способны определять по изображениям такие драгоценные камни, как кианит, изумруд, бенитоит, топаз, цоизит с точностью 98,34% [27, с. 5]. Кроме того, они способны идентифицировать драгоценные камни по их характерным показателям преломления [28, с. 5].

Нефтегазовая геология. Стоит отметить, что технологии искусственного интеллекта применяются в нефтегазовой геологии для ранжирования методов увеличения нефтеотдачи, определения трещин в пласте, динамического прогноза добычи [2, с. 72]. Также ИИ способны оценивать скорость добычи нефти при заводнении [24, с. 2]

Петрография и литология. Очевидно, что в науках, которые тесно связаны с минералогией, технологии машинного обучения и ИИ будут активно применяться. К примеру, ИИ по шлифам проводят оценку плотности распределения обломочной составляющей в карбонатах с точностью 91,7% [6, с. 29]. Кроме того, существуют исследования свидетельствует о том, что МО способны с достаточно высокой точностью (96%) идентифицировать различные типы известняков. Однако, точность снижается если различные типы известняков находятся в одном шлифе (70–80%) [5, с. 4-5]. Стоит отметить, что нейросети, в частности свёрточные нейронные сети способны анализировать минеральный состав шлифов магматических горных пород. То есть они способны с высокой средней точностью (96%) определять основные породообразующие минералы, такие как амфиболы, мусковит, биотит, плагиоклазы и пироксены [20, с. 8-9].

Перспективы. Приведённые данные свидетельствуют о том, что ИИ чаще всего применяют в геологоразведке и геофизике. Однако во многих других геологических науках также применяют данную технологию. Очевидно, что исследования возможностей применения искусственного интеллекта должны быть направлены на те науки, в которых на данный момент ИИ и МО применяются не так широко. По мнению автора, в первую очередь необходимо найти способ применения данных технологий для минералогического анализа шлифов и литологических проб, в связи с тем, что при исследованиях их необходимо отбирать в больших количествах, а значит такой анализ очень трудоёмкий. По той же причине необходимо продолжать изучать возможности ИИ при анализе шлифов, поскольку несмотря на то, что, на первый взгляд, в этом направлении исследователи достигли успеха для точного анализа шлифов необходимо чтобы технологии ИИ и МО были способны распознавать не только группу минералов, а конкретный вид минерала. К примеру, было бы намного лучше если бы они определяли не группу плагиоклазов, а распознавали альбит, анортит, анортозит и другие минералы этой группы. Как и минералогический анализ шлихов, анализ шлифов очень трудоёмкий, поэтому это действительно важно. Таким образом перспективы применения

искусственного интеллекта в геологических науках, в первую очередь связаны с минералогическим анализом шлихов, литологических проб, шлифов.

Заключение. В данной статье показано многообразие применения технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и нейросетей в геологических науках. Нельзя отрицать, что данные технологии стали неотъемлемой частью исследований и одним из важнейших инструментов геолога современности. Кроме того, выделены наиболее перспективные направления для применения ИИ в исследованиях.

Литература

1. Асадов А.Р., Халилов А.А., Ахмадов Ш.И. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа геологических данных // Journal of Advanced Research and Stability. 2023. № 1(3). С. 258-264.
2. Велиев Э.Ф., Ширинов Ш.В., Маммедбейли Т.М. Интеллектуальное нефтегазовое месторождение на основе технологий искусственного интеллекта // SOCAR Proceedings. 2022. № 4. С. 70-75.
3. Вербель М.А. Применение искусственного интеллекта при геологических изысканиях в транспортном строительстве // Наука, образование и культура. 2023. № 2(65). С. 13-15.
4. Гурбанова О., Байрамов Д, Чарыев Б., Чарыев Б. Применение нейросетей в минералогии // Инновационная наука. 2025. № 3-2-2. С. 19-20.
5. Журавлёв А.В., Груздев Д.А. Автоматизированная диагностика карбонатных пород по микрофотографиям шлифов на основе машинного обучения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2024. № 2. С. 1-9.
6. Журавлёв А.В., Груздев Д.А. Анализ изображений шлифов карбонатных обломочных пород с помощью систем на основе искусственного интеллекта // Вестник геонаук. 2024. № 6(354). С. 28-31. <https://doi.org/10.19110/geov.2024.6.3>
7. Ковито М.А. Обнаружение неисправностей механического оборудования с использованием методов интеллектуального анализа данных // Информатика. Экономика. Управление – Informatics. Economics. Management. 2022. № 1(2). С. 0121-0133. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-2-0121-0133>
8. Привалова О.Р., Гаделева Д.Д., Минигалиева Г.И., Тимерханов Р.Ф., Емельянова Т.Ю. Комплексная интерпретация материалов геофизических исследований скважин каширо-подольских отложений с применением нейронных сетей // Разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 1. С. 69-76. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-1-69-76>
9. Сергеев И.С., Кукса К.А., Глебова А.Б. Спектральный анализ рельефа с построением нейронной сети для решения поисковых задач на примере горного массива Лук-Тьен (Северный Вьетнам) // Геоморфология и палеогеография. 2023. № 3. С. 138-140
10. Третьяк А.Я., Кузнецова А.В., Борисов К.А., Карельская Е.В. Нейросетевое прогнозирование реологических параметров бурового раствора // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. № 8. С. 163-173.

11. Шамаев С.А. Применение методов искусственного интеллекта при обработке и интерпретации данных геофизических методов // Известия УГГУ. 2022. № 1(65). С. 86-101.
12. Belhadj F.Z., Belhadj A.F., Chabaat M. Machine-learning seismic damage assessment model for building structures // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(2). 100155. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100155>
13. Bolleve A., Eddies R., Staring M. Benboudiaf Y., Pournaki H., Nepveaux M. Innovative cone resistance and sleeve friction prediction from geophysics based on a coupled geo-statistical and machine learning process // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(1). 100110. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100110>
14. Chen L., Wang L., Miao J., Gao H., Zhang Y., Yao Y., Bai M., Mei L., He J. Review of the Application of big data and artificial intelligence in geology // Journal of physics: Conference series. 2020. № 1684. 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1684/1/012007>
15. El-Omairi M.A., El Garouani A. A review on advancements in lithological mapping utilizing machine learning algorithms and remote sensing data // Heliyon, 2023. № 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20168>
16. Freire W.M., Amaral A.M.M., Costa Y.M.G. Gemstone classification using ConvNet with transfer learning and fine-tuning // IWSSIP. 2022. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP55020.2022.9854441>
17. Gunel B.T., Pak Y.D., Herekeli A.O., Gul S., Kulga B., Artun E. Machine learning assisted estimation of total solids content of drilling fluids // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(2). 100138. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100138>
18. Huang H., Cui R. Deep multi-feature fusion CNNs with gemstone image classification algorithm // ICSPS. 2022. P. 344-349. <https://doi.org/10.1109/ICSPS58776.2022.00066>
19. Khalilidermani M., Knez D. A survey of application of mechanical specific energy in petroleum and space drilling // Energies. 2022. Volume 15. P. 3162. <https://doi.org/10.3390/en15093162>
20. Krah K., Ouattara S., Ouattara G., Allialy M.E., Clement A. Identification of major minerals in igneous rock microscopic images from thin sections through deep neural network analysis // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(2). 100157. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100157>
21. Morales J., Saldivia C., Lobo R., Pino M., Munoz M., Caniggia G., Catalan J., Hayde R., Poblete V. Visual analysis of deep learning semantic segmentation applied of deep to petrographic thin sections // Sci. Rep. 2025. № 15. 14162. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99767-2>
22. Muacanhia O., Okada N., Ohtomo Y., Kawamura Y. Artificial intelligence-based hyperspectral classification of rare Earth element-related heavy mineral sand // Minerals. 2025. № 15. 1015. <https://doi.org/10.3390/min15101015>
23. Nadimpali M.S.K., Baleboyina K.M.K., Vundavalli Y.D., Tummalapenta T.T., Kamepalli S. Enhancing gemstone classification accuracy: a deep learning approach using CNN, VGG-19 and Xception // ICICEC. 2024. P. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICICEC62498.2024.10808514>

24. Nsulangi P.T., Ngongi W.E., Kafuku J.M., Liang G.Z. Comparison of processing speed of NRS-ANN hybrid and ANN models for oil production rate estimation of reservoir under waterflooding // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(2). 100139. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100139>
25. Saint R., Feau C., Martinez J.M., Garnier J. Efficient methodology for seismic fragility curves estimation by active learning on Support Vector Machines. // Structural Safety. 2020. № 86. 101972. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2020.101972>
26. Shakeel M., Itoyama K., Nishida K., Nakadai K. Earthquake magnitudes classification on seismic signals via convolutional recurrent networks // SICE International Symposium on system integration. 2021. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF49454.2021.9382696>
27. Sidhu K.S., Negi P., Alam F., Ahmad S., Anandaram H., Joshi K. Gemstone identification and authentication using CNN and KNN: A hybrid classification Approach // CONIT. 2025. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONIT65521.2025.11167692>
28. Thaneshaan R., Thiruketheeswaran H., Aanantharasa K., Arulpirathan P., Jaliya C., Murugaiya R. Machine learning-based gemstone classification through analysis of absorption band spectrum images and refractive index // SCSE. 2024. P.1-6. <https://doi.org/10.1109/SCSE61872.2024.10550766>
29. Ural B., Kaya H. An application of artificial intelligence for slope stability assessment // Journal of African Earth science. 2021. № 181. 104301. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104301>
30. Uribe-Ventura R., Viveen W., Pinedo-Ancco F., Beltran-Castanon C. GeoNeXt: Efficient landslide mapping using a pre-trained ConvNeXt V2 encoder with a PSA-ASPP decoder // Artificial Intelligence in Geosciences. 2025. № 6(2). 100172. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100172>
31. Zhou R., Cai Y., Zong J., Yao X., Yu F., Hu G. Automatic fault instance segmentation based on mask propagation neural network // Artificial Intelligence in Geosciences. 2020. № 1. P. 31-35.

© Мартынович Д.И., 2026

Раджабмахмадова Я.Х.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

ЛАНДШАФТНАЯ РЕВИТАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТА РЕКРЕАЦИИ В ПРИГОРОДЕ КРУПНОГО ГОРОДА

В процессе урбанизации всё чаще возникает проблема ухудшения состояния природных экосистем, на которые воздействуют нагрузки крупных городов. Особенно уязвимыми оказываются водно-болотные территории, которые нередко эксплуатируются без учёта их природных особенностей, подвергаются осушению и застраиваются. Это приводит к нарушению естественных гидрологических процессов и ухудшению экологического состояния среды, что в свою очередь негативно сказывается на экологической устойчивости территорий и качестве рекреационной среды вблизи крупных городов. Вместе с тем водно-болотные экосистемы являются важным элементом природного каркаса городских и пригородных территорий. В отличие от изолированных зелёных насаждений, такие участки работают как многофункциональные природные системы, выполняют связующие и стабилизирующие функции, обеспечивают широкий спектр экосистемных услуг, например, участвуют в накоплении и естественной фильтрации поверхностных вод, снижают риск подтоплений, влияют на формирование благоприятного микроклимата и способствуют поддержанию биоразнообразия [2]. Кроме экологических функций, водно-болотные зоны играют важную социальную роль, обеспечивая условия для рекреации, познавательного отдыха и экологического просвещения. При грамотной архитектурно-ландшафтной организации они могут быть интегрированы в рекреационную структуру территории без утраты своей природной ценности.

Интерес к данной теме обусловлен выполнением дипломного проекта по специальности «Архитектура», посвящённого архитектурно-ландшафтной реконструкции профилактория «Политехник» Белорусского национального технического университета, расположенного в пригородной зоне столичного города Минска на берегу искусственного Заславского водохранилища («Минское море») (рис. 1, 2).

Территория профилактория находится в зоне пересечения интересов рекреационного использования и требований по охране природной среды. С одной стороны, объект ориентирован на отдых и оздоровление, с другой – включает водоохранные и прибрежные зоны, чувствительные к антропогенному воздействию (рис. 3). Участок общей площадью 2,3 га располагается у кромки водоёма и на 78% покрыт древесно-кустарниковой растительностью и травяным покровом. В настоящее время на территории функционирует основной корпус санаторно-профилактического назначения, интегрированный в существующую природную среду. В связи с особенностями объекта проектирования возникла необходимость поиска таких архитектурно-ландшафтных решений, которые позволили бы совместить потребности отдыхающих с задачами сохранения и восстановления природных компонентов территории. В этой связи выполнен научный поиск экологически

ориентированных подходов к формированию городской среды и выявлены методы, которые основаны на сохранении и имитации природных процессов водно-болотных экосистем [3; 6].



Рис. 1. Ситуационная схема расположения профилактория «Политехник» [1]



Рис. 2. Общий вид на территорию профилактория «Политехник» [1]

Приёмы архитектурно-ландшафтной реабилитации водно-болотных территорий.

В практике архитектурно-ландшафтной реабилитации водно-болотных территорий применяется ряд приёмов, основанных на восстановлении природных гидрологических процессов. К наиболее распространённым относятся формирование дождевых садов и биоканав для сбора и фильтрации поверхностных вод, создание прибрежных влажных зон с использованием влаголюбивой растительности, восстановление естественного рельефа и понижений, а также организация многоуровневых береговых линий [5]. В ряде реализованных проектов данные приёмы сочетаются с пешеходными маршрутами, настилами и смотровыми площадками, что позволяет интегрировать водно-болотные экосистемы в рекреационную

структуру территории без нарушения их экологических функций [4]. Такой подход способствует одновременному улучшению экологического состояния среды и повышению её рекреационной привлекательности.

Также к примерам лучшей практики относится реализация концепции «город-губка» (Sponge City). Данная концепция предполагает удержание, накопление и очистку дождевых и талых вод непосредственно на территории рекреационного объекта за счёт использования ландшафтных и природно-ориентированных решений [7; 8]. В поиске аргументации выделения средств на реализацию таких проектов авторы концепции пришли к утверждению, что водно-болотные экосистемы – это функциональный ресурс, позволяющий повысить экологическую устойчивость территорий и улучшить качество рекреационных пространств.

Ревитализация водно-болотной экосистемы при реконструкции площадки профилактория «Политехник».

Выбор приёмов архитектурно-ландшафтной реабилитации территории профилактория БНТУ основан на анализе существующего состояния площадки и выявленных проблемных зон. Основное внимание уделяется участкам с нарушенным водным режимом, а также зонам, где природные особенности территории в настоящее время используются неэффективно (рис. 3). Так, например, непосредственно вблизи зоны массовых мероприятий, чтобы защитить берег от избыточной нагрузки посетителей и создать комфортные условия отдыхающим, предлагается организовать понтонную набережную.

В проблемных местах примыкания пешеходных маршрутов к входным зонам у зданий профилактория, где после выпадения осадков наблюдается скопление воды, целесообразно устройство дождевых садов (1, с. 44). Эти озеленённые понижения с влаголюбивой растительностью (рис. 4). позволят задерживать и постепенно впитывать поверхностные воды, одновременно формируя визуально привлекательные элементы ландшафта (рис. 5).

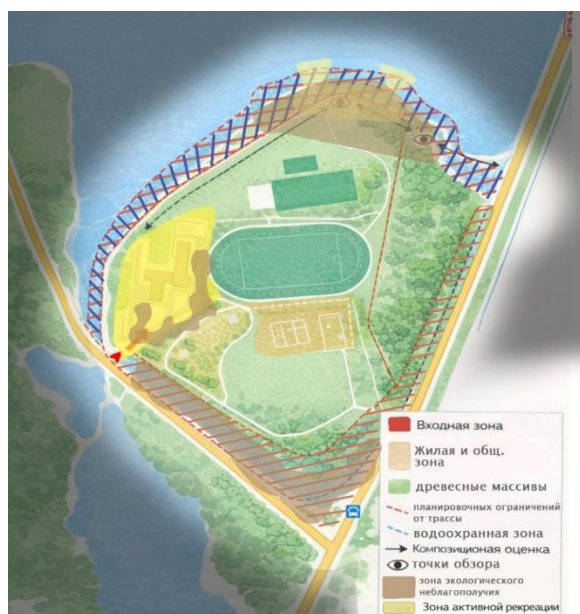


Рис. 3. Схема анализа существующего состояния территории профилактория «Политехник»



Рис. 4. Пример устройства дождевого сада у входных зон и вдоль фасада здания [9]



Рис. 5 Схема проектных предложений по ревитализации территории профилактория «Политехник»

На пониженных участках рельефа, где отмечается переувлажнение почв, рекомендуется сохранение и развитие естественных влажных зон с последующей организацией небольших водных элементов. Вместо осушения данных территорий предлагается их адаптация под рекреационные функции, что соответствует принципам восстановления водно-болотной экосистемы и позволяет сохранить природный характер территории.

Для улучшения условий передвижения по территории и снижения антропогенной нагрузки на почвенный покров целесообразно использование водопроницаемых покрытий на пешеходных дорожках второстепенного значения. Такой приём способствует уменьшению

поверхностного стока и поддержанию естественного водного баланса, что особенно важно для участков с повышенной влажностью.

На наиболее увлажнённых прибрежных зонах рекомендуется устройство деревянных настилов и экологических троп. Это позволит направить движение посетителей, предотвратить уплотнение почвы и сохранить растительный покров. Одновременно такие элементы формируют дополнительные сценарии спокойного отдыха и оздоровительных прогулок, что соответствует функциональному назначению профилактория.

С целью объединения отдельных природных и функциональных зон в единую рекреационную систему предлагается формирование непрерывной сети из озелененных территорий с различными характеристиками, соответствующими предполагаемым рекреационным нагрузкам. Использование местных видов деревьев, кустарников и травянистых многолетних растений, устойчивых к переувлажнению, позволит снизить затраты на уход и обеспечить устойчивость ландшафтных решений в долгосрочной перспективе.

Также экологической реабилитации подлежат прилегающие прибрежные участки, которые включают береговую зону водохранилища. С целью поддержания биоразнообразия здесь рекомендуется создавать зоны сниженной нагрузки на экосистему – предполагается более спокойное времяпрепровождение, прогулки, наблюдение за птицами. Человек созерцает, слушает, познает новое. Инфраструктурное воздействие минимально: для транзитного прохода строятся пешеходные дорожки в виде дощатого настила на сваях, обустраиваются понтоны для доступа к воде, возводятся смотровые вышки, информационные стенды.

Заключение.

Как следует из рассмотренной литературы, водно-болотные экосистемы являются не только природоохранными объектами, но и активным элементом устойчивого развития, способным одновременно выполнять экологические и общественные функции. Методы восстановления водно-болотных экосистем служат эффективным инструментом реабилитации нарушенного водного режима, улучшения экологического состояния участка и формирования выразительной, экологически устойчивой рекреационной среды.

Выявленные пути архитектурно-ландшафтной реабилитации водно-болотных экосистем не являются универсальными, поэтому проектные приемы подбираются с учётом конкретных условий территории. Их применение при реконструкции профилактория «Политехник» позволяет использовать природные особенности площадки как ресурс для формирования комфортной, экологически устойчивой и функционально насыщенной рекреационной среды.

Сохранение и восстановление водно-болотных экосистем в структуре экологического каркаса Минской агломерации является важной задачей современного архитектурно-градостроительного проектирования. Интеграция особых приемов при проектировании рекреационных пространств позволит повысить экологическую устойчивость территории и создать более комфортную среду для отдыхающих.

Литература

1. Отдых и лечение в санатории-профилактории БНТУ «Политехник» / Елизавета Хулуп // пресс-служба Медиацентра БНТУ. <https://times.bntu.by/news/16752-otdyh-i-lechenie-v-sanatorii-profilaktorii-bntu-politehnik>
2. Рязанова Н.Е., Солодунова А.А., Арсланова А.И. Роль прибрежных водно-болотных угодий в смягчении последствий изменения климата: обзор исследовательских трендов // Географическая среда и живые системы. 2023. №3. <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-pribrezhnyh-vodno-bolotnyh-ugodiy-v-smyagchenii-posledstviy-izmeneniya-klimata-obzor-issledovatelских-trendov>
3. Янковская Ю.С., Гаджиев Г.А. Водно-болотные угодья в составе городов. Проблемы сохранения и устойчивого развития // Вестник науки. 2020. №2 (23). <https://cyberleninka.ru/article/n/vodno-bolotnye-ugodya-v-sostave-gorodov-problemy-sohraneniya-i-ustoychivogo-razvitiya>
4. Ahern J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world // Landscape and Urban Planning. 2011. Vol. 100. No. 4. P. 341–343.
5. Fletcher T. D., Shuster W., Hunt W. F., et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage // Urban Water Journal. 2015. Vol. 12. – No. 7. P. 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
7. Liu J., Li C., Zhang H. Sponge City construction in China: A survey of the challenges and opportunities // Water. 2015. Vol. 7. No. 12. P. 7035-7052. <https://doi.org/10.3390/w7126655>
8. Ma J., Liu D., Wang Z. Sponge City Construction and Urban Economic Sustainable Development: An Ecological Philosophical Perspective. Int. J. Environ. Res. Public Health 2023, 20, 1694. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031694>
9. Rain Gardens as Living Stormwater Infrastructure: Planting the Rain Train // Green Roofs for Healthy Cities. 2024. <https://livingarchitecturemonitor.com/articles/rain-gardens-as-living-stormwater-infrastructure-sp24>

© Раджабмахмадова Я.Х., 2026

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гашумова Р.Р.

Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Изучение влияния гипокомфортных климатогеофизических условий Крайнего Севера на психофизиологическое состояние человека является одним из приоритетных направлений в рамках национальной политики освоения и устойчивого развития северных территорий. Особую актуальность эта проблема приобретает в отношении студенческой молодёжи – ключевого кадрового ресурса для данных регионов. Студенческий возраст совпадает с периодом высокой пластичности и уязвимости нервной системы, а процесс обучения сам по себе является значимым когнитивным и эмоциональным стрессором. Сочетание этого фактора с комплексом неблагоприятных условий Севера формирует синергичную нагрузку, требующую научного осмысления [1; 4-7].

Студенты вузов, расположенных в северных регионах, представляют группу повышенного риска развития дезадаптационных расстройств. Своевременная диагностика и прогнозирование нарушений когнитивной работоспособности, повышенной тревожности, эмоционального выгорания и депрессивных симптомов являются основой для профилактики и сохранения психофункционального здоровья будущих специалистов.

Для определения психоэмоционального состояния организма студентов использовали компьютерный комплекс «НС-Психотест». Опросник Ч.Д. Спилбергера (адаптирован Ю.Л. Ханиным) предназначен для оценки уровня тревожности человека как личностной характеристики и как психического состояния [8]. Результаты исследования уровней ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности студентов НВГУ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели тревожности студентов НВГУ

Пол	Ситуативная тревожность				Личностная тревожность			
	%			M±m	%			M±m
	Низкая	Умеренная	Высокая		Низкая	Умеренная	Высокая	
Юноши	40	46,6	13,3	34,5±9,64	36,6	53,3	10	34,96±10,23
Девушки	26,6	53,3	20	37,8±9,88	26,6	43,3	30	39,96±10,43
P	0,248835				0,063534			

Примечание: P– критерий Манна-Уитни.

Ситуативная тревожность отражает актуальное и преходящее эмоциональное состояние, в то время как тревожность личностная представляет собой устойчивую черту, характеризующую склонность индивида. Ситуативная тревожность формируется как непосредственная реакция на внешние стресс-факторы (чаще социально-психологического

характера), такие как страх негативной оценки или ощущение неприятия окружением. Личностная же тревожность выступает стабильным предиктором, определяющим индивидуальную чувствительность и уязвимость к широкому спектру потенциально стрессогенных воздействий. Интерпретация результатов по методике Ч.Д. Спилбергера: низкий уровень (20 – 30 баллов по шкале СТ и ЛТ); средний уровень (31 – 45 баллов); высокий уровень (46 – 80 баллов) [2,7].

В обеих группах студентов преобладал умеренный уровень СТ и ЛТ. В группе девушек отмечена более высокая доля лиц с высоким уровнем личностной тревожности (30%), по сравнению с юношами (10%) и ситуативной тревожности (20% и 13,3% соответственно). Можно предположить, что данная тенденция связана с комплексным воздействием средовых и, возможно, психофизиологических факторов, которые в условиях гипокомфортного климата Севера могут сильнее проявляться у студенток. Это согласуется с данными о большей чувствительности лиц женского пола к стрессорам. Гендерные различия в стрессоустойчивости проявляются в том, что мужчинам в большей степени свойственна эмоциональная стабильность, тогда как у женщин чаще наблюдается повышенная тревожность [3].

Средние значения и статистические показатели приведены в таблице 1. Значимые межгрупповые отличия в уровне тревожности между юношами и девушками не выявлены ($p = 0,248835$ – СТ; $0,063534$ – ЛТ).

Рассчитанные средние значения как ситуативной ($34,5 \pm 9,64$ у юношей и $37,8 \pm 9,88$ у девушек), так и личностной тревожности ($34,96 \pm 10,23$ у юношей и $39,96 \pm 10,43$ у девушек) в обеих группах соответствуют умеренному (среднему) уровню, что, согласно критериям методики, указывает на нормальный адаптивный эмоциональный фон, характерный для периода учебной деятельности [8].

Результаты, полученные с помощью методики оценки кратковременной зрительной памяти представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели кратковременной зрительной памяти у студентов НВГУ

Критерии	Юноши			Девушки			Р
	М±m	Точность воспроизведения %		М±m	Точность воспроизведения %		
		Отличная	Оптимальная		Отличная	Оптимальная	
Количество правильных ответов	11,8± 2,952	64	36	12,4± 2,698	70	30	0,478760
Количество ошибок	1,467± 1,479			1,567± 1,695			0,945143

Примечание: P – критерий Манна-Уитни.

В выборке 36% юношей имели оптимальный объем кратковременной зрительной памяти, у 64% студентов мужского пола зарегистрирован высокий объем памяти (табл. 2). Студентов с низким объемом не отмечено.

В группе девушек 30% имели показатели оптимального объема кратковременной зрительной памяти, 70% девушек достигли результата высокого объема памяти (табл. 2).

При исследовании кратковременной зрительной памяти в группе студентов женского пола в среднем было зарегистрировано $12,4 \pm 2,698$ правильных ответов; в выборке студентов мужского пола – $11,8 \pm 2,952$; значимые отличия не выявлены (табл. 2). В целом уровень мнемических процессов у юношей и девушек оценивался как высокий. У большинства студентов отмечался отличный объем памяти, результаты представлены в таблице 2.

Теоретической основой психофизиологического измерения свойств внимания является их зависимость от свойств нервных процессов. Результаты, полученные с помощью методики оценки внимания, представлены в таблице 3.

Среднее значение времени реакции у девушек ($1863,5 \pm 976,84$) значительно превышает аналогичный показатель у юношей ($1175,6 \pm 354,33$), что свидетельствует о более высокой скорости реакции у юношей ($p < 0,001$). Соответственно, количество правильных ответов за тестовую серию также было статистически значимо выше в группе юношей ($169,8 \pm 60,0$) по сравнению с группой девушек ($119,5 \pm 50,6$) ($p < 0,001$). В то же время, различия по количеству ошибок между группами не достигли уровня статистической значимости ($p > 0,05$). Все полученные значения находятся в диапазоне нормативных (табл. 3).

Таблица 3

Резервы внимания у студентов НВГУ

Критерии	Юноши	Девушки	P
	M $\pm$ m	M $\pm$ m	
Среднее время реакции			0,000903
Количество правильных ответов	169,833 $\pm$ 59,96	119,467 $\pm$ 50,62	0,000672
Количество ошибок	41 $\pm$ 132,56	13,1 $\pm$ 11,48	0,057114

Примечание: P – критерий Манна-Уитни.

Данные, определяющие резервы внимания в обеих группах, входили в диапазон нормативных значений.

Результаты, полученные с помощью методики «Реакция различения», представлены в таблице 4. Методика «Реакция различения» предназначена для измерения подвижности нервных процессов в центральной нервной системе. Величина показателя среднего значения свидетельствует о подвижности нервных процессов и характеризует тип высшей нервной деятельности (ВНД).

Таблица 4

Реакция различения у студентов НВГУ

Критерии	Юноши	Девушки	P
	M $\pm$ m	M $\pm$ m	
Количество ошибок			0,958296
Среднее значение времени реакции	268,3 $\pm$ 41,797	313,7 $\pm$ 76,247	0,027069

Примечание: P – критерий Манна-Уитни.

С психофизиологической точки зрения, реакция различения трактуется как сложноорганизованный сенсомоторный акт. В отличие от «простой», она требует от испытуемого дифференцированного восприятия и выбора целевого стимула на фоне

дистракторов. Соответственно, нейрокогнитивная обработка в данном случае строится не по упрощённой схеме обнаружения, а включает последовательные операции: дифференциацию сигналов, их категоризацию по значимому признаку, принятие решения о реагировании и исполнительный моторный компонент. Функционально это обеспечивает избирательность ответа, например, на стимул конкретного цвета, игнорируя остальные [4].

Среднее значение времени реакции по методике «Реакция различения» у девушек ($313,7 \pm 76,2$ мс) было статистически значимо выше, чем у юношей ($268,3 \pm 41,8$ мс) ($p < 0,05$), что указывает на более высокую скорость обработки информации и принятия решения у юношей в условиях сложного выбора. В то же время, количество ошибок выполнения задания значимо не различалось между группами ($p > 0,05$) и укладывалось в нормативные диапазоны (табл. 4).

Проведенное исследование показало различия в распределении типов высшей нервной деятельности в группах юношей и девушек. Среди юношей преобладает подвижный тип ВНД (56,7%), характеризующийся высокой скоростью реакции, способностью быстро переключаться между различными видами деятельности и адаптироваться к новым условиям. Промежуточный тип ВНД встречается реже (43,3%) и сочетает черты подвижного и инертного типа, проявляясь умеренной реакционной готовностью и стабильностью поведения. Инертный тип ВНД, связанный с замедленной реакцией и устойчивостью к изменениям условий окружающей среды, у юношей не выявлен. Среди девушек распределение типов ВНД отличается (рис.). Подвижный тип также доминирует (43,3%), однако его доля ниже, чем у юношей. Промежуточный тип встречается реже (36,7%). Меньшая часть девушек обладает инертным типом ВНД (20%), демонстрирующим медленную реакцию и устойчивость к внешним раздражителям, менее эффективным уровнем адаптации к неблагоприятным факторам окружающей среды. Юноши демонстрировали большую готовность к быстрым действиям и переменам, тогда как девушки чаще были склонны проявлять стабильность и меньшую потребность в быстром реагировании на внешние условия окружающей среды.

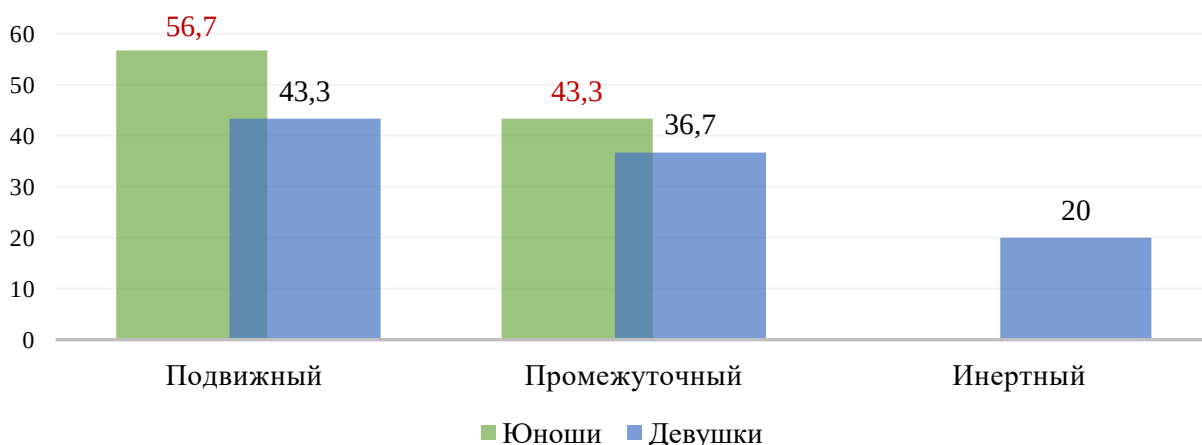


Рис. Типы высшей нервной деятельности студентов НВГУ, (%)

Проведённое исследование мнемических и психофизиологических характеристик студентов выявило как общие закономерности, так и специфические гендерные различия.

Установлено, что и у юношей, и у девушек уровень развития кратковременной зрительной памяти является высоким. В обеих группах отсутствуют лица с низким объёмом памяти, при этом большинство студентов демонстрируют отличные результаты. Статистически значимых различий по среднему количеству правильных ответов между юношами и девушками не обнаружено, что свидетельствует о равном уровне мнемических способностей вне зависимости от пола. У юношей зафиксирована статистически значимая более высокая скорость сенсомоторного реагирования и большая продуктивность выполнения тестовых заданий по сравнению с девушками. При этом качественный показатель (количество ошибок) у обеих групп находится в пределах нормы и значимо не различается. Все показатели внимания у обследуемых соответствуют нормативным диапазонам. Установлены различия в распределении типов высшей нервной деятельности. В группе юношей преобладает подвижный тип ВНД, инертный тип не выявлен. В группе девушек подвижный тип также доминирует, однако каждая пятая девушка обладает инертным типом нервной системы, что предполагает более медленную адаптацию к изменяющимся условиям и меньшую скорость переработки информации. Данные особенности могут оказывать влияние на поведенческие стратегии, успеваемость в учебе и адаптацию к меняющимся факторам окружающей среды, в том числе к гипокомфортным факторам севера.

Литература

1. Белянская Т.Э. Социально-психологические характеристики студенческого возраста // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2020. №3 (55). С. 220-227.
2. Ежова Г.С., Шилько В.Г. Изменение показателей психоэмоционального состояния и уровней тревожности студентов НИ ТГУ, обучающихся по дисциплине «Физическая культура и спорт» // Вестник Томского государственного университета. 2024. № 498. С. 144-150.
3. Михеева А.В. Индивидуально-личностные предикторы стрессоустойчивости у мужчин и женщин: дис. ... канд. психол. наук. М., 2027. 214 с.
4. Николаева Е.Н., Александрова М.В., Колосова О.Н., Саввина И.Л. Оценка функционального состояния сердечнососудистой системы и уровня тревожности студентов гуманитарного и естественно-научного профиля обучения в условиях Севера // Здоровье и образование в XXI веке. 2020. №1. URL: <https://clck.ru/3ThLcj> (дата обращения: 08.02.2026).
5. Погонышева И.А., Погонышев Д.А. Влияние неблагоприятных экологических факторов на психофизиологическое состояние организма студентов в условиях Приобского севера // В сборнике: Культура, наука, образование: проблемы и перспективы. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 55-60.
6. Погонышева И.А., Погонышев Д.А., Лукьянченко Ю.Г. Взаимосвязь уровня тревожности и дезадаптации студентов // Вестник Сургутского государственного университета. 2015. № 3 (9). С. 65-69.

7. Маракшина Ю.А., Исматуллина В.И., Лобаскова М.М. Стресс и стратегии совладания у студенческой молодежи: обзор исследований // Клиническая и специальная психология. 13(2). 2024. С. 5-33. <https://doi.org/10.17759/cpse.2024130201>
8. Ханин Ю.Л. Исследование тревожности в спорте // Вопросы психологии. 1978. № 6. С. 94-106.

© Гашумова Р.Р., 2026

Глазырин Д.В., Никифорова К.А., Кучумов М.С.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПОКАЗАТЕЛИ САТУРАЦИИ КРОВИ КИСЛОРОДОМ У ДЕВУШЕК И ЮНОШЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Изучение адаптационных механизмов человеческого организма к суровым климатогеографическим условиям северных территорий остается важной задачей в области физиологии и экологии человека. Комплекс природных факторов, характерных для данного региона, включая экстремально низкие температуры, нестабильность метеоусловий, специфику светового режима и особенности гелиогеомагнитной обстановки, создает условия, требующие напряжения функциональных возможностей организма [7, с. 56; 9, с. 4; 1, с. 221; 6, с. 25]. Одним из ключевых патогенетических звеньев в процессе адаптации к северным условиям является развитие гипоксических состояний, в частности, феномена, известного в научной литературе как «полярная одышка» или «циркумполярный гипоксический синдром». Важно отметить, проблема заключается не в абсолютной нехватке кислорода в атмосферном воздухе, а в особенностях его усвоения организмом, что приводит к гипоксемии – снижению содержания кислорода в крови. Данное явление имеет многофакторную природу и формируется по смешанному механизму: его развитие может быть связано как с дисфункцией респираторного звена, так и с нарушением путей доставки кислорода к тканям. Дополнительно, стоит учитывать различные патологии организма, рост потребности тканей в кислороде и факторы риска [4, с. 48; 3, с. 146; 5, с. 10; 8, с. 338].

При этом особый интерес представляет изучение физиологических реакций именно в молодом возрасте, когда организм обладает наибольшим адаптационным потенциалом, но вместе с тем наиболее подвержен влиянию экстремальных факторов в период становления физиологических функций. Гендерные аспекты формирования адаптационных реакций у молодежи, проживающих в условиях приравненным к Крайнему Северу, изучены недостаточно [2, с. 184; 10, с. 9].

Цель: провести функциональное обследование кардиореспираторной системы у юношей и девушек, проживающих в условиях территории, приравненной к Крайнему Северу.

Были поставлены следующие задачи:

1. Измерить уровень сатурации крови кислородом (SpO_2) и частоту сердечных сокращений (ЧСС) у девушек и юношей, проживающих на Севере.
2. Проанализировать показатели сатурации и частоты сердечных сокращений студентов в гендерном аспекте.

Исследование проведено на базе ФГБОУ НВГУ (лаборатория экологии и физиологии человека). До начала обследования у участников было получено добровольное информированное согласие и собраны необходимые исходные сведения. В исследование включены студенты 1–4 курсов НВГУ без выраженных нарушений состояния здоровья, общая численность выборки составила 83 человека в возрасте 18–23 лет. Основным критерием распределения на группы служила гендерная принадлежность. Уровень насыщения крови

кислородом и частоту сердечных сокращений у обследуемых определяли с помощью пульсового оксиметра «Choicemmed MD300M». Обработку полученных результатов проводили с использованием пакетов Excel и Statistica 10.0. Показатели описательной статистики представили как: М (среднее арифметическое), Me (медиана), Min (минимальное значение), Max (максимальное значение), m (ошибка средней). Для сопоставления двух независимых групп использовали непараметрический критерий Манна–Уитни, уровень статистической значимости принимали при $p \leq 0,05$.

По результатам пульсоксиметрии у большинства обследованных значения SpO₂ соответствовали норме (96% и более): 57,4% среди девушек и 58,4% среди юношей. Пограничные значения, отражающие нижнюю границу нормы и потенциально повышающие риск гипоксических состояний, были зарегистрированы при SpO₂=95%, у 29,8% студенток и 30,5% студентов. Признаки гипоксемии (SpO₂=94%) отмечены у 12,8% обследованных женского пола и у 11,1% мужского пола (рис. 1).

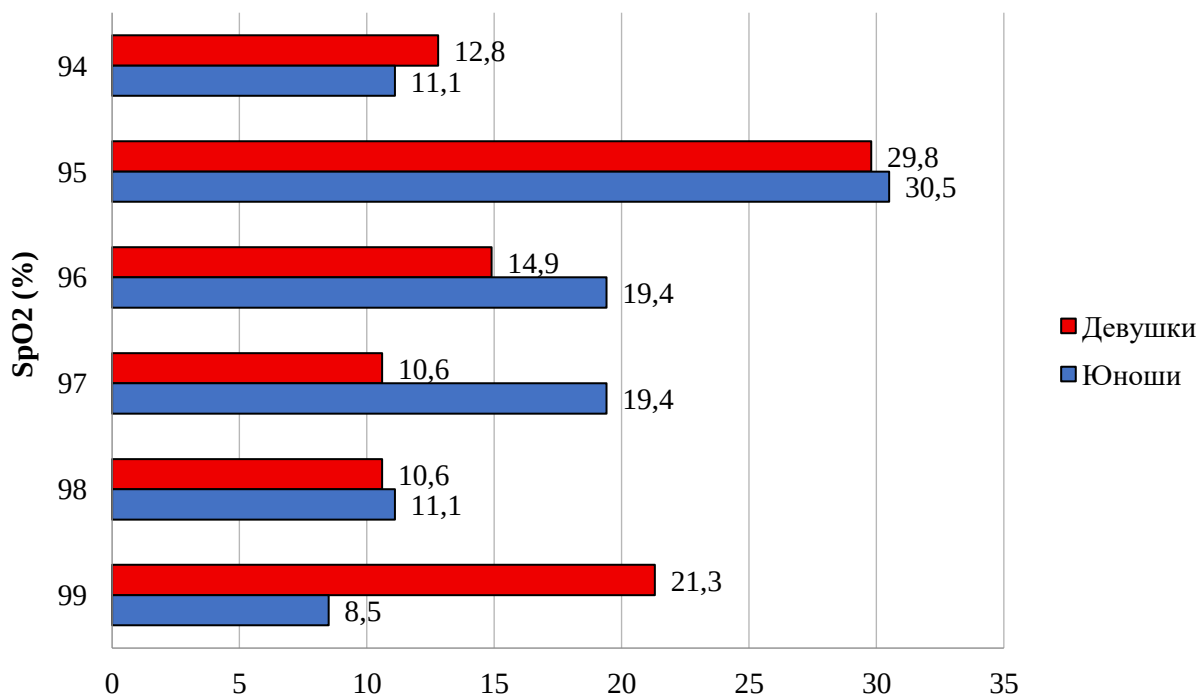


Рис. 1. Сатурация крови кислородом у студентов

Функционирование респираторной системы тесно связано с системой кровообращения через газообмен, их следует рассматривать вместе. В анализируемой группе у части студентов выявлены признаки тахикардии: у 42,6% девушек и 38,9% юношей. При этом у 57,4% девушек и 61,1% юношей значения частоты сердечных сокращений находились в пределах нормативного диапазона (рис. 2).

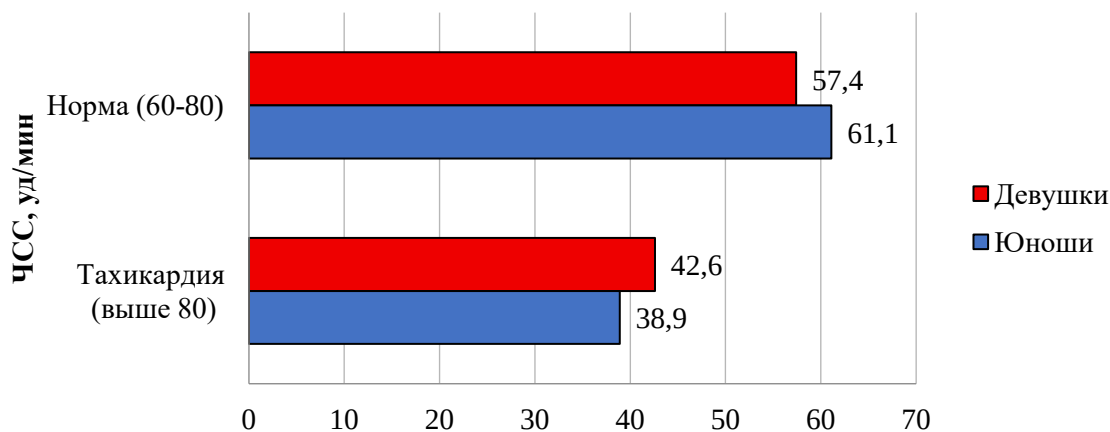


Рис. 2. Частота сердечных сокращений у студентов.

Согласно данным описательной статистики, показатели сатурации крови кислородом у девушек и юношей были сопоставимы: средние значения SpO_2 составили 96,43% и 96,14% соответственно, медиана в обеих группах – 96%. Минимальные значения SpO_2 в обеих группах составили 94%, а максимальные – 100% у девушек и 99% у юношей. Частота сердечных сокращений у девушек была несколько выше (82,47 уд/мин), чем у юношей (80,75 уд/мин), однако различия по медиане были не большими (80 и 78 уд/мин соответственно). Минимальные и максимальные значения ЧСС составили 60–108 уд/мин у девушек и 62–110 уд/мин у юношей (табл.). При сравнении групп студентов с использованием критерия Манна–Уитни, статистически значимых различий не было выявлено ни по SpO_2 ($p=0,5895$), ни по ЧСС ($p=0,4647$). Это позволяет заключить, что в исследуемой выборке гендерные различия по указанным физиологическим показателям отсутствовали.

Таблица

Результаты статистической обработки данных

Пол	Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимальное значение	Максимальное значение	Ошибка среднего
Юноши	SpO_2 (%)	96,14	96	94	99	0,25
	ЧСС (уд/мин)	80,75	78	62	110	2,20
Девушки	SpO_2 (%)	96,43	96	94	100	0,26
	ЧСС (уд/мин)	82,47	80	60	108	1,86

Таким образом, результаты пульсоксиметрии показали преобладание нормальных значений сатурации ($\geq 96\%$) у 57,4% девушек и 58,4% юношей, тогда как у части обследованных регистрировались пограничные значения $SpO_2=95\%$ (29,8% и 30,5% соответственно), рассматриваемые как фактор риска гипоксемии, а также $SpO_2=94\%$ (12,8% девушек и 11,1% юношей), интерпретируемые как признак гипоксемии. Анализ ЧСС продемонстрировал преобладание нормативных значений у 57,4% девушек и 61,1% юношей при наличии тахикардии у 42,6% и 38,9% соответственно. В исследуемой выборке (47 девушек и 36 юношей) показатели сатурации крови кислородом и ЧСС статистически значимо не различались по полу. Наблюдаемые различия носили незначительный характер и, вероятнее

всего, отражали естественную индивидуальную вариабельность, а не устойчивый гендерный эффект.

Литература

1. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Аншелес А.А., Бадтиева В.А., Балахонова Т.В., Барбараш О.Л., Васюк Ю.А., Гамбарян М.Г., Гендлин Г.Е., Голицын С.П., Драпкина О.М., Дроздова Л.Ю., Ежов М.В., Ершова А.И., Жиров И.В., Карпов Ю.А., Кобалава Ж.Д., Концевая А.В., Литвин А.Ю., Лукьянов М.М. и др. Кардиоваскулярная профилактика – 2022 // Российский кардиологический журнал. 2023. № 5. С. 119-249.
2. Волох Е. В., Борисова Т.С. Адаптационный потенциал как показатель оценки риска развития заболеваний детей и подростков // БГМУ в авангарде медицинской науки и практики: рецензир. сб. науч. трудов. 2019. № 9. С. 184-188.
3. Ермошкина Е.А., Погonyшева И.А. Сатурация крови кислородом в зависимости от сезона года и содержания антигипоксантов в рационе питания студентов в условиях севера // XIX Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2017. С. 146-150.
4. Литвицкий П. Ф. Гипоксия // Вопросы современной педиатрии. 2016. № 1. С. 45-58.
5. Лукьянова Л.Д. Сигнальные механизмы гипоксии. М.: РАН, 2019. 215 с.
6. Луняк И.И., Погonyшева И.А. Параметры оксигенации и факторы риска гипоксических состояний организма подростков г. Нижневартовска // В мире научных открытий. 2017. № 1-2. С. 25-29.
7. Погonyшева И.А., Погonyшев Д.А. Сатурация крови кислородом как индикатор гипоксических состояний у студентов в экологических условиях Севера // Вестник НВГУ. 2016. № 2. С. 56-59.
8. Погonyшева И.А., Постникова В.В., Кучумов М.С. Параметры оксигенации и адаптивные возможности дыхательной системы студентов // Агаджаньяновские чтения: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Москва, 25–27 мая 2023 года). Москва: изд-во Российский университет дружбы народов (РУДН), 2023. С. 338-340.
9. Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3-12.
10. Botek M., Krejčí J., McKune A. Sex Differences in Autonomic Cardiac Control and Oxygen Saturation Response to Short-Term Normobaric Hypoxia and Following Recovery: Effect of Aerobic Fitness // Frontiers in Endocrinology. 2018. Vol. 9. Art. 697. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00697>

© Глазырин Д.В., Никифорова К.А., Кучумов М.С., 2026

**Кириллова А.Н., Рахимова Г.Н., Алимарданова А.С.,
Коновалова М.А., Щемелев Е.А.**

Нижневартровский социально-гуманитарный колледж
г. Нижневартовск, Россия

ПРОБЛЕМА ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ ПОДРАСТАЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА

Здоровье населения и всего подрастающего поколения обусловлено экологическим состоянием окружающей атмосферы. По определению австрийского ученого и специалиста в области экологии и физиологии растений В. Лархера: «Экология – наука о взаимоотношениях и взаимодействии между различными живыми существами окружающей их средой, об обмене веществ и потоке энергии, которые делают возможной жизнь на Земле, и приспособлениях организмов к изменяющимся условиям существования» [4, с. 15]. Из данного определения следует, что энергетическое равновесие сил и гармоничные взаимоотношения биоорганизмов между собой создают условия для жизни на планете. Но главным условием сохранения жизни являются духовно-нравственные ориентиры как основы бытия человека и всего живого на Земле. Человек, принадлежащий к роду «*Homo sapiens*» является неотъемлемой частью природы: он не только зависит от окружающей действительности, но и сам воздействует и изменяет его в соответствие своим потребностям, желаниям и целям. Поэтому на человека возлагается большая ответственность за сохранение благоприятной атмосферы окружающей среды. Соответственно, он должен изучать и знать закономерности функционирования и развития живых существ, экосистемы и биосферы Земли, влияние экологических факторов на природу, анализировать причины изменений в организмах, популяциях и биоценозах и т.д.

Одним из главных экологических факторов, наносящих вред природе и здоровью людей являются антропогенные факторы, возникающие в результате безответственной и непрофессиональной деятельности человека. Научно-технические достижения цивилизованного мира, связанные со строительством космических кораблей, появлением химических заводов, атомных электростанций и пр., а также изменение ландшафтов, промысловая деятельность, интродукция видов создают опасную для жизни среду обитания и ведут к экологическому кризису.

Таким образом, проблема сохранения здоровья остается на сегодняшний день актуальной как в России, так и во всем мире. Причиной этому является экологический кризис, который связан с загрязнением окружающей среды, климатическими изменениями в природе, с вирусными инфекциями, с возрастанием влияния на атмосферу Земли химической и военной промышленности, с информационной насыщенностью, длительным использованием гаджетов, цифровизацией населения, – все это нарушает и перегружает психосоматическое, физическое, духовно-нравственное здоровье людей. Человеческая цивилизация нарушает законы, позволяющие сохранять энергетический баланс и равновесие в природе, что является условием для нормального функционирования и развития жизни на Земле.

Проведение мониторинга в медицинских и образовательных учреждениях состояния здоровья среди населения и лиц подрастающего поколения показывает рост числа нездоровых людей среди молодежи, подверженных сердечно-сосудистым, дыхательным, опорно-

двигательным, аутоиммунным, желудочно-кишечным, глазным, эндокринологическим, нервным и психическим заболеваниями и т.д.

К сожалению, появляется много детей с врожденными патологиями и нарушениями состояния здоровья различного характера, в том числе, и генетическими. В последнее время, в общеобразовательных учреждениях среди обычных школьников стали учиться гиперактивные дети, учащиеся с повышенным порогом тревожности, ученики страдающие сколиозом, аутизмом, эпилепсией, сахарным диабетом, с психическими отклонениями, и задержкой психоречевого развития и др. В связи с этим, в системе инклюзивного дошкольного и школьного образования для коррекционной работы с детьми, школьниками с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные школы, школы здоровья, где проводятся медико-преподавательским коллективом оздоровительные мероприятия, диагностика, мониторинги, разрабатываются методические пособия, специальные программы, здоровьесберегающие технологии, которые применяются с учетом нозологии ребенка.

Причиной многих заболеваний становится не только экономическая составляющая общества, но, прежде всего, нарушение гигиенических норм в организации школьного обучения, падение духовно-нравственных и моральных ценностей. Сегодня подрастающее поколение является наиболее уязвимым звеном нашего общества, подвергающееся негативному влиянию как со стороны стран Европы, Запада, так и внутри самого государства, что провоцирует, например, появление алкогольной и наркотической зависимости, несоответствующей сексуальной ориентации и гендерных отклонений среди молодежи, беспорядочный образ жизни, острые конфликтные ситуации в семье, в общественной среде и т.п. Таким образом, все вышеперечисленные факторы негативно влияют на состояние здоровья и благосостояние людей в России.

Здоровье, являясь показателем качества жизни, позволяет человеку реализоваться как личности со своими потребностями, желаниями, целями и достичь высоких показателей в своем развитии. Поэтому здоровье и качество жизни являются основополагающими ценностями системы образования во всем мире и у нас в России. Об этом свидетельствуют Болонская декларация, концепция Национальной доктрины развития образования РФ до 2025 года [5].

В целях повышения качества жизни в России, укрепления её духовно-нравственных основ необходимо большое внимание уделять проблеме здоровьесбережения подрастающего поколения как одной из приоритетных задач политики государства и всей системы образования в РФ. Одним из важных путей достижения поставленных задач является создание единой здоровьесберегающей среды во всех образовательных учреждениях, которая подразумевает совокупность таких педагогических энергосберегающих условий, обеспечивающих доступность, легкость, комфортность в усвоении знаний, умений, сохранение работоспособности, социальной активности в процессе саморазвития и самосовершенствования личности школьника (Ю.П. Азаров, А.Г. Маджуга) [5].

В основе создания благоприятной среды для сохранения здоровья в процессе обучения школьников лежат педагогические принципы Л.Н.Толстого, К.Д.Ушинского, П.Ф.Лесгафта, К.Н.Вентцеля, С.Т.Шацкого, В.А.Сухомлинского. Как представители гуманистической педагогики они стремились привнести в образование идеалы и ценности национальной культуры, которые проводили принципы, направленные на воспитание здорового, сильного духом человека, способного пополнить ряды «истинных людей» [2, с. 98].

В целях формирования культуры здоровья у подрастающего поколения Российская школа образования опирается на труды педагогов-классиков при выборе таких принципов, как: принцип системности (холистичности) как целостности, принцип интегративности как единства физического, психического и нравственного, принцип комплексности формирования всех компонентов культуры здоровья и здорового образа жизни, принцип индивидуальности (задатки, способности, здоровье), принцип природосообразности, учитывающий периоды биологического и социального развития личности человека с её особенностями, деятельностный принцип, связанный с волевой активностью, действиями человека, направленными на сохранение и укрепление здоровья, и духовно-нравственное совершенствование, принцип непрерывности формирования культуры здоровья в онтогенезе [3; 7].

Вышеперечисленные принципы определяют содержание здоровьесберегающих технологий, применяемых учителями, педагогами и психологами в современном образовании. Гуманистическая педагогика большое внимание уделяет развитию личности ребенка и проявляет к нему самые добрые чувства, гуманное человеческое отношение, что благотворно отражается на установлении доброжелательного психологического климата в школьном коллективе между сверстниками, учениками и учителем. Личностно-ориентированный подход к ученикам позволяет учителю дифференцированно относиться к своим воспитанникам и подбирать для них педагогические технологии в обучении с учетом индивидуальных особенностей каждого ребенка, – всё это создает легкость и доступность в усвоении даже сложных тем урока и тем самым повышает интерес к учебному предмету, уверенность в себе и своих способностях. Создавая ситуацию успешного обучения школьников, учитель формирует в своих учениках сильную мотивацию к получению знаний, развитию творческого мышления, что повышает качество образования и решает задачи здоровьесбережения.

В достижении высоких показателей обучения школьников на основе здоровьесбережения большую роль играет квалификация учителя, владеющего компетенциями здоровьесбережения, который сам обладает культурой здорового образа жизни и является примером для подражания, эталоном хорошего здоровья для своих учеников. Компетентный учитель, умеющий своевременно применять здоровьесберегающие технологии в процессе проведения учебных занятий создает следующие здоровьесберегающие условия [1], к которым относятся:

– соблюдение гигиенических норм в классе (температура и свежесть воздуха, освещение класса и доски, отсутствие шума, лишнего звука);

- обучение детей элементарным нормам здорового образа жизни (оздоровительная гимнастика, самомассаж, проведение физкультминуток и т.п) и навыкам оказания первой медицинской помощи при порезах, ссадинах, ожогах, укусах;
- чередование занятий с высокой и низкой активностью через применение различных видов учебной деятельности (опрос, письмо, чтение, слушание, рассказ, решение задач и т.д.);
- установление темпа учебной деятельности ученика в соответствие с его индивидуальными особенностями развития;
- использование демократичного стиля общения, способствующего психической активности ребенка, установлению душевного комфорта (школьник не боится ошибиться, стремится с интересом выполнять трудные задания);
- проведение уроков здоровья и оздоровительных мероприятий (спортивно-оздоровительные праздники, экскурсии на природу); организация совместной оздоровительной работы школы и семьи, пропаганда здорового образа жизни в работе с родителями;
- лекции для родителей и беседа с детьми по профилактике различных заболеваний (тренировка дыхательной системы, упражнения для глаз и пр.);
- проведение психологических тренингов для снятия лишнего напряжения, усталости после занятий;
- выбор методов, способствующих активизации инициативы и творческого самовыражения учащихся; наличие у учащихся мотивации к учебной деятельности на уроке и т. д. [1];
- снижение учебной нагрузки у школьников;
- установление единого расписания уроков для всех школьников РФ.

В настоящее время, на основании приказа, утвержденного Министерством просвещения России от 09.10.2024 года №704, с 1 сентября 2025 года внесены изменения учебных программ, учебной нагрузки в современной школе: сокращается количество школьных предметов, домашних заданий, контрольных работ, снижается учебная нагрузка учащихся, а также установлено общее расписание школьных уроков на территории России. Надеемся, что вышеназванные изменения помогут в решении актуальных вопросов здоровьесбережения школьников и студентов [9].

Таким образом, здоровьесберегающие технологии, применяемые компетентными учителями, создают максимально благоприятные условия для реализации развивающей функции образования, стимулирования учащихся к саморазвитию, самообразованию, к развитию их творческого потенциала, к сохранению, укреплению и развитию духовно-нравственного, интеллектуального, физического, личностного здоровья учащихся, что, в целом, повышает качество образования и уровень жизни нашего общества [8].

В связи с тенденцией роста заболеваний и ухудшения состояния здоровья детей, школьников, да и всего населения, есть необходимость не только в сохранении имеющегося здоровья, но также в создании здоровьесозидающих условий в системе образования,

направленных на развитие, наращивание и укрепление здоровья учащихся посредством формирования установок на активизацию внутриличностных ресурсов [6].

Актуализация здоровьесозидающего потенциала молодежи в целях повышения и расширения ресурсов здоровья потребует выстраивания оптимальных стратегий в процессе конструирования собственного здоровья, что возможно при условии создания не только здоровьесберегающей, но и здоровьесозидающей среды на основе валеологического образования и формирования культуры здоровья у подрастающего поколения. «Культура здоровья – это сознательная система действий и отношений, в значительной мере определяющих качество индивидуального и общественного здоровья, складывающаяся из отношений к своему здоровью и здоровью других людей, ведения здорового образа жизни. Отношение к своему здоровью зависит от понимания ценности здоровья. Ценность здоровья определяется установками человека на сохранение, формирование и укрепление здоровья. Эти установки формируют культуру здоровья» [8. с. 123].

Пропаганда здорового образа жизни, проводимая в процессе валеологического образования способствует воспитанию и развитию культуры здоровья школьников, а, соответственно, повышает у молодежи уровень самосознания, самоактуализации, саморегуляции, самореализации и степень собственной безопасности и защищенности от окружающего мира, от факторов риска, связанных с существующими проблемами экологического состояния природы и человеческого общества. Таким образом, валеологизация образования и высокий уровень культуры здоровья учащихся откроют возможности подрастающему поколению преодолеть стрессовые ситуации, адаптироваться к любым жизненным условиям, обеспечить здоровую сексуальность и планирование семьи, организовать правильно свой отдых и рацион питания, отказаться от пагубного влияния психотропных средств и вредных привычек и т. д. [7]. Высокие показатели культуры здоровья, наличие здоровьесберегающих технологий в обучении и условий для сохранения, укрепления здоровья обучающихся составляют здоровьесберегающую среду в образовательных учреждениях, создающая основу для достижения высоких показателей уровня в развитии интеллектуальных, психофизиологических способностей, социальной активности учащихся и реализации творческого, духовно-нравственного, здоровьесозидающего потенциала личности человека.

Литература

1. Гребенникова Н.Л., Косцова С.А. Формирование готовности будущего учителя к использованию здоровьесберегающих технологий на интегративной основе // Образование и здоровье: Сб. материалов Всероссийской научной школы здоровья с международным участием. Стерлитамак: СФ БашГУ, 2013. С. 52-55.
2. Гуслова М.Н. Инновационные педагогические технологии: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. 3-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 286 с.

3. Курбатова А.С., Ягин В.В. Проблема здоровьесбережения в современной российской школе // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. URL: <https://clck.ru/3ThMWA> (дата обращения: 04.10.2025).
4. Лархер В. Экология растений / перевод с нем. Д.П. Викторова; под ред. д-ра биол. наук Т.А. Работнова. М.: изд-во «Мир», 1978. 384 с.
5. Маджуга А.Г. Акмеология здоровья: теоретические и методологические основания новой области научных знаний // Образование и здоровье: Сб. материалов Всероссийской научной школы здоровья с международным участием. Стерлитамак: СФ БашГУ, 2013. С. 108-115.
6. Маджуга А.Г. К вопросу о механизмах реализации здоровьесозидающей функции образования /// Образование и здоровье: Сб. материалов Всероссийской научной школы здоровья с международным участием. Стерлитамак: СФ БашГУ, 2013. С. 115-121.
7. Маджуга А.Г., Давлетшина Р.М. Организационно-педагогическая система формирования и развития культуры здоровья субъектов образовательного процесса в современных условиях // Образование и здоровье: Сб. материалов Всероссийской научной школы здоровья с международным участием. Стерлитамак: СФ БашГУ, 2013. С. 121-128.
8. Смирнов Н.К. Здоровьесберегающие образовательные технологии в школе. М.: АРКГИ, 2003. 272 с.
9. Что изменится в школах после 1 сентября 2025 года. URL: <https://clck.ru/3ThMU5> (дата обращения: 15 октября 2025).

© Кириллова А..Н., Рахимова Г.Н., Алимарданова А.С.,
Коновалова М.А., Щемелев Е.А., 2026

Насыртдинова Д.А., Битнер М.И.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕСТИРОВАНИЯ НА ВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА (*CHLORELLA VULGARIS*) В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ

Проблема антропогенного загрязнения водных объектов приобретает все большую остроту в условиях интенсивного промышленного развития и урбанизации. Традиционные физико-химические методы анализа, несмотря на их точность и чувствительность, обладают существенным ограничением: они не позволяют оценить интегральное воздействие сложных смесей загрязняющих веществ на живые организмы с учетом эффектов синергизма и антагонизма токсикантов [3, с. 47]. Именно это определяет возрастающую роль методов биотестирования, основанных на регистрации ответных реакций тест-организмов на присутствие поллютантов.

Среди множества тест-объектов особое место занимает зеленая протококковая микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijer (рис.). Благодаря высоким темпам размножения, чувствительности к широкому спектру токсикантов, простоте культивирования и возможности автоматизации измерений, хлорелла стала одним из наиболее востребованных биоиндикаторов в мировой практике экологического мониторинга [6, с. 125; 1, с. 34]. Настоящий обзор посвящен анализу современных методических подходов и областей применения биотестирования на хлорелле с опорой на актуальные исследования последних лет.

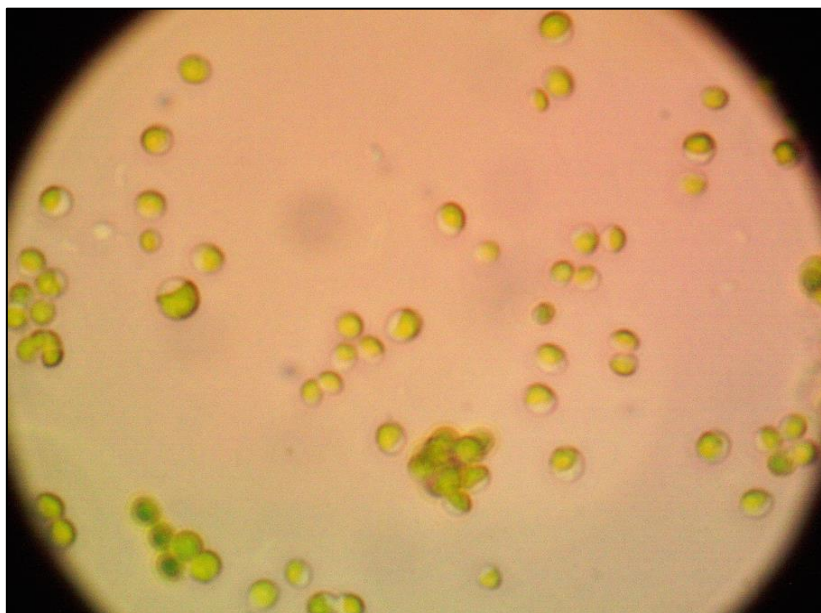


Рис. Клетки *Chlorella vulgaris*, культивированные в лаборатории НВГУ
[составлено авторами]

Базовый принцип биотестирования заключается в сопоставлении физиологических реакций тест-культуры водоросли в контрольной среде и в исследуемой пробе. Наиболее

распространенным регистрируемым показателем выступает изменение оптической плотности суспензии клеток, которое коррелирует с их численностью и биомассой [4, с. 2].

Современная стандартизированная методика, применяемая в лабораторной практике, основана на измерении оптической плотности тест-культуры *Chlorella vulgaris* после 22 часов экспозиции с использованием фотоэлектроколориметров или спектрофотометров [4, с. 3]. Данный подход позволяет в режимных и оперативных наблюдениях оценивать острую токсичность проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, а также водных вытяжек из почв, донных отложений и отходов.

В случае предполагаемого высокого загрязнения исследователи прибегают к постановке серии разбавлений тестируемой воды для определения кратности разбавления, снимающей токсическое действие. Этот показатель – токсичная кратность разбавления (ТКР) – широко используется для градации степени токсичности водных объектов [3, с. 49].

Наряду с оптической плотностью, современные исследования предлагают использовать иные физиологические параметры, обладающие высокой информативностью. Перспективным направлением выступает регистрация показателей замедленной флуоресценции хлорофилла, которая отражает функциональное состояние фотосинтетического аппарата и позволяет фиксировать токсический эффект уже через 1,5 часа экспозиции [1, с. 35; 2, с. 38].

Важно отметить, что различные токсиканты вызывают специфические нарушения фотосинтетических процессов: тяжелые металлы преимущественно блокируют транспорт электронов в фотосистеме II, тогда как органические поллютанты нередко нарушают структуру пигмент-белковых комплексов, что находит отражение в изменении параметров флуоресценции [2, с. 39].

Сравнительный анализ чувствительности различных методов при воздействии модельных токсикантов (ионов меди и бихромата калия) показывает, что показатели замедленной флуоресценции и оптической плотности могут демонстрировать разную степень чувствительности в зависимости от природы поллютанта, что обосновывает целесообразность их комплексного применения [2, с. 39].

Польские исследователи предлагают использовать синхронизированную культуру *Chlorella vulgaris* с регистрацией изменений абсорбции при 680 нм (проводимой ежечасно в первые 10 часов световой фазы), профиля фотосинтетических пигментов и коэффициента деления клеток. Такой многопараметрический подход повышает надежность токсикологической оценки [6, с. 128].

Показательным примером практического применения метода служит работа Л.С. Кучина и Е.А. Немчаниновой (2023) по оценке качества воды реки Ивы и ее притоков на территории г. Перми [3]. Исследование, выполненное методом измерения оптической плотности культуры хлореллы, выявило отчетливую тенденцию к снижению качества воды от истоков к устьям рек. Для реки Ива зафиксировано снижение оптической плотности на 58% относительно условно чистого участка, что авторы связывают с возрастающей антропогенной нагрузкой по мере застройки берегов.

Рассчитанные значения токсичной кратности разбавления (ТКР) варьировали от 3,95 до 32,43, что соответствует изменению качества воды от среднетоксичной до сильнотоксичной. Наименьшей токсичностью характеризовались воды реки Большая Ива, тогда как наибольшее токсическое действие отмечалось в устьевых участках, аккумулирующих загрязнения со всего водосбора [3].

Международный опыт также подтверждает эффективность хлореллы как тест-объекта. Исследования с использованием синхронной культуры *Chlorella vulgaris* успешно применялись для оценки качества вод питьевого водохранилища Гочалковице и реки Одра (Польша), демонстрируя высокую чувствительность к присутствию поллютантов различной природы [6, с. 130].

Биотестирование на хлорелле нашло широкое применение при контроле токсичности сточных вод промышленных предприятий. Методика позволяет оперативно выявлять опасные ситуации, включая аварийные сбросы, без трудоемкой идентификации конкретных загрязняющих веществ [4, с. 4].

Польские исследователи отмечают эффективность использования *Chlorella vulgaris* для оценки токсичности сточных вод кожевенных производств, характеризующихся сложным многокомпонентным составом [6, с. 132]. В Российской Федерации метод аттестован и применяется испытательными лабораториями, в том числе в системе центров стандартизации и метрологии, для определения токсичности сточных вод по изменению оптической плотности тест-культуры [4, с. 5].

Расширение спектра потенциальных загрязнителей включает также микропластик и наночастицы, чье воздействие на гидробионтов активно изучается в последние годы с использованием хлореллы в качестве чувствительного тест-объекта. Особого внимания заслуживают работы по оценке экотоксичности фармацевтических препаратов, рассматриваемых сегодня как приоритетные загрязнители водной среды. Изучало воздействие атенолола, кофеина, карбамазепина и ибупрофена на культуру *Chlorella vulgaris* [8]. Работа примечательна комплексным подходом к регистрации эффектов: авторы оценивали размер клеток, фотосинтетическую активность и скорость роста, объединяя эти показатели в интегральный «индекс эффекта» [8].

Установлено, что даже в концентрациях ниже экологически значимых уровней фармацевтические препараты вызывают изменения клеточного поведения водорослей. При этом ответная реакция носила концентрационно-зависимый характер во времени. Данное исследование подчеркивает необходимость учета множественных физиологических параметров при оценке экологических рисков, поскольку традиционные методы могут недооценивать долгосрочные последствия хронического загрязнения [8].

Сравнительный анализ чувствительности хлореллы к ионам меди и бихромату калия, выполненный М.В. Карповым с соавторами (2024), показал, что характер токсического действия зависит от природы токсиканта, а выбор метода регистрации (оптическая плотность или замедленная флуоресценция) может влиять на итоговую оценку степени токсичности пробы [2, с. 40].

Диссертационное исследование N.N. Johari (2025) расширяет традиционные представления о роли *Chlorella vulgaris* в экологическом мониторинге. Показано, что помимо индикаторной функции, хлорелла обладает значительным потенциалом фикоремедиации (накопления тяжелых металлов) и секвестрации углекислого газа. В частности, установлена высокая аффинность *C. vulgaris* к меди (фактор биоконцентрации 12,1), а максимальная скорость секвестрации CO₂ достигала 1,675 г/л CO₂-эквивалента при оптимизированных условиях культивирования [7, с. 156].

Биотестирование на хлорелле обладает рядом неоспоримых преимуществ. Во-первых, это высокая чувствительность, позволяющая фиксировать эффекты сверхмалых концентраций токсикантов и их синергическое действие, недоступное для физико-химических методов [3, с. 48]. Во-вторых, это экономическая доступность: метод значительно дешевле расширенного химического анализа [6, с. 126]. В-третьих, возможность автоматизации измерений (включая культиваторы, измерители оптической плотности и флуоресценции) позволяет обрабатывать большое количество проб с минимальными трудозатратами [1, с. 36; 5, с. 2].

Разработки ученых из г. Красноярска еще в 2006 году продемонстрировали возможность сокращения времени анализа до одних суток (против традиционных четырех) с автоматической регистрацией результатов на компактном оборудовании [5, с. 2]. Сегодня это направление получило дальнейшее развитие в виде комплектов специализированного оборудования для культивирования и экспонирования тест-культур [1, с. 37].

Основным ограничением биотестирования остается его интегральный характер: метод фиксирует факт токсичности, но не идентифицирует конкретные загрязняющие вещества и их концентрации [4, с. 6; 5, с. 3]. Это определяет место биотестирования как скринингового метода, который не отменяет, но дополняет традиционный химический анализ.

Другим ограничением выступает зависимость результатов от физиологических особенностей тест-культуры, что требует строгой стандартизации условий культивирования и использования синхронизированных культур [6, с. 129].

Перспективы метода связаны с совершенствованием приборной базы, разработкой мультипараметрических протоколов оценки (сочетающих показатели роста, фотосинтеза, морфологии клеток) и расширением объекта исследования на высокоминерализованные среды с использованием галофильных аналогов (*Dunaliella tertiolecta*) [1, с. 38]. Дополнительным вектором развития выступает интеграция биотестирования на хлорелле с системами искусственного интеллекта для автоматизированной интерпретации получаемых данных, что позволит повысить объективность выводов при обработке больших массивов информации. Актуальным направлением выступает также применение хлореллы в системах раннего предупреждения о загрязнении в режиме реального времени.

Биотестирование на водоросли *Chlorella vulgaris* зарекомендовало себя как надежный, чувствительный и экономически эффективный инструмент экологического мониторинга. Современные исследования подтверждают его применимость для оценки качества природных и сточных вод, включая выявление токсического эффекта сложных смесей загрязнителей (тяжелых металлов, фармацевтических препаратов, промышленных поллютантов). Развитие

метода идет по пути совершенствования приборной базы, внедрения многопараметрических протоколов оценки и интеграции с автоматизированными системами контроля. При сохранении ограничений, связанных с отсутствием идентификации конкретных загрязняющих веществ, биотестирование на хлорелле остается незаменимым инструментом первичного скрининга и интегральной оценки качества водной среды в системе современного экологического контроля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда научно-технологического развития Югры в рамках научного проекта № 2025-604-04.

Литература

1. Григорьев Ю.С., Шашкова Т.Л., Стравинскене Е.С. и др. Оперативные методы биотестирования токсичности пресных и высокоминерализованных водных сред // Биомониторинг в Арктике: материалы конференции. Архангельск, 2022. С. 33-36.
2. Карпов М.В., Мошненко К.И., Артына Н.К., Григорьев Ю.С. Показатели замедленной флуоресценции и оптической плотности в оценке чувствительности водоросли *Chlorella vulgaris* к ионам меди и бихромату калия // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы конференции. Киров, 2024. С. 36-40.
3. Кучин Л.С., Немчанинова Е.А. Биотестирование реки Ивы и ее притоков методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9, № 1. С. 46-53. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-1-46-53>
4. Определение токсичности воды в Ессентукском Испытательном центре // ФБУ «Северо-Кавказский ЦСМ». 2023. URL: <https://clck.ru/3TsDgu>
5. Проверять качество воды будут водоросли // Экология производства. 2006. URL: <https://www.ecoindustry.ru/news2/view/8884.html>
6. Biotest z zastosowaniem synchronicznej hodowli glonów *Chlorella vulgaris* w kontroli jakości środowiska. URL: <https://clck.ru/3TsDf3>
7. Johari N.N. Assessment of selected blue-green and green algae species as potential landscape ecological indicator agent for a sustainable environment: Doctoral thesis. Kuala Lumpur: International Islamic University Malaysia, 2025. 283 p.
8. Procopio Z.S.D., Roberts J.B., Hunter C., Pahl O. Multifactorial evaluation of atenolol, caffeine, carbamazepine and ibuprofen on *Raphidocelis subcapitata* and *Chlorella vulgaris* // Biology. 2021. Vol. 10, № 9. 926. <https://doi.org/10.3390/biology10090926>

© Насыртдинова Д.А., Битнер М.И., 2026

Самойлов Д.А.

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия
г. Ханты-Мансийск, Россия

ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИПОВ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА

Поведенческие стратегии индивида во многом определяются типологическими особенностями личности. Их исследование представляет несомненный интерес для прогнозирования образа действий человека на разных возрастных этапах онтогенеза в зависимости от производственных и социальных условий. В сфере высшего образования диагностика личностных качеств должна стать одним из основных направлений психолого-педагогического сопровождения обучающихся [8]. Есть профессии, для которых склонность к девиантному и рисковому поведению является признаком профнепригодности. От личностных особенностей зависит склонность к иррациональным решениям и поступкам: предрасполагающие качества – это «робость, нейротизм (тревожность), агрессивность, чувствительность к внешним воздействиям», а также эмоциональная лабильность, ригидность, преувеличение своих проблем, гипертимность и повышенная социальная активность [1, с. 139]. Психологические особенности влияют на склонность к суицидальному поведению [13]. Продолжается изучение связей между чертами личности и подверженностью академической прокрастинации [5]. Типы личности учитывают в правоохранительной практике [12].

Личностные характеристики применяют для разработки профессиограмм, являющихся индикаторами профессиональной пригодности [2]. Есть данные о широком распространении склонности к рисковому поведению, как свойству личности, среди современных подростков, что представляет угрозу их жизни и здоровью [3]. Получены сведения о предрасположенности к рисковому поведению подростков, имеющих акцентуированные типы личности: возбудимый, демонстративный, гипертимный и циклотимичный [3]. Исследование предикторов интеллектуальной одаренности выявило корреляцию между уровнем невербального интеллекта и акцентуации «возбудимый тип», что характеризует обследованных как «дружелюбных, общительных, социально ориентированных, но при этом амбициозных, напористых, сфокусированных на достижении успеха в деятельности и высокого статуса» [4, с. 100]. Обнаружено, что «типологические и психосоциальные особенности личности могут быть предикторами возникновения стресс-индуцированных соматических заболеваний» [6, с. 97].

Многочисленными исследованиями подтверждено межполовое морфофункциональное, психологическое и личностное неравенство. В мужских и женских группах наблюдаются отличия в состоянии стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем [10], в уровне качества жизни [9]; у подростков мужского и женского пола обнаружено преобладание разных типов акцентуации характера [7].

Цель: определить особенности типологических личностных характеристик студентов медицинского вуза в зависимости от половой принадлежности.

Материалы и методы. У студентов лечебного факультета Ханты-Мансийской государственной медицинской академии были исследованы личностные характеристики. Развитие личностных черт может соответствовать нормальным границам, а также усиливаться до уровня акцентуация и расстройства личности. Исследование состоялось в 2024–2026 гг., в нем приняли участие 25 девушек и 27 юношей. Провели анкетирование при помощи опросника для определения типа личности и вероятности личностных расстройств; авторами опросника являются Дж. Олдхэм и Л. Моррис (1994 г.), перевод выполнен Д.Я. Райгородским [<https://psytests.org/accent/om.html>]. Вопросы группируются в 14 шкал, согласно вариациям расстройства личности. Возможны три варианта ответа: «да» (оценивается в 2 балла), «может быть» (1 балл), «нет» (0 баллов). Разброс сумм по шкалам составляет от 0 до 14–20 баллов. Первичные результаты были внесены в базу данных и подвергнуты статистической обработке при помощи Excel. Описательная статистика представлена средней характеристикой – медианой (Me) и межквартильным интервалом (Q₁–Q₃).

Результаты и обсуждение. Молодые люди, выбирающие для себя так называемые помогающие профессии, должны обладать определенными личностными характеристиками. Исследовали типы личности студентов Ханты-Мансийской государственной медицинской академии. Показатели выраженности личностных типов обследованных юношей и девушек представлены в таблице.

Таблица

Типологические личностные особенности студентов Ханты-Мансийской государственной медицинской академии (юноши n=27, девушки n=25)

Личностные черты / типы расстройств	Максимальная сумма баллов по шкале	Me (Q ₁ –Q ₃)	
		Юноши	Девушки
Бдительный / параноидный	14	4 (2–6,5)	3 (1–5)
Отшельник / шизоид	16	5 (3,5–6,5)	3 (2–4)
Идиосинкразический / шизотипический	16	3 (1–5,5)	2 (1–4)
Авантюрный / антисоциальный	18	3 (2–4)	2 (1–4)
Деятельный / гиперактивный	20	4 (2–5)	4 (3–5)
Драматический / актерский	14	2 (2–4)	3 (0–4)
Самоуверенный / нарциссичный	16	4 (2–6)	2 (1–4)
Чувствительный / уклоняющийся	14	5 (4–6)	3 (2–7)
Преданный / зависимый	16	3 (2–4)	2 (1–5)
Добросовестный / навязчиво-принудительный	14	6 (5–8)	3 (3–5)
Праздный / пассивно-агрессивный	14	2 (1,5–3,5)	2 (1–3)
Агрессивный / садистический	16	3 (2–4)	1 (0–2)
Альтруистический / самоуничижающийся	16	3 (1–4)	3 (2–5)
Серьезный / депрессивный	14	4 (3–6)	4 (3–6)

Среди студентов мужского пола наиболее высокие показатели медианы и первого и третьего квартилей обнаружены по типу личности *добросовестный* – 6 (5–8), баллы (здесь и далее – Me (Q₁–Q₃) (тип расстройства *навязчиво-принудительный*); из 14 возможных баллов, наибольшие суммы в мужской группе составили 11 баллов и 10 баллов (по одному юноше), 9 баллов (у двух студентов). Несколько ниже были показатели выраженности черт *чувствительного* типа личности (тип расстройства *уклоняющийся*) (5 (4–6), баллы). Оценка по

этому типу из максимальной суммы 14 баллов составила: у семи юношей по 5 баллов, у шести – по 4 балла, у пяти – по 6 баллов; остальные варианты оценки были менее распространены. Черты типа личности *отшельник* (тип расстройства *шизоид*) в мужской группе также были достаточно представлены (5 (3,5–6,5), баллы); наибольшее значение приближалось к максимальной сумме по этой шкале (из возможных 16 баллов – 15, у одного студента), распространена оценка 6 баллов – у шести юношей.

Менее всего в мужской группе оказались выражены качества *драматического* (тип расстройства *актерский*) (2 (2–4), баллы) и *праздного* типов личности (тип расстройства *пассивно-агрессивный*) (2 (1,5–3,5), баллы). Наибольшие оценки черт данных личностных типов из 14 возможных составили соответственно 8 и 7 баллов (по одному человеку), самая распространенная оценка была 2 балла (по девять юношей), 0 баллов набрали соответственно два и три студента. Признаки других личностных типов были выражены в промежуточной степени, значения медианы по шкалам составили от 3 до 4 баллов.

В женской группе более всего выражены черты личностных типов *деятельный* (тип расстройства *гиперактивный*) (4 (3–5), баллы) и *серьезный* (тип расстройства *депрессивный*) (4 (3–6), баллы). Качества типов личности *агрессивный* (тип расстройства *садистический*) (1 (0–2), баллы) и *праздный* (тип расстройства *пассивно-агрессивный*) (2 (1–3), баллы) у девушек проявлялись слабо. Таким образом, психологические характеристики девушек в целом благоприятны и уместны для получаемой ими профессии [11].

Для выявления гендерных особенностей выраженности личностных черт, сопоставили значения срединных величин – медиан. Одинаковые значения M_e в мужской и женской группах обнаружили по шкалам типов личности: *деятельный* (тип расстройства *гиперактивный*), *праздный* (тип расстройства *пассивно-агрессивный*), *альтруистический* (тип расстройства *самоуничижающийся*), *серьезный* (тип расстройства *депрессивный*). Единственным типом личности, по которому величина M_e была выше в группе студенток, оказался *драматический* (тип расстройства *актерский*), что соответствует гендерным стереотипам социокультурных аспектов поведения. По остальным девяти шкалам показатели медианы были выше у юношей, то есть у них черты исследованных типов личности оказались более выражены. В мужской группе ожидаемо были выше значения медианы по личностному типу *агрессивный* (тип расстройства *садистический*), что соответствует проявлениям наступательного поведения, более свойственного мужчинам.

Для *добросовестного / навязчиво-принудительного* типа, наиболее выраженного в группе юношей, характерна «чрезмерная внимательность и заикленность на работе», что мешает «адаптироваться к новым условиям, принимать поражения и неудачи», вносит стресс в повседневную жизнедеятельность [14, с. 118]. С двумя другими выраженными среди юношей типами личности связаны некоторые психо-эмоциональные затруднения в общении: для типа *отшельник / шизоид* характерно эмоциональное отстранение от окружающих, а *чувствительному / уклоняющемуся* типу свойственны повышенная чувствительность, ранимость, впечатлительность. *Альтруистический / самоуничижающийся* тип в обеих группах представлен в умеренной степени, среди девушек в несколько большей. Для

представителей этого типа потребности других людей представляются более важными, чем собственные.

Заключение. Таким образом, были установлены определенные межполовые отличия в проявленности разных типов личности у студентов медицинского вуза. Наиболее выраженными в мужской группе оказались черты *добросовестного* личностного типа, для которого характерен тип расстройства *навязчиво-принудительный*. Среди девушек наиболее высокие значения медианы были обнаружены по шкалам *деятельный* тип личности (тип расстройства *гиперактивный*) и *серьезный* тип личности (тип расстройства *депрессивный*). В целом черты всех личностных типов, за исключением *драматического* (тип расстройства *актерский*), были ярче выражены у юношей. Согласно групповым характеристикам, для мужской и женской групп не было характерно усиление личностных черт до уровня акцентуации и расстройств личности, а более выраженные типы личности в целом отвечают требованиям, предъявляемым к работникам помогающих профессий.

Полученные нами данные согласуются с результатами других исследований. Так, при изучении отклоняющегося поведения гимназистов г. Стерлитамак, обнаружены отличия, связанные с половой принадлежностью и личностными характеристиками [13]. Как оказалось, девушки демонстрировали более высокий личностный адаптационный потенциал и низкие показатели по шизоидности, в сравнении с юношами. Авторы предположили, что в основе межполовых отличий лежат особенности воспитания и социализации, вследствие чего у представителей мужского пола обнаруживается большая склонность к шизоидности и самоповреждающему поведению.

В процессе профессиональной деятельности, у врачей развиваются изменения соотношения типов личности: по мере увеличения рабочего стажа, «врачи приобретают типы личности склонные к самостоятельной, независимой деятельности, повышается чувство личной ответственности за проделанную работу, внимание становится более сконцентрированным» [14, с. 119]. Представляется важным проследить динамику типологических личностных свойств студентов медицинского вуза по мере их движения от первых курсов к завершению обучения в вузе. Личностные качества должны быть учтены при формировании временных коллективов, создающихся для решения конкретных текущих задач, к примеру, при разработке проектов, имеющих социальную направленность.

Литература

1. Абитов И.Р., Городецкая И.М., Двойнин А.М. Взаимосвязь предикторов иррационального поведения с индивидуально-типологическими и личностными особенностями // Образование и саморазвитие. 2022. Т. 17, № 3. С. 131-140. <https://doi.org/10.26907/esd.17.3.11>
2. Андрийченко А.М., Емушинцев П.А., Микулич В.В. Разработка профессиограммы специальности «водолаз» по личностным и психофизиологическим характеристикам // Морская медицина. 2022. Т. 8, № 4. С. 52–62. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-4-52-62>

3. Барканова О.В., Ядрышников Т.Л. Личностные особенности подростков, склонных к рисковому поведению // Вестник психологии и педагогики Алтайского государственного университета. 2024. № 3. С. 1-14.

4. Барканова О.В., Ядрышников Т.Л. Личностные особенности старших подростков с признаками интеллектуальной одаренности // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева (Вестник КГПУ). 2022. № 1(59). С. 95-105. <https://doi.org/10.25146/1995-0861-2022-59-1-320>

5. Зекерьяев Р.И. Психологические особенности эмоциональной направленности личности с различным уровнем склонности к академической прокрастинации // Вестник государственного университета просвещения. Серия: психологические науки. 2025. № 2. С. 21-33. <https://doi.org/10.18384/2949-5105-2025-2-21-33>

6. Зеленина Н.В., Федоткина И.В., Юсупов В.В. Личностные особенности как предикторы стресс-индуцированных соматических заболеваний у курсантов военного вуза // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2020. № 2. С. 93-99. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2020-0-2-93-99>

7. Каргин М.И., Юдина К.В. Исследование типов личности школьников в рамках системно-контекстной психодиагностики // Актуальные проблемы и перспективы развития современной психологии. 2022. № 1. пор. № 20.

8. Коваленок Т.П., Занфирова Л.В., Назарова Л.И. Актуальные направления психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 78-84. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-78-84>

9. Погоньшева И.А., Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Погоньшев Д.А., Керимова Н.Р. Влияние неблагоприятных климатических условий и формы организации труда на качество жизни населения // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 7. С. 682-688. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-682-688>

10. Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю., Погоньшева И.А., Кудяшева В.П., Погоньшев А.Д. Показатели стресс-реализующих и стресс-лимитирующих механизмов у молодых людей в условиях асимметричного фотопериода северного региона // Гигиена и санитария. 2025. Т. 104, № 2. С. 220-226. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-2-220-226>

11. Самойлов Д.А., Шевнин И.А. Типологические личностные особенности студенток северного медицинского вуза // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета (г. Нижневартовск, 9–10 апреля 2025 г.). Материалы конференции. Ч. 1. Естественные и точные науки. Нижневартовск: Издательство НВГУ, 2025. С. 96-101.

12. Усманов Д.Р., Зинченко Н.Н., Хрысёв Е.В. Психологические типы личности как ключевой аспект при выборе тактики допроса // Евразийский юридический журнал. 2023. № 2(177). С. 323-324.

13. Халфина Р.Р., Политика О.И., Хахлова О.Н. Психологические особенности склонности к отклоняющемуся поведению школьников с непрямым суицидом // Проблемы современного педагогического образования. 2021. № 73–2. С. 227-229.

14. Шевчук В.В., Кашкина Н.В. О формировании профессиональной деформации врача // Флагман науки. 2024. № 2(13). С. 117-119.

© Самойлов Д.А., 2026

Скубанова Д.И., Изгужина Р.Р., Сабирзянова О.В., Сторчак Т.В.
Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗОЛЬНОСТИ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ УРБОЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА НИЖНЕВАРТОВСКА

Для определения степени загрязнения окружающей среды, особенно тяжелыми металлами, широко применяются различные виды растений и их отдельные органы в качестве биоиндикаторов. Листья растений служат важным индикатором экологической ситуации в городских районах, поскольку их листовые пластинки функционируют как активные воздушные фильтры, эффективно способствуя сбору и поглощению загрязняющих веществ [8].

За последние десятилетия отмечается рост интереса исследователей к изучению путей распространения тяжелых металлов в окружающей среде и их накопления в тканях растений [7]. Древесные растения благодаря своей долговечности, развитой корневой системе и обширной площади листовой поверхности являются удобными и относительно недорогими объектами для экологического мониторинга городских территорий [3; 4].

Многие тяжелые металлы, не являясь биогенными элементами, активно накапливаются в растительных организмах и длительно сохраняют свою токсичность, оказывая негативное влияние на фитосистемы. Прямое воздействие осуществляется непосредственно после контакта и сорбции ассимиляционными органами, преимущественно листьями. В условиях городских экосистем древесные растения выполняют роль барьера, препятствующего миграции тяжелых металлов. За счет развитой газообменной поверхности листья активно поглощают и задерживают значительную часть загрязнителей воздуха, при этом именно листья оказываются наиболее уязвимыми органами растений, подвергаясь наибольшему повреждению [8].

Определение уровня зольности является важным, поскольку способствует получению дополнительной информации о биоэкологических свойствах растений [2]. По уровню зольности листьев можно делать выводы об их степени адаптации и способности адаптироваться к определенным условиям роста. Исследования последних лет подтверждают, что показатели зольности коррелируют с интенсивностью техногенной нагрузки и могут служить в качестве биоиндикатора атмосферного загрязнения.

Целью исследования является проведение сравнительного анализа концентраций тяжелых металлов и показателей зольности в листьях трех видов древесных растений урбоэкосистемы г. Нижневартовска для выявления наиболее репрезентативных видов-биоиндикаторов. В задачи работы входило: определить концентрации тяжелых металлов (Fe, Cu, Mn, Cr, Zn, Ni, Cd) в листьях рябины обыкновенной, березы пушистой и сосны обыкновенной в различных зеленых зонах города; установить показатели зольности листьев исследуемых видов; провести сравнительный анализ накопительной способности различных видов древесных растений; выявить пространственную неоднородность распределения загрязняющих веществ в зеленых зонах г. Нижневартовска.

Объектами исследования выступили листья трех широко распространенных видов древесных растений местной флоры: рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), березы пушистой (*Betula pubescens*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Пробы отбирали в шести городских зеленых зонах г. Нижневартовска с различным уровнем антропогенной нагрузки: Литературный Сквер, Парк НВГУ, Парк Победы, Сквер Героев Смотлора, Сквер Матери и Сквер Строителей. Отбор проб проводился в летне-осенний период 2024 года (август-сентябрь) в конце основного вегетационного периода. С каждого участка отбирались листья с пяти деревьев одного вида сходного возраста и состояния, собранные равномерно вокруг кроны на высоте около 1,5–2 метра с внешней стороны кроны. Для каждого вида на каждой площадке формировали среднюю пробу массой не менее 50 г. Всего было отобрано 54 пробы (3 вида $\times$ 6 площадок $\times$ 3 повторности).

Отобранные листья промывали водой для удаления поверхностных загрязнений, высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре, измельчали и гомогенизировали. Методом сухого озоления в муфельной электропечи SNOL 7,2/1300 при температуре 400–500°C определяли содержание золы в соответствии с ГОСТ 24027.2-80 [1]. Навеска для озоления составляла 2,0 г воздушно-сухой массы. Определение массовой доли зольного остатка проводили в трехкратной повторности для каждого образца с конкретного участка отбора.

Для определения концентрации металлов в листьях растений проводили минерализацию пробы с использованием микроволновой установки пробоподготовки МС-6. Содержание Fe, Cu, Mn, Cr, Zn, Ni, Cd в минерализованной пробе определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Экспериментальные исследования выполняли в трехкратной повторности. Статистическая обработка включала расчет средних арифметических значений ($\bar{M}$), стандартных отклонений (SD) и коэффициентов вариации (CV, %).

Анализ показателей концентрации тяжелых металлов и зольности листовой фитомассы древесных растений, произрастающих в различных зеленых зонах г. Нижневартовска, выявил значительную вариабельность, обусловленную как видовыми особенностями, так и условиями местообитания. Расчет стандартного отклонения и коэффициента вариации (табл.1) количественно подтвердил степень неоднородности накопления металлов в зависимости от места сбора.

Таблица 1

Концентраций тяжелых металлов ($\bar{M} \pm SD$) в листьях древесных растений, мг/кг

Элемент	Рябина ($\bar{M} \pm SD$)	CV, %	Береза ($\bar{M} \pm SD$)	CV, %	Сосна ($\bar{M} \pm SD$)	CV, %
Fe	109,56 $\pm$ 70,46	64,3	94,91 $\pm$ 60,95	64,2	43,90 $\pm$ 34,61	78,8
Cu	6,32 $\pm$ 4,19	66,3	4,70 $\pm$ 2,61	55,5	5,84 $\pm$ 5,17	88,5
Mn	323,48 $\pm$ 284,89	88,1	376,60 $\pm$ 393,87	104,6	128,50 $\pm$ 176,23	137,1
Cr	6,73 $\pm$ 7,16	106,4	4,91 $\pm$ 6,36	129,5	7,62 $\pm$ 7,77	102,0
Zn	7,81 $\pm$ 3,29	42,1	134,70 $\pm$ 95,97	71,2	29,55 $\pm$ 19,48	65,9
Ni	3,84 $\pm$ 2,47	64,3	2,15 $\pm$ 1,40	65,1	2,48 $\pm$ 1,17	47,2
Cd	0,50 $\pm$ 0,19	38,0	0,75	–	0,70 $\pm$ 0,15	21,4

Примечание: $\bar{M}$ – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение, CV – коэффициент вариации.

Наибольшая абсолютная пространственная вариабельность Mn наблюдается у березы ($SD = 393,87$ мг/кг), что согласуется с экстремально высокими концентрациями, зафиксированными в Сквере Матери и Парке НВГУ. Высокое стандартное отклонение Zn у березы (95,97 мг/кг) также отражает ее роль активного и варьирующего аккумулятора этого элемента в зависимости от локации [5].

При оценке относительной вариабельности у сосны наибольшие значения отмечены для Mn ($CV=137\%$), Cr ($CV=102\%$) и Cu ($CV=89\%$), что указывает на сильное влияние локальных факторов на поступление этих металлов в хвою. Для рябины наибольшая относительная вариабельность характерна для Cr ($CV=106\%$) и марганца Mn ($CV=88\%$). Сравнительно низкие значения стандартного отклонения Cd у всех видов объясняются его низкими абсолютными концентрациями. Детализированные данные по концентрациям металлов для каждого вида на всех исследованных площадках представлены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрация тяжелых металлов в листьях древесных растений на различных площадках г. Нижневартовска, мг/кг

Площадка	Вид	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ni	Cd
Литературный Сквер	Рябина	157,100	7,915	308,200	20,670	9,985	6,750	–
	Береза	56,520	1,992	79,830	0,976	73,915	1,121	0,748
	Сосна	21,770	2,157	13,080	0,605	13,488	1,256	0,804
Парк НВГУ	Рябина	78,600	6,020	853,250	4,590	4,730	7,805	0,330
	Береза	110,050	6,165	500,550	4,040	119,950	0,760	–
	Сосна	50,800	6,120	75,405	10,365	32,635	3,160	–
Парк Победы	Рябина	31,915	2,169	154,445	0,561	4,181	1,491	0,711
	Береза	42,645	2,393	217,405	0,995	42,775	2,317	–
	Сосна	14,520	1,803	61,590	0,221	9,881	1,652	–
Сквер Героев Самотлора	Рябина	34,270	1,678	440,995	0,599	4,461	1,465	0,469
	Береза	29,915	2,746	129,640	1,053	35,085	1,017	–
	Сосна	20,990	1,908	25,555	0,608	12,490	1,620	0,586
Сквер Матери	Рябина	160,250	7,075	120,300	4,200	12,570	2,415	–
	Береза	160,600	7,115	1153,50	5,420	292,250	3,770	–
	Сосна	47,800	8,070	467,800	14,295	49,455	4,080	–
Сквер Строителей	Рябина	195,200	13,090	63,660	9,745	10,925	3,105	–
	Береза	169,750	7,805	178,650	16,970	244,250	3,915	–
	Сосна	107,530	14,975	127,550	19,615	59,350	3,130	–

Полученные данные свидетельствуют о наличии взаимосвязи между уровнем антропогенной нагрузки и аккумуляцией минеральных и токсичных элементов в ассимиляционных органах. Так, рябина обыкновенная и береза пушистая продемонстрировали наибольшую способность к накоплению Fe в точках с интенсивной транспортной или инфраструктурной нагрузкой. Для рябины максимальная концентрация Fe отмечена в Сквере Строителей (до 195,2 мг/кг), для березы – также в Сквере Строителей (до 169,75 мг/кг), при этом в Сквере Матери оба вида также показали высокие значения (160,25 мг/кг у рябины и 160,60 мг/кг у березы).

При этом береза проявила себя как выраженный аккумулятор Zn, особенно в тех же локациях (до 292,25 мг/кг), тогда как у рябины концентрации Zn оставались на относительно

низком уровне во всех точках (4,18–12,57 мг/кг), подчеркивая видоспецифичность метаболизма данного элемента.

Марганец (Mn) накапливался в исключительно высоких концентрациях березой в Сквере Матери (1153,5 мг/кг) и рябиной в Парке НВГУ (853,25 мг/кг). Повышенные концентрации Си и никеля Ni также относятся к наиболее урбанизированным точкам Литературный сквер, Сквер Матери, достигая максимума у сосны и березы в Сквере Строителей. Содержание Ст было наиболее значительным у сосны и березы в Сквере Матери и Сквере Строителей (до 19,615 мг/кг), что может указывать на влияние специфических промышленных или строительных источников. Кадмий (Cd) обнаруживался в следовых количествах, преимущественно в Литературном сквере, Парке НВГУ, Парке Победы и Сквере Героев Самотлора.

Показатель зольности, отражающий общее содержание минеральных веществ, варьировал в соответствии с выявленными закономерностями аккумуляции металлов и коррелировал с интенсивностью их накопления (рис.).

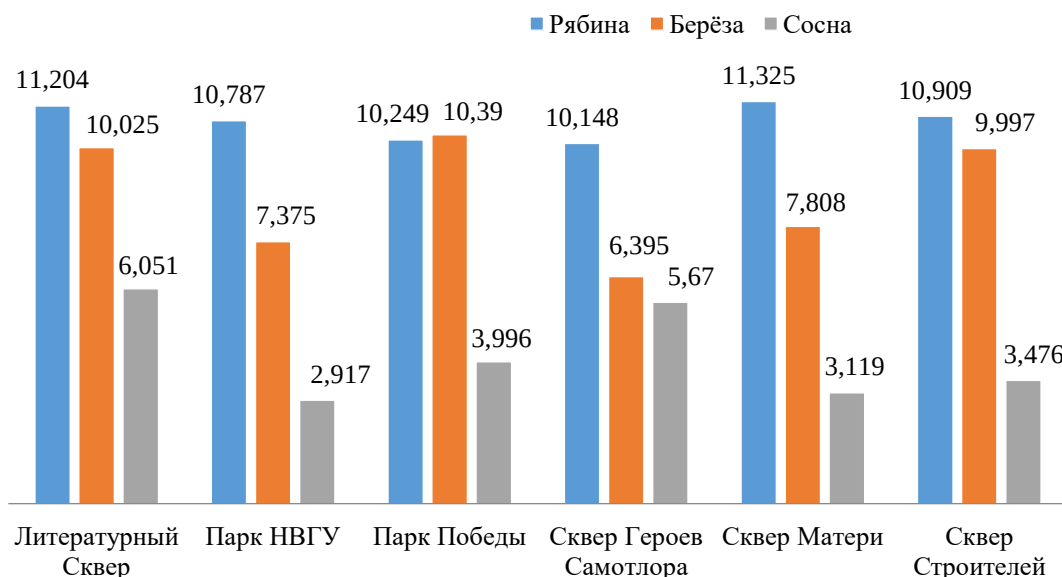


Рис. Зольность листьев древесных растений в различных зеленых зонах г. Нижневартовска, %

Рябина показала наиболее стабильно высокие значения зольности (10,15–11,33%), что свидетельствует о высокой общей минерализации ее листовой массы и, вероятно, о наибольшей пылеулавливающей способности. Береза отличалась более широким диапазоном значений (6,40–10,39%), а сосна обыкновенная – закономерно наименьшей зольностью (2,92–6,05%), что типично для хвойных пород в связи с особенностями морфологии хвои.

Проведённый дисперсионный анализ подтвердил статистически значимые различия ($p < 0,05$) между концентрациями металлов в листьях различных видов растений, а также между площадками с различным уровнем антропогенной нагрузки.

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать следующие выводы: во-первых, лиственные породы – рябина и береза – в условиях данной урбоэкосистемы являются более чувствительными биоиндикаторами и аккумуляторами тяжелых металлов по сравнению с

сосной, что подтверждается и более высокими значениями стандартного отклонения для большинства металлов, отражающими их отзывчивость на изменение условий среды. Большая эффективность лиственных пород по сравнению с хвойными в качестве биоиндикаторов урбанизированных территорий показана также в недавних исследованиях европейских городов [6].

Во-вторых, пространственное распределение загрязняющих веществ неоднородно: наиболее высокие концентрации ряда металлов (Mn, Fe, Zn, Cr, Cu, Ni) и повышенная зольность характерны для Сквера Матери и Сквер Строителей, что указывает на более интенсивное комплексное антропогенное воздействие в этих локациях.

Таким образом, результаты исследования, включая анализ вариабельности данных, свидетельствуют о существенной дифференциации загрязнения тяжелыми металлами в зеленых зонах г. Нижневартовска и определяют рябину обыкновенную и березу пушистую в качестве наиболее репрезентативных видов для биоиндикационного мониторинга урбоэкосистем.

Полученные данные могут быть использованы для разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации системы озеленения, выбору древесных пород для санитарно-защитных зон и снижению негативного воздействия урбанизированной среды на древесные фитоценозы города Нижневартовска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда научно-технологического развития Югры в рамках научного проекта № 2025-604-04

Литература

1. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М., 1981. С. 10.
2. Каверина М.М., Уалиева Р.М., Сысо А.И., Туякбаева А.У., Жангазин С.Б. Морфометрические параметры и зольность листьев древесных растений: индикация техногенной нагрузки в условиях промышленного региона // *Experimental Biology*. 2024. Т. 99. № 2. С. 153-162. <https://doi.org/10.26577/eb.2024.v99.i2.013>
3. Корбань В.А., Сальник Н.В., Горбов С.Н., Тагивердиев С.С., Скрипников П.Н., Безуглова О.С., Гудзенко Е.О. Сравнительная оценка древесных пород как биогеохимических индикаторов накопления тяжелых металлов в черноземах миграционно-сегрегационных питомников ботанического сада Южного федерального университета // *Лесоведение*. 2024. № 1. С. 60-69. <https://doi.org/10.31857/S0024114824010076>
4. Петухов А.С., Кремлева Т.А., Хритохин Н.А., Петухова Г.А. Сравнение способности древесных растений различных видов к аккумуляции тяжелых металлов в городской среде // *Экология и промышленность России*. 2024. Т. 28. № 11. С. 66–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-11-66-71>
5. Федорова Д.Г. Аккумуляция тяжелых металлов в листьях *Sorbus aucuparia* L. в условиях городской среды (на примере г. Оренбурга) // *Вестник Нижневартовского*

государственного педагогического университета. 2020. № 1. С. 55-60.
<https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/09>

6. Gkini E., Tsakaldimi M., Mousios I., Chatzistathis T., Mpountla A., Ganatsas P. Accumulation of metals in the leaves of different urban forest tree species and its relation to the proximity to the airport // *Environmental Science and Pollution Research*. 2026. Vol. 14. Article 1501476. P. 1353–1364. <https://doi.org/10.1007/s11356-026-37427-2>

7. Khalid S., Shahid M., Natasha, Shah A.H., Saeed F., Ali M., Dumat C. Heavy metal contamination and exposure risk assessment via drinking groundwater in Vehari, Pakistan // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. № 32. P. 39852-39864.

8. Vasile D., Enescu R., Apafaian A., Coman S., Scarlatescu V., Crisan V. Bioaccumulation of long-term atmospheric heavy metal pollution within the Carpathian arch: monumental trees and their leaves memoir // *iForest – Biogeosciences and Forestry*. 2024. Vol. 17, № 6. P. 370-377. <https://doi.org/10.3832/ifor4611-017>

© Скубанова Д.И., Изгужина Р.Р., Сабирзянова О.В.Сторчак Т.В., 2026

Титов А.О., Зайнетдинова Г.С., Юмагулова Э.Р., Сасина А.А., Лутаева Т.Ю.
Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА «ЯГОМ»

Урбанизация приводит к усилению антропогенного воздействия на природные компоненты и способствует снижению качества городской среды. В этих условиях городские леса и природные участки выполняют роль «экологических буферов», обеспечивая широкий спектр экологических функций: поддержание микроклимата, регулирование водного режима, снижение шумового воздействия, рекреационные, эстетические и социально-экономические функции [4, с. 18; 11, с. 90].

Одним из ключевых инструментов компенсации негативного воздействия урбанизированной среды выступают городские и пригородные леса, а также озелененные территории городов. Фитоценозы лесного типа принимают активное участие в оздоровлении, выполняя роль биологического фильтра от загрязняющих веществ, пылевых частиц и дыма. Растительность лесных экосистем оказывает стабилизирующее воздействие на микроклимат, уменьшая амплитуду суточных и сезонных колебаний температур [1, с. 116; 3, с. 88; 7, с. 72; 11, с. 90].

Лесной комплекс (ЛК) «ЯГОМ» является, многофункциональным экологическим проектом, реализуемым на территории городских лесов г. Нижневартовска. Участок леса имеет площадь 30 га, расположен в районе Нижневартовского газоперерабатывающего завода на расстоянии около 10 км от монумента покорителям «Самотлора» и граничит с поймой р. Мысовая Мега. Древостой в лесном комплексе представлен хвойными и лиственными породами возрастом до 140 лет [<https://clck.ru/3Rrk4a>]. В 2024 году он занял 3 место в номинации «Культурно-досуговое/общественное пространство» национальной туристической премии Russian Traveler Awards и вошел в число лучших общественных пространств России [<https://clck.ru/3SYuKM>]. На территории комплекса представлено 27 различных локаций, объединённых прогулочными тропами и спортивными маршрутами, которые развиваются с учетом минимального вмешательства в природную среду. К функционирующим объектам относятся: квадросфера, форумная зона, глэмпинг, воркаут-площадка и другие элементы общественной инфраструктуры. В 2025 году комплекс был дополнен центром духовно-нравственного развития «Яшма». В 2026 году в рамках программы «Формула хороших дел» запланировано создание всесезонной экологической тропы, ориентированной на популяризацию биоразнообразия территории и культурного наследия коренных народов Севера, что позволяет интерпретировать «Ягом» не только как рекреационную, но и углубляя как эколого-просветительскую и туристическую площадку, интегрированную в современную городскую среду [<https://clck.ru/3SYuWa>; 8, с. 2].

Целью создания лесного комплекса «ЯГОМ» является организация культурных площадок в окружении дикой природы. Обустройством территории занимается

муниципальное бюджетное учреждение «Управление лесопаркового хозяйства города Нижневартовска».

На территории ЛК «ЯГОМ» авторами ранее были изучены некоторые эколого-биологические особенности лесной растительности [10] и исследованы гнезда муравейников, индикаторов экологического состояния лесной экосистемы [9]. На основании изученных параметров у выявленных 112 гнёзд муравейников (диаметр купола (d , м), диаметр гнездового вала (D , м), высота купола (h , м), высота гнезда (H , м), площадь основания купола (S , м²), объём гнезда (V , м³), форма купола, вид дерева резидента, состав гнездового материала) сделано заключение, что экосистема лесного комплекса находится в стабильном состоянии и подвержена низкой степени антропогенной нагрузки.

Целью настоящего исследования является анализ флористического сходства и биоразнообразия сосудистых растений произрастающих на территории лесного комплекса «ЯГОМ».

Научная новизна работы определяется применением количественных методов анализа пространственной структуры растительности с использованием данных полученных авторами ранее при изучении эколого-биологических особенностей растений произрастающих на территории ЛК «ЯГОМ» [10]. Впервые на территории лесного комплекса «Ягом» с помощью коэффициента Жаккара оценена степень флористической общности различных фитоценозов и с помощью индекса Шеннона проведена объективная количественная оценка биоразнообразия.

Изучение особенностей лесной растительности на территории многофункционального лесного комплекса «ЯГОМ» проводили с 2023 по 2024 гг. (конец июня-июль) на трех пробных площадках (ПП) размером 20х20 м (рис. 1) [2, с. 67]. Идентификацию видов растений проводили с помощью определителей сосудистых растений и цифровых инструментов (iNaturalist, PlantNet, PictureThis), повышающих полноту и оперативность регистрации видов. Определение возраста древесных растений осуществлялось на основании морфолого-анатомических признаков с использованием методических подходов, разработанных А.А. Корчагиной [5, с. 6]. Характеристика растительных сообществ проводилась в рамках общепринятых геоботанических методик [6, с. 3; 8, с. 20]. Для установления степени флористического сходства сообществ рассчитывали коэффициент Жаккара, тогда как уровень видового разнообразия в количественном выражении оценивали по индексу Шеннона.

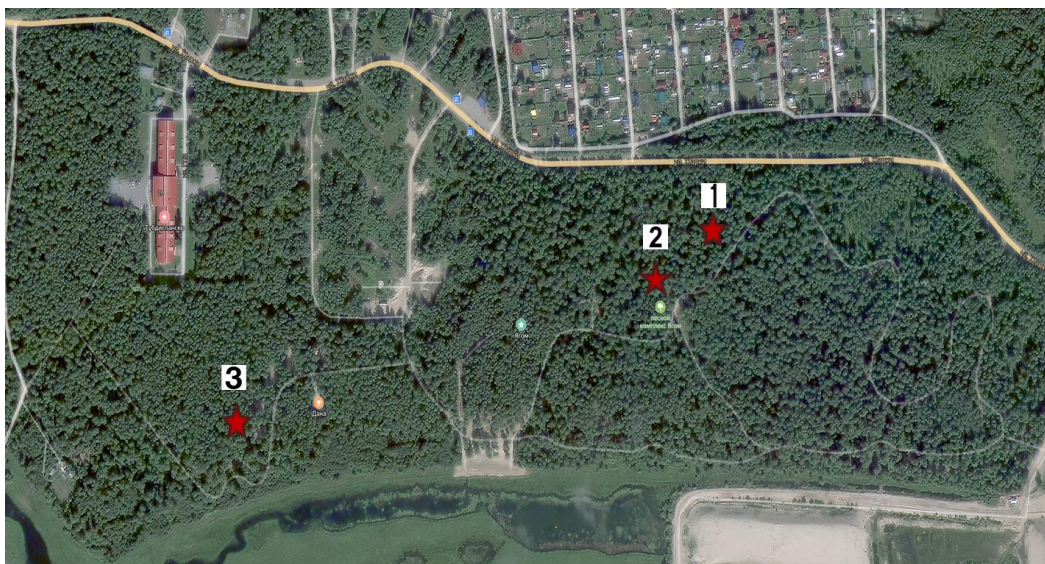


Рис. 1. Схема размещения мониторинговых ПП 1–3 на территории многофункционального ЛК «ЯГОМ» (составлено автором)

Исходные материалы для характеристики и описания территории многофункционального лесного комплекса «ЯГОМ» предоставлены управлением по природопользованию и экологии администрации города Нижневартовска. Статистическая обработка полученных данных была выполнена с использованием программ Statistica 11,5 и Excel 2005 из состава пакета Microsoft Office XP.

В результате проведенных нами исследований установлено, что флора лесного комплекса «Ягом» включает 6 отделов, 8 классов, 26 порядков, 27 семейств, 44 рода и 52 видовых таксона. Наибольшая доля видов принадлежит покрытосеменным растениям (Magnoliophyta) – 78,85%, наименьшая – плауновидным (Lycopodiophyta) – 1,92% [10]. Оставшиеся отделы в сумме составляют 19,23% флоры, формируя «дополняющий» компонент таксономической структуры. Ядро флоры определяется покрытосеменными, отражая их ведущую роль в формировании видового разнообразия сосудистых растений на исследуемой территории.

Среди изученных семейств растений наибольшее распространение получили Rosaceae и Ranunculaceae, доля каждого от общего числа семейств составила по 13%. Средние значения по изученному показателю были выявлены у следующих семейств: Asteraceae и Pinaceae (по 8%).

Анализ жизненных форм сосудистых растений произрастающих на территории лесного комплекса «ЯГОМ» по системе К. Раункиера показал доминирование следующих из них: гемикриптофиты (43%) и фанерофиты (28%), что типично для лесных сообществ таёжной зоны. Минимальная доля пришлась на терофитов (3%), тогда как жизненные формы – хамефиты и криптофиты занимали промежуточное положение, соответственно 15 и 13% [10].

Изучение экологических групп растений в условиях ЛК «ЯГОМ» показало, что по отношению к воде большинство изученных нами видов сосудистых растений относятся к мезофитам (95%), что отражает преимущественно умеренно увлажнённые условия

местообитания. По освещённости преобладают растения относящиеся к группе – гелиофиты (53%) и сциогелиофиты (28%), а по отношению к температурному параметру распределение растений по экологическим группам: криофилы, мезофилы и термофилы оказалось примерно одинаковым, соответственно 35, 33 и 33% [10].

Геоботаническое описание трех мониторинговых пробных площадок заложенных нами на территории лесного комплекса «ЯГОМ» позволило определить два типа лесных фитоценозов: сосняк брусничный (пробные площадки 1 и 3) и сосняк черничный (ПП 2). Показатель индекса Шеннона для травяно-кустарничкового яруса на исследуемой территории имел значение 2,69 (ПП 1), 2,28 (ПП 2) и 2,14 (ПП 3). Полученные результаты исследования свидетельствуют о высоком биоразнообразии на всех изученных участках при несколько более равномерной структуре растительного сообщества на первой пробной площадке.

Анализ полученных данных по расчету коэффициента Жаккара для травяно-кустарничкового яруса в лесном комплексе «ЯГОМ» показал варьирование данного параметра от 0,60 до 0,64: максимальное сходство по данному показателю было отмечено между пробными площадками 1 и 3 (0,64), подтверждающий их близость и принадлежность к одному типу фитоценоза. Для древесного яруса сходство было выражено сильнее (0,71– 0,83), что обусловлено доминированием общих видов и типичностью древостоев для территории лесного комплекса (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели биоразнообразия и сходства мониторинговых пробных площадок
(составлено автором)**

Показатель	ПП 1	ПП 2	ПП 3
Индекс Шеннона (травяно-кустарничковый ярус)	2,69	2,28	2,14
Коэффициент Жаккара (травяно-кустарничковый ярус) для пар площадок	1–2: 0,61 1–3: 0,64	1–2: 0,61 2–3: 0,60	1–3: 0,64 2–3: 0,60
Коэффициент Жаккара (древесный ярус) для пар площадок	1–2: 0,83 1–3: 0,83	1–2: 0,83 2–3: 0,71	1–3: 0,83 2–3: 0,71

Таким образом, полученные результаты исследования по оценке степени общности растительных сообществ с использованием коэффициента Жаккара и по анализу количественных характеристик биоразнообразия определенных с помощью индекса Шеннона позволили охарактеризовать флору многофункционального лесного комплекса «Ягом» как типичную для таёжных сосновых сообществ с высоким уровнем видового разнообразия и выраженной флористической общностью мониторинговых пробных площадок. Полученные нами данные могут быть использованы в дальнейшем при мониторинге состояния городских лесов и оценки динамики растительного покрова при рекреационных нагрузках и климатических изменениях. Территория лесного комплекса представляет большой научный интерес для исследования студентами кафедры экологии Нижневартковского государственного университета для выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда научно-технологического развития Югры в рамках научного проекта № 2025-604-04

Литература

1. Гижицкая С.А., Цветкова Н.В. Значение городских лесов в водно-зеленом каркасе города // Актуальные проблемы урбоэкологии: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 116-119.
2. Глазунов В.А., Науменко Н.И., Хозяинова Н.В. Определитель растений юга Тюменской области. Тюмень, 2017. 744 с.
3. Дюсенова Ш.Т. Городские леса города Кургана: оценка экосистемных услуг (на примере Увальского леса) // Научно-практическая конференция студентов Курганского государственного университета: сборник тезисов докладов научно-практической конференции (Курган, 20 марта – 01 апреля 2022). Курган, 2022. С. 88.
4. Иванова Н.А. Экология северного города. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманитар. ун-та, 2007. 156 с.
5. Лавренко Е.М., Корчагина А.А. Полевая геоботаника. В 5 т. Т. 2. М.–Л.: АН СССР, 1960. 493 с.
6. Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 188 с.
7. Разинкова А.К., Перелыгина Е.Н., Крюкова А.А. Влияние факторов городской среды на встречаемость патологических признаков у твердолиственных видов // Лесотехнический журнал. 2015. № 2. С. 71-81.
8. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.
9. Сасина А.А., Глушков Д.Р., Лотошников Е.А. Изучение муравейников как биоиндикаторов экологического состояния лесного комплекса «ЯГОМ» // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 9–10 апреля 2025 г.) / Под общей ред. Б.Н. Махутова. Ч. 1. Естественные и точные науки. Нижневартовск: Издательство НВГУ, 2025. С. 102-107.
10. Титов А.О., Зайнетдинова Г.С., Глушков Д.Р., Лотошников Е.А., Юмагулов Р.Н. Эколого-биологические особенности растений лесного комплекса «ЯГОМ» // XXVI Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 10-11 апреля 2024 г.) / Под общей ред. Б.Н. Махутова. Ч. 1. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2024. С. 173-178.
11. Хе В.Х., Ткаченко И.Н., Погосов Р.С., Захарченко М.В. Эколого-экономическое значение рекреационного лесопользования в городских лесах // Вестник института дружбы народов Кавказа (теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. 2017. № 1(41). С. 13.

© Титов А.О., Зайнетдинова Г.С., Юмагулова Э.Р., Сасина А.А., Лутаева Т.Ю., 2026

Усова Е.В., Асанканова А.З.

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия
г. Ханты-Мансийск, Россия

ОСОБЕННОСТИ СОВЛАДАЮЩЕГО СО СТРЕССОМ ПОВЕДЕНИЯ У СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА МУЖСКОГО И ЖЕНСКОГО ПОЛА

Начало обучения в высшей школе у большинства студентов приходится на юношеский возраст. Для этого этапа онтогенеза представляет важность овладение собственными эмоциями и понимание чувств окружающих людей. В образовательном процессе молодые люди сталкиваются с многочисленными стрессовыми ситуациями, связанными с учебно-социальными проблемами. Особое поведение, направленное на совладание со стрессом, получило название *копинг*. От умения справляться со стрессом во многом зависит результативность обучения и психоэмоциональный комфорт обучающихся, что обусловило интерес исследователей к особенностям и закономерностям копинга у школьников и студентов. К настоящему времени в этой области получены информативные результаты, но ряд моментов до конца не прояснены и нуждаются в дальнейшем изучении.

Активно исследуются половые особенности стилей и стратегий копинга. Гендерные отличия в применении копинг-стратегий обнаружены в исследовании с участием студентов Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск): у девушек выявлены высокие показатели по шкалам «бегство-избегание», «планирование решения проблемы», «положительная переоценка»; стратегию «самоконтроль» широко применяли студенты обоего пола [14]. Получены данные о выборе студентами способа совладания с экзаменационным стрессом: чаще применяют стратегии уход-избегание, планирование решения проблемы, поиск социальной поддержки, положительная переоценка и самоконтроль [8]. Обнаружены связи между выбором копинг-стратегий и уровнем спортивного мастерства у студентов-единоборцев Белорусского государственного университета физической культуры [6]. Как оказалось, высокий уровень мастерства сочетался с применением стратегий «самоконтроль», «поиск социальной поддержки», «принятие ответственности на себя», «планирование»; при невысоких спортивных достижениях единоборцы использовали копинг-стратегии «конфронтация», «дистанцирование», «бегство-избегание». На применение копинг-стратегий влияет уровень тревожности: студенты с низкой тревожностью применяют продуктивные и активные стратегии, а у высоко тревожных студентов в арсенале копинга нет конструктивных стратегий [5]. Выявлены положительные связи между способностью справляться со стрессовой ситуацией и гармоничным развитием личности: «гармонично развитые люди имеют преимущество для успешной жизни и самореализации, благодаря преобладанию у них условно конструктивных стилей совладающего поведения» [9, с. 70].

Выбор способа совладания со стрессом связан со спецификой получаемой профессии. На примере студентов Российского университета дружбы народов исследованы особенности копинга у лиц, обучающихся по разным направлениям: «Лечебное дело», «Строительство» и «Психология». Обнаружено, что у студентов разных профилей обучения мотивация к самореализации «коррелирует с различными стратегиями преодоления трудностей и уровнем

жизнестойкости» [4, с. 140]. У студентов медицинского института РУДН выявили корреляцию альтруистической мотивации со стратегиями «поиск социальной поддержки» и «агрессивные действия»; последнее исследователи объяют высокой конкуренцией в процессе обучения в вузе и склонностью к риску ради пациентов. В целом, у обследованных студентов на предпочтение копинг-стратегий и отношение к риску оказали влияние мотивация к самореализации и специфика выбранной профессии.

Помимо особенностей учебного процесса, на копинг-поведение влияет курс обучения. У студентов лечебного и педиатрического факультетов 1 и 2 курсов, предпочтение стратегий поведения в стрессе зависели как от специфики факультета, так и от курса обучения [2]. У первокурсников лечебного факультета высокие средние значения обнаружили по поведенческим стратегиям «самоконтроль», «принятие ответственности» и «планирование решения проблемы». На 2 курсе в этой группе растет применение стратегий «дистанцирование», «положительная переоценка»; наиболее высокие показатели обнаружили по стратегиям «принятие ответственности» и «планирование решения проблемы».

На северных территориях студенты высшей школы испытывают сочетанный прессинг интенсивных факторов погодно-климатического, гелиогеофизического и социального характера. Необходимость противостоять экстремальным природным воздействиям создает обучающимся дополнительные трудности для совладания со стрессом и поддержания стрессоустойчивости в учебном процессе, что делает их более уязвимыми к возникающим стрессовым ситуациям.

Цель – изучить особенности совладающего со стрессом поведения у студентов северного медицинского вуза в зависимости от половой принадлежности.

Материалы и методы. В 2025–2026 учебном году изучено совладающее со стрессом поведение студентов Ханты-Мансийской государственной медицинской академии. В исследовании приняли участие студенты лечебного факультета, добровольцы мужского ($n=32$) и женского пола ($n=54$). Применили опросник «Копинг-поведение в стрессовых ситуациях» («Coping Inventory for Stressful Situations»), адаптированный Т.Л. Крюковой; методика валидизирована на студентах университета [10]. Опросник состоит из 48 утверждений, возможные варианты ответов: «никогда», «редко», «иногда», «часто», «очень часто», которые оцениваются соответственно в 1, 2, 3, 4 и 5 баллов. При помощи опросника можно оценить стили копинга: *проблемно-ориентированный* копинг (ПОК), *эмоционально-ориентированный* копинг (ЭОК) и копинг, *ориентированный на избегание* (КОИ). В КОИ различают два субстиля: *отвлечение* (СС О) и *социальное отвлечение* (СС СО). Для взрослых индивидов диапазон нормальных значений составляет (баллы): ПОК – 52–65 для мужчин (М), 52–64 для женщин (Ж); ЭОК – 35–48 для М, 37–51 для Ж; КОИ – 34–45 для М, 38–49 для Ж; СС О – 14–22 для М, 16–22 для Ж; СС СО – 12–17 для М, 14–19 для Ж [10, с. 52].

Исследование одномоментное (поперечное), способ создания выборки – нерандомизированный. Первичные данные составили базу данных. Статистическую обработку провели при помощи программы Excel. Сравнение выборок выполнили с применением t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при $p \leq 0,05$ [3].

Описательная статистика представлена средними характеристиками (средним арифметическим значением – M и медианой – Me) и межквартильным интервалом (Q_1 – Q_3).

Результаты. Перед студентами медицинского вуза проблема совладания со стрессом стоит достаточно остро, в связи с большим объемом учебной нагрузки, с регулярными оценочными испытаниями, осознанием высокой ответственности за здоровье будущих пациентов. Примененный в исследовании опросник позволяет выделить и оценить устойчивые стили копинг-поведения, автономные по отношению друг к другу [10].

Результаты определения стилей совладающего со стрессом поведения у юношей и девушек студентов Ханты-Мансийской государственной медицинской академии представлены в таблице.

Проблемно-ориентированный копинг является адаптивным стилем поведения, он направлен на «рациональный анализ проблемы», включает «построение плана разрешения трудной ситуации» [12, с. 105]. В группе студентов мужского пола средние характеристики выбора ПОК соответствуют диапазону нормы; не менее, чем 25% обследованных юношей, демонстрировали применение ПОК ниже нормальных значений ($Q_1=47,7$, баллы) и у 25% выбор ПОК был выше нормы ($Q_3=65,0$, баллы). Средние характеристики выбора ПОК в группе девушек также находились в границах нормы, у 25% ее превышали ($Q_3=65,7$, баллы); величина Q_1 (54,2, баллы) входила в диапазон нормы. Границы нормальных значений выбора стилей копинга установлены с учетом половой принадлежности [10, с. 52]. Тем не менее, значимых отличий в применении ПОК между группами не выявили, а доля лиц, выбирающих стиль поведения, направленный на разрешение дискомфортной ситуации, была выше среди девушек. Есть данные, что при высоком уровне эмоционального интеллекта студенты чаще применяют копинг, направленный на решение проблемы, и реже –непродуктивные поведенческие стратегии [15, с. 79].

Таблица

Стили совладающего со стрессом поведения у студентов северного медицинского вуза

Стиль копинга, баллы	Юноши n=32	Девушки n=54	t-критерий Стьюдента
	M/Me (Q_1 – Q_3)	M/Me (Q_1 – Q_3)	
Проблемно-ориентированный копинг	56,3/59,0 (47,7-65,0)	59,7/61,0 (54,2-65,7)	0,12
Эмоционально-ориентированный копинг	32,7/30,0 (26,0-37,5)	38,2/37,0 (32,0-47,7)	0,02
Копинг, ориентированный на избегание	38,1/40,0 (29,7-46,2)	43,0/44,5 (37,0-49,7)	0,03
Субстиль КОИ «отвлечение»	16,8/16,0 (12,0-20,0)	19,2/18,0 (16,2-23,0)	0,03
Субстиль КОИ «социальное отвлечение»	13,9/15,0 (9,7-17,0)	15,1/16,5 (11,2-18,0)	0,16

В основе эмоционально-ориентированного копинга лежит стремление снизить психологический дискомфорт, что позволяет сделать положительная переоценка события, нахождение его полезных сторон и обесценивание значимости. Это неадаптивный стиль поведения. Для ЭОК характерно «эмоциональное реагирование на ситуацию», «хаотические, эмоциональные действия, ставящие во главу угла отвлечение и игнорирование проблемы» [12,

с. 105]. В нашем исследовании средние значения выбора ЭОК у юношей были ниже нормы, то есть из них не менее 50% мало практикуют такой способ совладания со стрессом. Среди студенток уже только для 25% ($Q_1=32,0$, баллы) можно говорить о применении данного копинга ниже нормальных значений; средние характеристики находятся на нижней границе диапазона нормы для женщин. Сравнительный межгрупповой анализ показал, что девушки значимо чаще выбирают в дискомфортной ситуации ЭОК. Применение ЭОК характерно для стрессовой ситуации с невысокими возможностями субъективного контроля, когда индивид не способен повлиять на причины ее возникновения [12]. Можно предположить, что хотя объективно студенты мужского и женского пола находятся в учебном процессе в равном положении, субъективно свои возможности повлиять на причину стресса они оценивают по-разному.

Копинг, *ориентированный на избегание*, подразумевает отстранение и уход от дискомфортной ситуации, мысленный или буквальный, чтобы снизить уровень испытываемого стресса. Выбор такого неадаптивного копинга направлен на избегание неудачи, в его основе лежит заниженная самооценка и высокая тревожность. В обеих группах средние характеристики применения КОИ соответствовали границам нормы для мужского и женского пола. В группе юношей не менее, чем по 25% обследованных, в ситуации стресса выбирали КОИ ниже ($Q_1=29,7$, баллы) и выше нормы ($Q_3=46,2$, баллы). Не менее 25% девушек применяли КОИ чаще нормальных значений ($Q_3=49,7$, баллы).

В КОИ различают два субстиля – *отвлечение* и *социальное отвлечение*. Средние характеристики применения субстиля *отвлечение* в мужской и женской группах находились в диапазоне нормы. Не менее 25% юношей применяли СС О реже нормальных значений ($Q_1=12,0$, баллы), а среди студенток не менее 25% лиц использовали этот субстиль чаще нормы ($Q_3=23,0$, баллы). СС *отвлечение* заключается в дистанцировании от дискомфортной ситуации, которую индивид не может пресечь по своему желанию. Это дает возможность решать другие важные текущие вопросы. Как оказалось, девушки регулярно прибегали к данному субстилю, значимо чаще, чем юноши.

Выбор субстиля *социальное отвлечение* (*поиск социальной поддержки*) юношами и девушками был сопоставим. По 25% юношей применяли СС *социальное отвлечение* ниже ($Q_1=9,7$, баллы) и выше ($Q_3=17,0$, баллы) нормы. В группе студенток не менее 25% обращались к этому субстилю реже нормы ($Q_1=11,2$, баллы). СС СО проявляется в запросе помощи окружающих в ситуации стресса; ими могут быть родные и близкие, а также специалисты в соответствующей области. В юношеском возрасте поддержка социального окружения, несомненно, важна, выступает в качестве ресурса; ее эффективность зависит от «качества» людей, готовых прийти на помощь. Есть данные о положительных корреляциях между удовлетворенностью жизнью и такими применяемыми стратегиями совладания, как *проблемно-ориентированный* копинг и *социальное отвлечение* у женщин, – «чем чаще женщины пользуются этими стратегиями совладающего поведения, тем выше уровень удовлетворенности жизнью они испытывают» [1, с. 143]. Напротив, применение *эмоционально-ориентированного* копинга сочеталось со снижением уровня удовлетворения

жизнью. Отличающиеся результаты получены в исследовании с участием студентов транспортного вуза Санкт-Петербурга: лица с низким и высоким уровнем удовлетворенности жизнью «почти одинаково используют как позитивные, так и негативные стратегии совладания с трудными жизненными ситуациями» [17, с. 93].

Заключение. Таким образом, обнаружены отличия в выборе способов совладания со стрессом у студентов северного медицинского вуза в зависимости от половой принадлежности. Девушки чаще применяли стили копинга *эмоционально-ориентированный* и *ориентированный на избегание*, а также субстиль *отвлечение*. В то же время, адаптивный *проблемно-ориентированный* копинг, подразумевающий усилия, направленные на разрешение дискомфортной ситуации, студенты обоего пола применяли в сопоставимой степени.

Применение студентами эффективного копинга позволяет им быть более успешными в период обучения в высшей школе и в дальнейшей профессиональной деятельности. Так, среди студентов широко встречается явление академической прокрастинации, что может представлять проблему для успешности обучения. Благодаря адаптивному копингу, обучающиеся могут эффективно и своевременно справляться с учебными задачами, не откладывая их на неопределенный промежуток времени. Напротив, при неадаптивном копинг-поведении студенты медлят с выполнением важных дел, что неблагоприятно сказывается на учебных результатах [7]. Наряду с особенностями поведения, в стрессовых ситуациях обнаруживаются функциональные межполовые отличия. У юношей черты поведения в стрессе коррелируют с таким важным параметром, как функционирование системы кровообращения, в большей мере, чем у девушек – у последних гемодинамика оказалась более автономной от выбираемого стиля копинга [16]. Обнаружены половые особенности функциональных систем, задействованных в реализации стрессовой реакции организма [13].

Высказано мнение, что «формирование конструктивных копингов, смысловых ориентаций студентов-медиков может стать мишенью социально-психологической помощи и поддержки и будет способствовать профилактике эмоционального выгорания» [11, с. 76]. В образовательное пространство медицинских вузов целесообразно внедрять элективные курсы, направленные на формирования адаптивного поведения в стрессе, что будет способствовать сохранению здоровья обучающихся и повышению результатов обучения.

Литература

1. Андреева О.В., Черемисова И.И. Совладающее поведение у женщин с разным уровнем удовлетворенности жизнью // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2024. Т. 13, № 2(47). С. 140-144.
2. Ауман Е.А., Морозова И.С. Особенности копинг-поведения студентов-медиков, обучающихся на разных курсах // Мир науки. Педагогика и психология. 2024. Т. 12, № 5. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/55PDMN524.pdf>
3. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ДиаСофт, 2005. 608 с.

4. Волк М.И., Кудинов С.С., Степанова А.А., Делиденко А.А. Связь жизнестойкости, копинг-стратегий и самореализации студентов разных направлений подготовки // Человеческий капитал. 2025. № 6(198). С. 131-143. <https://doi.org/10.25629/НС.2025.06.11>
5. Данилова А.В. Особенности совладающего поведения и уровней тревожности студентов // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 79-5. С. 112-114. <https://doi.org/10.18411/trnio-11-2021-213>
6. Дунай В.И., Сидоренко В.Н., Аринчина Н.Г., Малецкая В.П. Особенности проявления копинг-стратегий и мотивации на достижение успеха у студентов, занимающихся спортивными единоборствами // Здоровье для всех. 2025. № 1. С. 63-67.
7. Егиазарян А.Х. Копинг-стратегии поведения студентов с разным уровнем академической прокрастинации // Молодежная наука: тенденции развития. 2025. № 3. С. 41-49.
8. Кононов А.Н., Новикова А.С. Особенности переживания и совладания с экзаменационным стрессом студентов психологического и медицинского направлений обучения // Научный результат. Педагогика и психология образования. 2023. Т. 9, № 2. С. 129-145. <https://doi.org/10.18413/2313-8971-2023-9-2-0-10>
9. Коршунова О.В. Различия стилей совладающего поведения и жизнестойкости у людей с разным уровнем гармоничности личности // Вестник Московского международного университета. 2025. № 1(5). С. 67-71.
10. Крюкова Т.Л. Методы изучения совладающего поведения: три копинг-шкалы. Изд. 2-е, испр., доп. Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова – Авантитул, 2010. 61 с.
11. Лаврентьева А.В. Копинг-стратегии и смысложизненные ориентации как личностные факторы эмоционального выгорания студентов-медиков // Живая психология. 2023. Т. 10, № 5(45). С. 69-77. https://doi.org/10.58551/24136522_2023_10_5_69
12. Маляренко Р.А. Особенности эмоционально-ориентированных копинг-стратегий // Психология и педагогика в Крыму: пути развития. 2022. № 2. С. 104-114.
13. Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю., Погонишева И.А., Кудяшева В.П., Погонишев А.Д. Показатели стресс-реализующих и стресс-лимитирующих механизмов у молодых людей в условиях асимметричного фотопериода северного региона // Гигиена и санитария. 2025. Т. 104, № 2. С. 220-226. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-2-220-226>
14. Ситникова Е.В., Ткач Е.Н., Мовчан О.А. Особенности проявления эмоционального интеллекта и выбора копинг-стратегий у студентов // Живая психология. 2021. Т. 8, № 2(30). С. 55-63.
15. Скорлупина О.А., Кривоногова Г.А. Эмоциональный интеллект и копинг-стратегии у студентов // Вестник Алтайского государственного педагогического университета. 2024. № 3(60). С. 74-80. <https://doi.org/10.37386/2413-4481-2024-3-74-80>
16. Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Бочкарев М.В. Дезадаптивные реакции сердечно-сосудистой системы во взаимосвязи с функцией сна и копинг-поведением у студентов северного медицинского вуза // Артериальная гипертензия. 2019. Т. 25, № 2. С. 176-190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>

17. Яценко Е.Ф. Смыслжизненные ориентации, стратегии совладающего поведения и удовлетворенность жизнью у студентов как проблема социальной психологии личности // Психология. Психофизиология. 2021. Т. 14, № 1. С. 88-96. <https://doi.org/10.14529/jpps210109>

© Усова Е.В., Асанканова А.З., 2026

Хайруллина Р.Р., Погонышева И.А.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ОСОБЕННОСТИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ СФЕРЫ У СТУДЕНТОВ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ

Статья посвящена исследованию психофизиологических особенностей эмоциональной сферы и факторов риска развития невротизации и тревожности у студентов, проживающих в различных климатических условиях России – северных и южных регионах. Климатоэкологические условия оказывают значительное влияние на адаптационные процессы организма, особенно у молодежи, включенной в образовательный процесс, где наряду с климатическими факторами присутствуют дополнительные стрессоры учебной среды. Проведено психофизиологическое тестирование студентов с целью выявления уровня ситуативной и личностной тревожности, а также степени невротизации и психопатизации. Результаты показывают, что экстремальные и гипокомфортные климатические условия северных регионов способствуют повышению тревожности, эмоциональной напряженности и риску развития преморбидных состояний по сравнению с южными регионами. Особое внимание уделено влиянию климатических стрессоров, таких как перепады температуры, световой режим (полярная ночь и день), а также социальной адаптации на эмотивные реакции студентов. Работа расширяет базу знаний о психофизиологических механизмах адаптации к неблагоприятным климатоэкологическим условиям и подчеркивает необходимость разработки профилактических и коррекционных программ для поддержки психологического здоровья студентов в разных климатических зонах. Данные исследования важны для улучшения систем психологической поддержки и формирования условий, способствующих успешной учебной и социальной адаптации молодежи в экстремальных природных условиях.

Климатические условия России, охватывающие арктические, субарктические, умеренные и субтропические зоны, формируют уникальные экологические ниши, требующие длительной адаптации населения. Особенно актуальна проблема адаптации студентов, которые сталкиваются с воздействием как климатических, так и учебных стрессоров.

Климатические условия оказывают значительное влияние на психофизиологическое состояние человека, особенно на эмоциональную сферу и механизмы адаптации. По данным И.А. Погонышевой (2015), Е.Г. Щукиной (1998) психофизиологические параметры влияют на формирование адаптивных реакций организма, эмоциональную устойчивость и успешность учебной деятельности. В условиях Севера резкие перепады метеоэлементов погоды, измененный фотопериодизм и другие экстремальные климатические факторы расходуют функциональные резервы организма молодых людей, усиливая психоэмоциональное напряжение [1, с. 57; 5, с. 88; 8, с. 82; 6, с. 55]. В регионах Крайнего Севера, характеризующихся экстремальными климатогеофизическими условиями, у студентов отмечается более высокий уровень тревожности и невротизации по сравнению с южными регионами [6, с. 55; 10, с. 3].

Климат северных регионов характеризуется холодными зимами, коротким летом, высокой вариабельностью погодных условий, измененным фотопериодизмом. Низкие температуры, ограниченная солнечная активность, длительные периоды «биологической тьмы» и «белые ночи» способствуют развитию стрессовых состояний у студентов с высоким уровнем тревожности и неблагоприятным психоэмоциональным фоном. Климат южных регионов обычно мягче и более стабильный, с теплым летом и умеренно прохладной зимой. Такие условия способствуют более благоприятному психоэмоциональному состоянию студентов, снижая уровень тревожности. Однако, высокая температура, влажность и связанные с ними дискомфортные условия могут вызывать у студентов напряжение адаптационных механизмов и раздражительность, что также влияет на их психологическое здоровье. В целом, студенты южных регионов чаще демонстрируют более устойчивое эмоциональное состояние, связанное с более комфортными климатическими условиями.

Результаты проведенного исследования позволят не только выявить характер и степень влияния климатоэкологических факторов на эмоциональное состояние молодежи, но и дифференцировать риски для различных групп. Полученные данные имеют важное практическое значение для разработки адресных программ психологической поддержки, коррекции и профилактики. Это позволит повысить адаптационные возможности и психоэмоциональную устойчивость студентов, обучающихся в различных, в том числе экстремальных, климатических условиях, и в конечном итоге будет способствовать сохранению их психического здоровья и улучшению качества образовательного процесса.

Цель данного исследования – оценить особенности эмоциональной сферы, уровень тревожности и невротизации у студентов, проживающих в северных и южных климатических регионах России, с целью выявления факторов риска и возможностей психофизиологической адаптации.

В исследовании приняли участие 140 студентов высших учебных заведений, разделенных на две группы по месту проживания и обучения: северный регион – 70 человек (35 юношей и 35 девушек), южный регион – 70 человек (35 юношей и 35 девушек). Возраст участников варьировался от 18 до 22 лет. Главное отличие групп – климатические условия региона проживания.

Выборка студентов была сформирована путём приглашений через учебные и неформальные чаты/мессенджеры. В приглашении содержалась информация о сути исследования, разъяснялся его добровольный и анонимный характер, потенциальным респондентам предлагалось направить приглашение своим знакомым студентам. При желании у участников тестирования была возможность узнать его результат.

Исследование проводилось с использованием компьютерной программы «Комплексная оценка здоровья и развития студентов высших и средних учебных заведений» (А.В. Лебедев, Р.И. Айзман, В.Б. Рубанович, Н.И. Айзман). Регистрационный номер 2013611632. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный педагогический университет», 2008 г.

Для выявления специфики индивидуальной адаптации были применены психофункциональные тесты. Для диагностики уровня тревожности использовалась методика Спилбергера-Ханина, позволяющая оценить ситуативную и личностную тревожность. Уровень невротизации и психопатизации определяли с помощью стандартизированных психодиагностических опросников, адаптированных для оценки эмоциональной устойчивости и психофизиологических реакций. Определение уровня невротизации и психопатизации (УНП) выявляет склонность к невротическим (эмоциональная неустойчивость, тревожность) и психопатическим (импульсивность, конфликтность) реакциям. Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel. Результаты исследования представлены в таблицах 1-4.

Согласно данным исследования выявлены значимые различия в уровнях тревожности и невротизации у студентов, проживающих в северных и южных регионах, что подтверждает важность климатозоологических факторов в формировании психоэмоционального состояния молодежи. Данные показывают, что студенты северных территорий демонстрируют более высокие показатели тревожности – 14% юношей и 46% девушек – по сравнению с южными студентами, у которых эти показатели составляют 7% и 31% соответственно (табл. 1, 2). Эти показатели согласуются с результатами, представленными в ряде исследований, указывающих на повышенный уровень стрессового напряжения и эмоциональной нестабильности у населения, проживающего в экстремальных климатических условиях [10, с. 3; 6, с. 55].

Таблица 1

Уровень тревожности студентов северного региона (%)

Показатели		Девушки (n=35)	Юноши (n=35)
Уровень ситуативной (реактивной) тревожности	Высокий	9%	3%
	Средний	17%	6%
	Низкий	74%	91%
Уровень личностной тревожности	Высокий	37%	11%
	Средний	46%	43%
	Низкий	17%	46%

Таблица 2

Уровень тревожности студентов южного региона (%)

Показатели		Девушки (n=35)	Юноши (n=35)
Уровень ситуативной (реактивной) тревожности	Высокий	1%	1%
	Средний	34%	8%
	Низкий	65%	91%
Уровень личностной тревожности	Высокий	30%	6%
	Средний	46%	44%
	Низкий	24%	50%

Повышение тревожности в северных регионах может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, экстремальные температурные условия и резкие перепады метеозаэментов погоды создают дополнительную физиологическую нагрузку, что отражается на нервно-психическом статусе [1, с. 57]. Организм вынужден постоянно расходовать ресурсы на терморегуляцию и поддержание гомеостаза, что может приводить к хроническому

утомлению и снижению порога стрессовой реактивности. Во-вторых, особый световой режим, включая полярные ночь и день, существенно влияет на циркадные ритмы, вызывая нарушения сна и эмоциональную лабильность [3, с. 32]. Десинхроноз, вызванный недостатком или избытком естественного света, нарушает выработку мелатонина и серотонина – нейромедиаторов, критически важных для регуляции настроения, сна и общего психоэмоционального тонуса. Повышенная стрессовая нагрузка, связанная с необходимостью адаптации к таким природным условиям, способствует развитию тревожных расстройств и невротизации среди молодежи.

Аналогично, уровни невротизации у студентов северных регионов оказались выше: 11% девушек имели высокий уровень невротизации; у 9% юношей и 11% девушек – уровень выше среднего, в то время как у южан высокий уровень невротизации не регистрировался (табл. 3, 4). Невротизация отражает склонность к эмоциональной неустойчивости, повышенной реактивности и астенизации, что в экстремальных климатических условиях усиливается из-за неблагоприятного воздействия окружающей среды [11, с. 154; 7, с. 65]. Таким образом, северные климатические условия оказывают дополнительное негативное воздействие на эмоциональную сферу студентов, усиливая риск развития психоэмоциональных расстройств. Это означает, что студентам северных вузов требуется больше психологических ресурсов для поддержания эмоционального равновесия по сравнению со сверстниками из более благоприятных климатических зон. Выявленная закономерность подтверждает необходимость разработки специальных психолого-педагогических программ поддержки для студентов, обучающихся в условиях экстремального климата, с акцентом на развитии навыков саморегуляции и стрессоустойчивости.

Анализ данных выявил статистически значимые гендерные различия: девушки в обеих климатических группах демонстрировали более высокие показатели как ситуативной, так и личностной тревожности, а также уровня невротизации по сравнению с юношами.

Таблица 3

Уровень невротизации студентов северного региона (%)

Показатели		Девушки (n=35)	Юноши (n=35)
Уровень невротизации	Низкий	6%	31%
	Ниже среднего	34%	40%
	Средний	37%	20%
	Выше среднего	11%	9%
	Высокий	11%	0%

Полученные результаты находятся в полном соответствии с обширным массивом научных данных, указывающих на большую эмоциональную чувствительность, реактивность и склонность к интернализации стрессовых переживаний у представительниц женского пола, особенно в контексте образовательной среды [2, с. 112; 4, с. 345; 7, с. 65].

В исследовании Казина Э.М. и соавт. (2017) отмечено, что гендер выступает одним из ключевых типологических факторов, определяющих специфику формирования адаптивных возможностей обучающихся. Авторы показывают, что у девушек адаптационный процесс в большей степени сопряжен с напряжением эмоционально-вегетативной сферы, что

согласуется с нашими данными о повышенной тревожности. Подобные выводы дополняются работой Мальцева В.П. (2018), который, изучая психофизиологическую адаптацию в условиях дистанционного обучения, также констатировал более выраженные признаки дезадаптационного напряжения у студенток, проявляющиеся в повышенных показателях личностной тревожности и невротизации. Таким образом, выявленная в нашем исследовании гендерная асимметрия не является ситуативной или региональной особенностью, а отражает устойчивую психофизиологическую закономерность, которую необходимо учитывать при разработке программ психолого-педагогического сопровождения. Данный факт подчеркивает необходимость дифференцированного подхода к поддержке студентов, где для девушек приоритетными могут быть методы, направленные на развитие навыков эмоциональной саморегуляции и снижение тревожности.

Таблица 4

Уровень невротизации студентов южного региона (%)

Показатели		Девушки (n=35)	Юноши (n=35)
Уровень невротизации	Низкий	71%	57%
	Ниже среднего	11%	31%
	Средний	6%	11%
	Выше среднего	6%	0%
	Высокий	0%	0%

Полученные данные согласуются с теориями и эмпирическими исследованиями, подчеркивающими важность интегративного подхода к пониманию адаптации человека в экстремальных климатических условиях, внимания к психоэмоциональному статусу, воздействию региональных особенностей и социальных факторов [1, с. 57; 9, с. 24; 3, с. 32]. Проведенное исследование подтвердило наличие различий в особенностях эмоциональной сферы, уровне тревожности и невротизации у студентов, проживающих в северных и южных климатических регионах России. Климатогеофизические факторы являются значимыми модуляторами психофизиологического состояния и адаптационных ресурсов студенческой молодежи. Для эмоционального профиля «северян» в среднем характерны повышенная эмоциональная лабильность, склонность к астеническим переживаниям, сниженный фон настроения и высокий уровень тревожности. У студентов южных регионов отмечается в среднем более низкий уровень тревожности и невротизации. Эмоциональное состояние характеризуется большей стабильностью и позитивным фоном. В целом, исследование подтверждает, что климатические факторы являются значимым компонентом, влияющим на развитие тревожных и невротических состояний у студентов, и должны учитываться в системе высшего образования с целью создания комфортных и поддерживающих условий для эффективного обучения и психического здоровья молодежи.

Литература

1. Акопян А.Н. Изменение психологических и психофизиологических показателей студентов в предэкзаменационной ситуации // Психология обучения. 2016. № 1. С. 57-67.

2. Казин М.Э., Свиридова И.А., Четверик О.Н. Влияние возрастных, гендерных и типологических особенностей подростков на формирование адаптивных возможностей в условиях обучения в основной школе // Вестник Кемеровского государственного университета. 2017. № 1. С. 112-123.
3. Кузнецова И.В. Влияние климата на здоровье человека. М.: Медицина, 2020. 32 с.
4. Мальцев В.П. Гендерные особенности психофизиологической адаптации студентов заочного обучения в условиях учебной деятельности // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 345-348.
5. Николаева Е.Н., Колосова О.Н., Яковлева А.П., Мельгуй Н.В. Некоторые психофизиологические особенности здоровья студентов на Севере и возможность их коррекции // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2012. № 4. С. 88-94.
6. Погонышева И.А., Погонышев Д.А. Влияние неблагоприятных экологических факторов на психофизиологическое состояние организма студентов в условиях приобского севера // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 55-60.
7. Погонышева И.А., Погонышев Д.А., Лукьянченко Ю.Г. Взаимосвязь уровня тревожности и дезадаптации студентов // Вестник Сургутского государственного университета. 2015. № 3 (9). С. 65-69.
8. Попова М.А., Щербакова А.Э. Адаптация студентов к стрессу на севере России: функциональные и психологические аспекты: монография. Сургут: РИО СурГПУ, 2023. 82 с.
9. Соколов А.Я. Соматофизиологические показатели у студентов Северного международного университета // Экология человека. 2006. № 1. С. 24-27.
10. Хаснулин В.И., Хаснулина А.В. Психоэмоциональный стресс и метеореакция как системные проявления дизадаптации человека в условиях изменения климата на Севере России // Экология человека. 2012. № 8. С. 3–7.
11. Щукина Е.Г. Эмоциональная неустойчивость как ведущий фактор формирования дезадаптивного поведения студентов: Дис.... канд. психол. наук. М., 1998. 154 с.

© Хайруллина Р.Р., Погонышева И.А., 2026

Юленкова О.И., Погонышев Д.А.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

АДАПТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У ЮНОШЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Дыхательный процесс, обеспечивающий организм человека кислородом и выделяющий продукты обмена веществ, играет ключевую роль в жизнедеятельности. Однако эффективность функционирования дыхательной системы зависит от климатогеофизических условий проживания. Современные научные исследования демонстрируют, что различия в структуре и функциях респираторной системы у жителей различных географических зон носят выраженный адаптационный характер [2].

Молодое поколение представляет собой особую категорию населения, которая характеризуется интенсивным развитием всех органов и систем. Именно в юношеском возрасте закладываются функциональные резервы и компенсаторные механизмы, обеспечивающие эффективную адаптацию к экстремальным факторам внешней среды [6]. Изучение процессов приспособления функции внешнего дыхания у молодёжи подразумевает своевременное обнаружение предпосылок к патологиям, влияющих на органы дыхания, а также имеет важное значение для разработки профилактических мер, направленных на снижение заболеваемости, повышения уровня общего здоровья молодых людей [2]. Анализ адаптационных возможностей дыхательной системы человека, прежде всего, сосредоточен на изучении жизнедеятельности в суровых северных широтах и в высокогорье (Арабова, Шукуров, Халимова 2022, Гаджибекова, Литовченко 2023, Гребенюк, Репс, Абрамцова 2020, Погонышева, Погонышев 2017). Данное направление представляет собой важную задачу в физиологии и экологии человека [7].

Климат Ханты-Мансийского автономного округа – Югры отличается продолжительными периодами низких температур, колебаниями атмосферного давления, недостаточным количеством солнечного света, интенсивными космическими излучениями и геомагнитными возмущениями по сравнению со средними широтами, к тому же модифицированным фотопериодизмом. Ввиду указанных особенностей регион относится к зонам Крайнего Севера, что заставляет систему органов дыхания функционировать в режиме повышенной нагрузки. Вопреки распространённому мнению дефицит кислорода не является характерной чертой для северных территорий. Гипоксия обусловлена метаболическими процессами, сопровождающимися снижением активности дыхательных ферментов [8]. Множество научных исследований показывают, что у здоровых северян довольно часто выявляется снижение показателя жизненной ёмкости лёгких, который является ключевым параметром спирометрического обследования. Это свидетельствует об изменениях, происходящих в структуре дыхательной системы в рамках процесса адаптации к суровым условиям [9].

Горной территории свойственны усиленная солнечная инсоляция, пониженный уровень парциального давления кислорода, что приводит к кислородному голоданию. По мере

увеличения высоты отмечается снижение показателей атмосферного давления, температуры, содержания влаги в воздухе [8]. Пребывание в горах существенно сказывается на функционировании дыхательной системы, посредством учащения и углубления дыхания, а также увеличением пиковой скорости выдоха [3]. Изучение физиологии коренных популяций высокогорных регионов демонстрирует высокие показатели жизненной ёмкости лёгких и эффективности транспортировки кислорода в сравнении с людьми, проживающими на равнинных местностях [4]. Данный феномен объясняется адаптивными изменениями, а именно расширенной грудной клеткой и увеличенной площадью поверхности альвеол, что позволяет значительно улучшать обмен газов в среде с низким содержанием кислорода. Представленная перестройка направлена на поддержание гомеостатического равновесия [1; 5].

Целью исследования является выявление специфики адаптационных изменений функциональных показателей внешнего дыхания юношей, родившихся и проживающих в климатических условиях Северного Кавказа (1 группа) и Ханты-Мансийского – автономного округа – Югры (2 группа).

На добровольной основе с использованием информированного согласия были обследованы 70 студентов, проживающих в условиях горной местности и северных территорий. Обследуемые не предъявляли жалобы на состояние здоровья, патологии кардиореспираторной системы не отмечены. Измерения функции внешнего дыхания проводилось на аппаратно-программном комплексе – спирометр «Спиро-спектр», компании «Нейрософт». Спирометрия представляет собой инструмент функциональной диагностики, предназначенный для анализа объёмных и скоростных характеристик воздушных потоков при дыхании, а также для определения объёмов лёгких. Процедура начинается с регистрации теста «спокойное дыхание». Испытуемому рекомендуется сконцентрироваться на дыхании и выполнить 4–5 циклов вдоха и выдоха через мундштук. Затем необходимо совершить максимально глубокий вдох, за которым производится полный выдох. Представленный тест предназначен для определения эффективности работы системы внешнего дыхания, главная задача которой заключается в обеспечение организма кислородом и удалении избыточного содержания углекислого газа. Для обеспечения достоверности и надёжности полученных данных, важно, чтобы исследование опиралось на общепринятые нормы и критерии надлежащего исполнения, охватывающие такие аспекты, как контроль настройки спирометрического оборудования, корректное размещение мундштука и другие значимые факторы [10]. Во время этапа второго теста «форсированный выдох» обследуемый должен выполнить глубокий вдох и продолжительный выдох; регистрируются возможные нарушения вентиляционной способности по двум типам: рестриктивный или обструктивный. Первый обусловлен сокращением объёма лёгочной ткани, другой – препятствиями, которые затрудняют движения воздушного потока, как в верхних, так и в нижних дыхательных путях [11]. При качественном выполнении всех условий составляется протокол исследования, в котором указаны следующие показатели: ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ЧДД, ДО, ОФВ₁, ПОС, МВЛ. Жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) отражает объём воздуха, доступный для газообмена при

максимальном вдохе. Форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЕЛ) представляет собой наибольший объем воздуха, который способно выдохнуть после глубокого вдоха. Частота дыхательных движений (ЧДД) выступает за количество циклов дыхания в минуту. Объем воздуха, вдыхаемого и выдыхаемого при спокойном дыхании называется дыхательным объемом (ДО). Пиковая скорость выдоха (ПОС) в спирометрии обозначает наивысшую скорость потока воздуха достигаемую при форсированном выдохе. Объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1) иллюстрирует наибольшее количество воздуха, которое можно выдохнуть за одну секунду с максимальным усилием после глубокого вдоха. Максимальная вентиляция лёгких (МВЛ) демонстрирует объём воздуха, который лёгкие способны обработать за минуту при наибольшей скорости и глубиной дыхания [10]. Дополнительные элементы исследования: анкетирование (возраст, пол, место рождения, наличие хронических заболеваний), измерение массы тела при помощи весов. Возраст обследуемых от 17 до 19 лет.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием пакета программ Microsoft Excel, раздел «Анализ данных». Средние значения параметров представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее выборочное, m – стандартная ошибка среднего. Также были использованы следующие выборочные характеристики: Me – медиана, Min – наименьшее числовое значение, Max – наибольшее числовое значение. Для определения статистической значимости расхождений между исследуемыми группами использовали t-критерий Стьюдента для несвязанных выборок. Различия между сопоставляемыми показателями признавались статистически значимыми при достижении уровня доверительной вероятности не менее 95% ($p < 0,05$).

Участники исследования, не имеющие в анамнезе заболеваний дыхательной системы, были условно разделены на 2 группы. При формировании выборок учитывался фактор проживания в разных климатогеофизических условиях. В первую группу вошли юноши, родившиеся и длительно проживающие на Северном Кавказе (35 человек), во вторую – студенты, родившиеся в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре (34 человека).

Физиологические параметры являются индикаторами степени функциональной устойчивости, демонстрируют индивидуальные гомеостатические особенности систем органов [8]. Изучение функциональных параметров представляет возможность оценить пределы адаптационных возможностей исследуемых лиц. В таблице представлены данные юношей, проживающих в разных климатогеофизических условиях.

Таблица

Показатели внешнего дыхания юношей

Показатель	$M \pm m$		$Me (Q1 - Q3)$		Min / Max		P
	1 группа	2 группа	1 группа	2 группа	1 группа	2 группа	
ЖЕЛ, л	4,65±0,5	4,39±0,8	4,65	4,27	3,56/5,50	2,96/6,2	0,047
ФЖЕЛ, л	4,54±0,5	4,26±0,8	4,54	4,2	3,40/5,23	3,1/5,41	0,028
ЧДД, в мин	15,49±1,1	14,82±1,0	16	15	14,00/17,0	12,0/17,0	0,06
МОД, л	12,45±1,0	10,37±1,5	12,6	10,45	10,50/14,25	7,05/14,4	0,0000001

ДО, л	0,81±0,1	0,70±0,1	0,8	0,71	0,65/0,98	0,47/0,9	0,000004
ОФВ1, л	4,12±0,6	3,93±0,3	4,2	4,01	3,05/4,95	3,11/4,38	0,053
ПОС, л/с	8,3±0,7	7,25±0,8	8,45	7,21	7,05/9,50	4,26/8,3	0,0000002
МВЛ факт, л/мин	122,31± 13,2	114,4±8,8	120,5	114,2	100,50/147, 5	100,00/152,2	0,002
РД, л	109,86± 12,6	104,1±9,3	108,5	103,7	89,45/135,0 4	88,95/145,15	0,017

Согласно полученным данным среднее значение ЖЕЛ у юношей горной местности составляло $4,65 \pm 0,5$ л, тогда как у северян – $4,39 \pm 0,8$ л. По литературным данным у коренных горцев происходит расширение грудной клетки, вследствие чего представленный показатель примерно на 10% превышает аналогичный параметр у жителей других регионов, в частности у северян [8]. Показатель ФЖЕЛ у представителей 1 группы был равен $4,54 \pm 0,5$ л, у 2 группы – $4,26 \pm 0,8$ л. Согласно опубликованным данным, более низкие значения данного параметра у северян обусловлены влиянием низких температур, а также холодным воздухом, вызывающим рефлекторное сужение бронхов и спазм мышц бронхиального дерева.

Средняя ЧДД у горцев выше ($15,49 \pm 1,1$ мин), чем у северян ($14,82 \pm 1$ мин). В высокогорье воздух обладает отличительной характеристикой – разреженностью, поэтому дыхание становится учащённым. Это связано с пониженным содержанием кислорода, что требует более интенсивного дыхания для компенсации его недостатка.

Значительно больший МОД (минутной объем дыхания) зафиксирован у молодых людей горной местности – $12,45 \pm 1,0$ л, что указывает на усиленную лёгочную вентиляцию лёгких и приспособленность к интенсивному обмену кислородом; у юношей севера – $10,37 \pm 1,5$ л. Выявлены значимые отличия. Показатель ДО существенно выше у горцев $0,81 \pm 0,1$ л, что указывает на адаптационные особенности к гипоксии, в качестве компенсации дыхательная система увеличивает дыхательный объем, это более эффективный способ усилить легочную вентиляцию, по сравнению с учащением дыхания. ОФВ1 выше у юношей горной местности – $4,12 \pm 0,6$ л. У жителей севера данный показатель составил $3,93 \pm 0,3$ л. Пониженные значения свидетельствует о спазме бронхов и наименьшему сопротивлению дыхательных путей. Значение ПОС также выше в 1 группе – $8,3 \pm 0,7$ л/с, чем во 2 группе – $7,25 \pm 0,8$ л/с. Указанные различия обусловлены тем, что лёгочная ткань у лиц, проживающих в высокогорье обладает большей степенью эластичности по сравнению с жителями северных широт.

Средняя МВЛ значительно выше у молодых людей из горной местности – $122,31 \pm 13,2$ л/мин, по сравнению с северянами – $114,4 \pm 8,8$ л/мин, разница статистически значима, свидетельствует о больших резервах дыхательной системы. Большая величина РД у 1 группы лиц – $109,86 \pm 12,6$ л свидетельствует о повышении функциональных возможностей и мощности дыхательной системы как части комплексной адаптации к хронической гипоксии.

Согласно данным исследования, юноши, проживающие в условиях Северного Кавказа, обладают более высокими функциональными возможностями дыхательной системы, демонстрируя не только увеличенную жизненную ёмкость лёгких, но и вентиляционную способность. В сравнении с жителями горной местности, у северян более низкие показатели внешнего дыхания отражают принципиально другую адаптационную стратегию. Студенты 1

группы демонстрировали увеличенный дыхательный объем и резервы, как результат адаптации к нехватке кислорода в разреженном воздухе. Студенты 2 группы показывали тенденцию к экономизации параметров респираторной системы: меньшая вентиляция лёгких минимизирует потери тепла и влаги при дыхании на морозе. Организм жителей горной местности настроен на максимальный газообмен в условиях гипоксии, организм северян оптимизирует дыхание для энергосбережения в условиях холода.

Функциональное состояние дыхательной системы у обследуемых лиц определялось спецификой климатогеофизических условий внешней среды. Представленные данные расширяют знания о функциональных возможностях дыхательной системы молодых людей, проживающих в северных и горных местностях.

Литература

1. Арапова З.У., Шукуров Ф.А., Халимова Ф.Т. Современные аспекты изучения адаптационных возможностей организма к условиям высокогорья // Биология и интегративная медицина. 2022. С. 4-47.
2. Виноградова И.А., Белишева Н.К. Человек на Севере: системные механизмы адаптации. Магадан: Типография «Экспресс-полиграфия», 2019. Т. 3. 256 с.
3. Гаджибекова Н.Г., Литовченко О.Г. Особенности кардиореспираторной системы у жителей среднего Приобья // Современные вопросы биомедицины. 2023. С. 74-79.
4. Гребенюк А.В., Репс В.Ф., Абрамцова А.В. Адаптация к гипоксии в условиях высокогорья: анализ опыта восхождений на высочайшие вулканы континентов // Современные вопросы биомедицины. 2020. С. 40-55.
5. Литовченко О.Г., Гаджибекова Н.Г. Функциональные особенности кардиореспираторной системы пришлого населения, проживающего в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях // Российские биомедицинские исследования. 2023. Т. 8. № 3. С. 36-49.
6. Наговицина У.В., Говорухина А.А. Влияние условий северного региона на состояние организма студентов / В сборнике: Актуальные проблемы математики и естественных наук. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения к.п.н., доцента В.Л. Рабиновича. Петропавловск-Баку-Сургут, 2023. С. 381-383.
7. Нифонтова О.Л., Литовченко О.Г., Багнетова Е.А., Конькова К.С. Показатели функционального состояния дыхательной системы студентов северного вуза // Экология человека. 2017. № 2. С. 17-21.
8. Погоньшева И.А., Погоньшев Д.А. Особенности морфофункциональных параметров организма молодых людей, проживающих в разных климатогеофизических условиях окружающей среды // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2017. № 1. С. 61-68.
9. Погоньшева И.А., Погоньшев Д.А. Физическое развитие и функциональное состояние системы органов дыхания студентов НВГУ // Культура, наука, образование:

проблемы и перспективы. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 52-55.

10. Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Малявин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов // Пульмонология. 2023. № 33(3). С. 307-340.

11. Стручков П.В., Дроздов Д.В., Лукина О.Ф. Спирометрия. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 38 с.

© Юленкова О.И., Погоньшев Д.А., 2026

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ И ИНФОРМАТИКЕ В ШКОЛЕ

Асеева К.А.

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОТЕРИ ИНТЕРЕСА ШКОЛЬНИКОВ К ИЗУЧЕНИЮ МАТЕМАТИКИ

В эпоху быстрого прогресса цифровых технологий, а также трансформации образовательных приоритетов все чаще и острее поднимается вопрос о падении интереса школьников к математике. Хотя именно математика играет самую важную ключевую роль в развитии, как логического мышления ученика, так и понимания научной картины мира. Зачастую этот предмет все чаще видится учащимися как трудный и абстрактный предмет, не имеющий непосредственного отношения к повседневной жизни. Почему же в современных реалиях складывается подобная ситуация во многих школах и какие возможности имеет педагог для повышения познавательного интереса школьника к изучению математики? Поставленные проблемные вопросы актуальны в наше время и требуют прогресса в решении, чему и будет посвящена данная статья.

Познакомимся с теоретическими основами изучения учебной мотивации.

Учебная мотивация является одним из важнейших факторов успешного образовательного процесса. Психологическая наука **мотивацию** рассматривает, как совокупность внутренних и внешних побуждений, определяющих направленность, активность и устойчивость деятельности человека. Например, Зимняя И.А. рассматривает учебную мотивацию, как частный вид мотивации, автор считает, что это некая «система побуждений, определяющая направленность и характер учебной деятельности обучающегося» [2, с. 130].

В беседе с научным руководителем Центра педагогического мастерства И. Яценко подчеркивается, что у ряда российских школьников к 6–7 классу наблюдается значительное снижение интереса к предмету математики. Учащиеся начинают воспринимать себя, как «неспособных и нерасположенных к математике», что, конечно, в свою очередь приводит к падению их мотивации, к дальнейшему изучению предмета. Автор связывает это явление с накоплением пробелов в знаниях и возрастанием сложности абстрактного материала в средней школе [6].

Эмпирическое исследование, проведенное филиппинскими учеными и опубликованное в 2025 году также выявило причины, способствующие отрицательному отношению к математике, основываясь на опросе около 600 студентов. Результаты показали, что математическая тревожность и негативный опыт в прошлом усиливают неприязнь к этому предмету и могут уменьшать желание учиться математическим дисциплинам.

Современная тенденция последних лет заключается в том, что учащиеся все чаще сталкиваются с математической тревожностью и недостатком мотивации, особенно в процессе перехода от элементарной арифметики к более абстрактным аспектам средней школы. Негативные переживания и методы преподавания только усугубляют антипатию к этому предмету. Уровень учебной вовлеченности является важным показателем интереса – его снижение связано с угасанием интереса к математике.

Проанализировав современные проблемы снижения интереса школьников к изучению математики, выявлено:

- В последние годы вопрос уменьшения интереса учащихся к математике становится всё более насущным. Хотя этот предмет играет важную роль в развитии логического мышления и подготовке к будущей профессии, у многих школьников наблюдается снижение познавательной активности уже в основной школе. Исследования в области психологии и педагогики, а также практика школьного обучения, выявляют несколько основных факторов, способствующих этой тенденции.

- Одной из ключевых причин является усложнение и перегрузка учебных планов. Переход от начального к основному образованию сопровождается значительным увеличением объема и абстрактности учебного контента. При недостаточно прочной базе знаний это может привести к образованию пробелов, снижению успеваемости и, как следствие, потере уверенности в собственных математических способностях. В итоге у учеников формируется установка на «неспособность к математике», что отрицательно отражается на мотивации.

- Важным аспектом является абстрактный характер математического знания. Многие математические идеи и техники не имеют явной связи с повседневным опытом школьников. Недостаток практических приложений и примеров использования математики в реальных ситуациях уменьшает значимость учебного процесса. В результате учащиеся начинают рассматривать математику как формальный и изолированный от жизни предмет, требующий лишь механического запоминания алгоритмов.

- Одной из серьезных проблем является доминирование репродуктивных подходов в обучении. Обычное сосредоточение на выполнении однообразных заданий, подготовке к тестам и итоговым экзаменам зачастую сужает пространство для исследовательской, творческой и проектной работы. В таких обстоятельствах учебный процесс теряет личностную значимость и превращается в средство получения оценок, что усиливает внешнюю мотивацию в ущерб внутренней.

- Недавние исследования также подчеркивают увеличение уровня математической тревожности среди учеников. Боязнь ошибиться, негативные переживания от неудач, строгая система оценок и публичное сопоставление результатов усиливают эмоциональное напряжение на уроках математики. Как следствие, студенты начинают уклоняться от активного участия в учебном процессе, что в свою очередь приводит к падению интереса и вовлеченности в предмет.

- Особого рассмотрения требует воздействие цифровой среды. С одной стороны, современные технологии открывают широкие возможности для визуализации и

интерактивного изучения математики. С другой стороны, клиповое мышление, возникшее под влиянием цифрового контента, затрудняет понимание сложных логических конструкций, которые требуют сосредоточенности и продолжительной умственной активности. Это, в свою очередь, ослабляет устойчивость познавательного интереса к предметам с высокой нагрузкой, к которым математика и относится. По данным исследования PISA 2018, 42% студентов сталкиваются с проблемами в осмыслении сложных математических задач, что значительно влияет на их мотивацию к обучению. Это указывает на важность детальной оценки уровня подготовки учащихся и адаптации учебных ресурсов для улучшения доступности и ясности образовательного процесса. По мнению Ершовой в этой ситуации важно обратить внимание на современные явления, например, как геймификация, Е.В. определяет ее, как «средство повышения интереса к изучению элементов аналитической геометрии в школьном курсе математики [1, с. 196].

– Школьники также часто формируют свое отношение к математике под воздействием социальных и семейных факторов. Если родители выражают негативные мнения о «трудности» или «бесполезности» математики, а также подчеркивают важность гуманитарных или других учебных направлений, это может привести к тому, что ученики начинают воспринимать предмет как менее значимый.

Следовательно, уменьшение увлечения учащихся к изучению математики имеет многоаспектный характер и вызвано сочетанием содержательных, методических, психологических и социокультурных причин. Учет этих вопросов является важным условием для создания действенных педагогических подходов, нацеленных на стимулирование мотивации и долговременного познавательного интереса к математике.

Роль учителя и образовательной среды

«Сильный» эффективный учитель математики имеет в себе множество характеристик, способных повлиять на мотивацию обучающихся. Среди них можно выделить:

- способность выбирать методы и формы преподавания математики;
- осознание влияния личности учителя на формирование интереса к предмету;
- умение использовать своевременно современные образовательные технологии;
- умеет применять дифференцированный и индивидуальный подход к обучающимся.

Пути повышения интереса к изучению математики

1. Деятельность с использованием проектов и исследования.

Так, например, Алла Николаевна Караева в своей статье демонстрирует, что привлечение учеников к самостоятельным исследованиям усиливает их интерес к предмету. В рамках подобных проектов школьники собирают информацию, выдвигают гипотезы, создают графики, проводят анализ полученных данных, что делает изучение математики более живым и прикладным [4, с. 13-14].

2. Использование проблемного обучения на уроках.

Создать проблемную ситуацию – навести учащегося на самостоятельный поиск решения задачи.

Например, при изучении темы «Квадратные уравнения» учитель может предложить задачу из повседневной жизни:

«Какова должна быть высота фонтана, чтобы поток воды достигал определенной отметки?» Решение данной задачи побуждает ребенка к введению темы квадратного уравнения. Такой метод соответствует принципам развивающего обучения, предложенным Львом Выготским. Именно он акцентировал внимание на важности активного познавательного процесса у учащихся.

3. Еще одним важным этапом повышения мотивации способствует умение учителя связывать математику с жизнью и профессией, демонстрировать практическую значимость математических навыков.

Например, при изучении темы «Проценты», можно рассчитать: скидку в магазине, проценты по банковскому вкладу или переплату по кредиту. Показывая прикладное значение математики, тем самым есть шанс, что уровень мотивации у школьников явно повысится.

4. Цифровые образовательные платформы в обучении, интерактивные упражнения делают процесс обучения более наглядным, интересным и увлекательным.

Например, при подготовке к итоговым аттестациям учащиеся могут пользоваться и решать тесты на таких платформах, как Российская электронная школа, на которой представлены не только тренировочные КИМы, но и видеоуроки. Востребованным также является образовательная платформа Решу ЕГЭ/ОГЭ, на которой можно отработать конкретные типы задач, а также составить собственные варианты заданий для школьников.

5. Наиболее становится распространенной в настоящее время геймификация на занятиях, то есть использование игровых методов для неигровых ситуаций с целью привлечения учащихся к прикладным задачам и их решениям. Основной задачей геймификации является вовлечение ребенка в процесс обучения точно так, как игрока в игру. То есть базовым минимум является среда, в которой конец игры будет определен знаниями и навыками игрока, которые можно перенести в реальный мир [5, с. 176].

6. Наиболее распространенным становится дифференцированный подход, в котором происходит учет индивидуальности учащихся и формирование ситуации успеха, например, на уроке может быть предложено три уровня задач: базовый – на закрепление алгоритма, повышенный – требуемый анализа, творческий – с элементами нестандартного подхода. Представленная модель соответствует требованиям, закрепленным в ФГОС [7].

7. Важнейшим аспектом является развитие самостоятельности школьников. Ведь именно самостоятельная исследовательская работа способна сформировать устойчивый интерес к изучению предмета. Например, при исследовании зависимости площади круга от его радиуса, учащиеся могут построить таблицу значений, проанализировать закономерность и сделать вывод о квадратичной зависимости. Данная деятельность представлена Институтом стратегии развития образования [3].

Исследование показало, что снижение интереса школьников к математике представляет собой сложный механизм, который обусловлен несколькими факторами. Среди них:

– недостаток практического применения учебного материала;

- преобладание внешних факторов, таких как оценки, внутренняя мотивация;
- использование традиционных методов обучения, которые не в полной мере активизируют учащихся;
- наличие математической тревожности;
- ограниченное применение игровых и проектных технологий.

Но кроме того, введение игровых технологий и геймификации повышает потенциал учебной мотивации, что подтверждают современные исследовательские проекты отечественных педагогов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что итоги могут быть востребованы при разработке школьных программ, в методических работах учителей математики, при разработке программ курсов повышения квалификации педагогов, а также при создании новых методик с учетом современных мотивационных потребностей учащихся.

С целью повышения интереса и мотивации школьников к изучению математики рекомендуется:

- 1) Эффективно применять подходы и элементы геймификации, которые адаптированы к образовательным стандартам и возрастным характеристикам школьников, что будет способствовать повышению увлеченности и внутренней мотивации.
- 2) Создавать проектные работы и задания, основанные на жизненных реалиях, чтобы учащиеся могли увидеть практическое использование математических понятий.
- 3) Применять индивидуальные и дифференцированные подходы, зная и беря во внимание уровень подготовки каждого школьника.
- 4) Создавать условия для достижения успеха посредством поддержки и саморефлексии, что способствует снижению тревожного состояния.
- 5) Организовывать внеурочные мероприятия по предмету (конкурсы, викторины, олимпиады, проекты), что является дополнительным стимулом для участия и развития навыков у детей.

Литература

1. Ершова Е.В. Геймификация как средство повышения интереса к изучению элементов аналитической геометрии в школьном курсе математики // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 5. С. 196-197.
2. Зимняя И. А. Педагогическая психология. Санкт-Петербург, 2025. 130 с.
3. Институт стратегии развития образования РАО. URL: <http://www.instrao.ru> (дата обращения: 20.02.2026).
4. Караева А.Н. Проектно-исследовательская деятельность как средство повышения мотивации у обучающихся к изучению информации. 2021. № 13. С. 13-15.
5. Миклашевич Ю.И. Использование приёмов геймификации на уроках математики // Современные векторы в образовании: теория и практика. Коломна, 2022. С. 176-182.
6. «Проблемы появляются к 6-му классу». Почему школьники начинают скучать на математике и что с этим делать. URL: <https://clck.ru/3ThQWq> (дата обращения: 19.02.2026).

7. ФГОС основного общего образования (5–9 кл.) // Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС). URL: <https://fgos.ru> (дата обращения: 20.02.2026).

© Асеева К.А., 2026

Беляева О.Д., Воронцова Е.Р., Шепелёва М.С.
Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина
г. Рязань, Россия

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАДАЧ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ДЕТЕЙ РАЗНОГО УРОВНЯ

Введение

Современная система образования предъявляет новые требования к результатам обучения. Выпускник школы должен не просто владеть набором теоретических знаний, но и уметь применять их в реальных жизненных ситуациях. Это требование закреплено во ФГОС и проверяется в ходе государственной итоговой аттестации (ОГЭ и ЕГЭ), которая в последние годы все больше ориентируется на задания практического и метапредметного характера [2; 5].

В данной статье представлена система задач, разработанная с учетом необходимости подготовки учащихся разного уровня к итоговой аттестации, а также особенностей работы с детьми с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ).

1. Функциональная грамотность как основа подготовки к итоговой аттестации

Функциональная грамотность – это способность человека использовать приобретаемые в течение жизни знания, умения и навыки для решения максимально широкого диапазона жизненных задач в различных сферах человеческой деятельности, общения и социальных отношений [3, с. 12].

В отличие от простой грамотности как способности к чтению и письму, функциональная грамотность предполагает:

- понимание и интерпретацию информации;
- готовность применять знания в нестандартных ситуациях;
- способность к критическому осмыслению данных.

Международные исследования PISA (Programme for International Student Assessment) проверяют именно этот аспект подготовки 15-летних подростков. Российская система образования взяла курс на вхождение в топ-10 стран по качеству образования, что требует пересмотра подходов к подготовке к итоговой аттестации [1].

Ключевые компоненты функциональной грамотности:

- Читательская грамотность – понимание текстов, умение находить скрытый смысл, интерпретировать информацию из разных источников (инструкции, квитанции, графики).
- Математическая грамотность – способность использовать математические знания в повседневной жизни (расчет налогов, процентов по кредитам, анализ статистических данных).
- Естественно-научная грамотность – умение отличать научные факты от псевдонаучных мифов, объяснять природные явления, планировать эксперименты.
- Финансовая грамотность – навыки управления бюджетом, понимание кредитных продуктов, избегание долговых ловушек.

- Креативное мышление и глобальные компетенции – **способность решать нестандартные задачи, взаимодействовать с людьми других культур.**

2. Типы задач для подготовки к итоговой аттестации

В процессе подготовки к ОГЭ и ЕГЭ используются четыре основных типа задач, каждый из которых имеет свои цели и особенности.

2.1. Практико-ориентированные задачи

Данный тип задач моделирует ситуации из повседневной жизни, с которыми ученики могут столкнуться лично. Они требуют не только знаний по предмету, но и бытовых навыков. В ОГЭ к этому типу относятся задания 1–5, в ЕГЭ – экономические задачи.

Пример: Выбор оптимального тарифа мобильной связи, расчет стоимости поездки на такси, планирование семейного бюджета.

2.2. Межпредметные (контекстные) задачи

Задачи данного типа интегрируют знания из двух и более предметов. Например, при решении математических задач учащимся необходимо применять знания по физике (задание №12 ОГЭ), химии (прототип «Сплавы и смеси» в ЕГЭ – задание №10), биологии. Это формирует целостную картину мира и показывает взаимосвязь наук [4].

2.3. Ситуационные задачи

Такие задачи погружают ученика в контекст, выходящий за рамки личного опыта, но позволяющий понять практическую значимость знаний в профессиональной или общественной сфере. Например, задачи по теории вероятностей (ОГЭ – задание 10, ЕГЭ – задания 4-5) моделируют ситуации, с которыми сталкиваются программисты, инженеры, экономисты, логисты.

2.4. Нетипичные (открытые) задачи

Задачи этого типа предполагают проблему из реальной жизни, имеющую несколько способов решения или несколько вариантов правильного ответа. Цель ученика – не просто получить ответ, но и обосновать свои суждения. Примером может служить экономическая задача о выборе между продажей акций и размещением денег на вкладе.

3. Развитие функциональной математической грамотности на уроках алгебры и геометрии

Функциональная математическая грамотность занимает особое место в структуре подготовки к итоговой аттестации, поскольку математика является инструментом для описания и анализа реальных процессов. На уроках алгебры и геометрии формируются базовые умения, необходимые для решения практических задач.

3.1. Развитие функциональной грамотности на уроках алгебры

Алгебра предоставляет широкие возможности для моделирования реальных ситуаций. В процессе обучения необходимо акцентировать внимание на следующих аспектах:

- Работа с процентами и долями. Задачи на расчет налогов, кредитов, скидок, инфляции позволяют связать абстрактные алгебраические понятия с повседневной жизнью.

- **Функциональные зависимости.** Анализ реальных процессов (рост населения, изменение температуры, экономические показатели) с помощью линейных, квадратичных и показательных функций формирует понимание математики как языка описания мира.

- **Оптимизационные задачи.** Поиск наилучшего решения в условиях ограничений (например, минимизация затрат при заданном бюджете) развивает критическое мышление и навыки принятия решений.

Пример задачи по алгебре: «Семья Ивановых взяла кредит 300 000 рублей на 2 года под 12% годовых. Рассчитайте ежемесячный платеж при аннуитетной схеме погашения и определите общую переплату. Сравните с предложением другого банка: ставка 10% годовых, но комиссия за обслуживание счета 500 рублей в месяц. Какой вариант выгоднее?»

3.2. Развитие функциональной грамотности на уроках геометрии

Геометрия традиционно считается наиболее абстрактным разделом математики, однако именно она имеет огромное количество практических приложений:

- **Измерения и вычисления в реальном пространстве.** Задачи на расчет площади стен для покраски, объема комнаты для выбора кондиционера, длины забора вокруг участка формируют пространственное мышление.

- **Масштаб и подобие.** Чтение карт, планов квартир, строительных чертежей требует понимания геометрических отношений и пропорций.

- **Оптимизация формы.** Выбор наиболее экономичной формы упаковки, расчет расхода материалов при строительстве – все это требует применения геометрических знаний.

Пример задачи по геометрии: «Для укладки плитки на пол кухни размером 4 м × 3 м выбрана плитка 40 см × 40 см. Сколько упаковок плитки потребуется, если в упаковке 6 плиток? Сколько останется неиспользованных плиток? При расчете учтите, что плитку можно резать, но целые плитки укладываются вдоль стен».

3.3. Интеграция алгебры и геометрии в практических задачах

Наиболее сложные и интересные задачи требуют одновременного применения алгебраических и геометрических знаний. Например, при расчете стоимости остекления балкона необходимо учитывать геометрические размеры конструкции (геометрия) и стоимость материалов с учетом скидок и доставки (алгебра).

Пример интегрированной задачи: «Балкон имеет форму прямоугольника с полукруглым выступом. Длина прямоугольной части 3 м, ширина 1,2 м, радиус полукруга 0,6 м. Для остекления выбраны стеклопакеты стоимостью 8500 руб./м². Доставка – 1500 руб., монтаж – 10% от стоимости материалов. Рассчитайте общую стоимость работ».

3.4. Методические приемы формирования функциональной грамотности

Эффективное развитие функциональной грамотности на уроках математики требует использования специальных методических приемов:

1. **Контекстное обучение.** Каждая новая тема должна вводиться через реальную проблемную ситуацию, значимую для учащихся.

2. Работа с реальными данными. Использование актуальных ценников, квитанций, строительных планов повышает мотивацию и демонстрирует практическую значимость знаний.

3. Проектная деятельность. Выполнение мини-проектов (например, «Ремонт моей комнаты», «Бюджет путешествия») позволяет применить комплекс математических знаний.

4. Визуализация и моделирование. Использование графиков, диаграмм, геометрических моделей помогает перевести абстрактные понятия в наглядную форму.

5. Дифференциация заданий. Подбор задач разного уровня сложности с учетом индивидуальных особенностей учащихся, включая детей с ОВЗ [5].

4. Критерии качества задачи

Не каждая «жизненная» задача способствует развитию функциональной грамотности. Анализ методической литературы [2; 3; 5] позволяет выделить три ключевых критерия качественной задачи:

1. Контекстность. Ситуация должна быть понятной и узнаваемой для ученика, основываться на реальных фактах, а не на абстрактных понятиях.

2. Межпредметность. Задача требует комплексного применения знаний из разных областей, стирая границы между учебными предметами.

3. Открытость. Отсутствие единственного шаблонного решения, возможность различных путей рассуждения и обоснованного выбора.

5. Типичные ошибки и сложности при решении задач

Практика показывает, что наиболее распространенными трудностями у учащихся являются:

- «Огромный текст». Ученик теряется в условии задачи, не может выделить ключевую информацию. Решение – отработка навыков смыслового чтения и визуализации данных.
- «Нереальный ответ». Ученик получает результат, противоречащий здравому смыслу (например, стоимость товара с отрицательной скидкой), и не замечает этого. Важно формировать навык критической оценки полученного результата.

6. Особенности работы с детьми с ОВЗ (на примере ЗПР)

Согласно Федеральному закону «Об образовании в РФ», обучающийся с ограниченными возможностями здоровья – это физическое лицо, имеющее недостатки в физическом и (или) психологическом развитии, подтвержденные психолого-медико-педагогической комиссией и препятствующие получению образования без создания специальных условий.

Среди различных категорий детей с ОВЗ особое место занимают дети с задержкой психического развития (ЗПР), для которых характерны:

- речевые нарушения;
- трудности запоминания и восприятия информации;
- сложности в усвоении базового учебного материала;
- повышенная утомляемость;
- слабый эмоциональный контроль.

При разработке системы задач для данной категории учащихся необходимо учитывать следующие методические рекомендации:

- использование ярких, наглядных опорных конспектов;
- многократное повторение материала с проговариванием алгоритмов;
- прорешивание однотипных заданий пошагово;
- создание ситуаций успеха;
- недопустимость перехода на личность ребенка (замечания только за конкретные поступки);
- проведение бесед с классом о корректном поведении по отношению к детям с ОВЗ.

6. Практические задания для разных уровней подготовки

Базовый уровень

Автомобильное колесо представляет собой металлический диск с установленной на него резиновой шиной (Рисунок 1). Для маркировки шин применяется единая система обозначений. Например, 195/65 R15 означает: ширина шины – 195 мм, высота боковины – 65% от ширины (126,75 мм), R – радиальная конструкция, 15 – диаметр диска в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм). Завод устанавливает на автомобиль шины 265/70 R17.

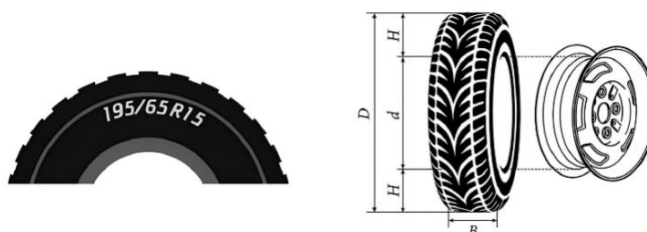


Рис. 1

Задание 1. Завод допускает установку шин с другими маркировками. В таблице показаны разрешенные размеры шин (табл.).

Таблица 1

Ширина шины (мм)	Диаметр диска (дюймы)		
	17	18	20
265	265/70	265/65	-
275	275/70; 275/65	275/70; 285/60	275/55
285	285/65; 285/60	285/60	285/50

Шины какой наименьшей ширины можно устанавливать на автомобиль, если диаметр диска равен 20 дюймам? Ответ дайте в миллиметрах.

Задание 2. Сколько миллиметров составляет высота боковины шины, выходящей с завода?

Задание 3. Найдите диаметр колеса с шиной маркировки 195/50 R16.

Средний уровень

Задание 1.

На сколько миллиметров увеличится диаметр колеса, если заменить колеса, установленные на заводе (215/65 R16), колесами с шинами маркировки 235/50 R18?

Задание 2. Найдите диаметр колеса автомобиля, выходящего с завода с шинами 215/65 R16. Ответ дайте в миллиметрах.

Задание 3. На сколько миллиметров радиус колеса с шиной маркировки 205/55 R14 больше, чем радиус колеса с шиной маркировки 165/65 R14?

Сильный уровень

Задание 1. На сколько процентов увеличится пробег автомобиля при одном обороте колеса, если заменить колеса, установленные на заводе (225/65 R16), колесами с шинами маркировки 265/70 R17? Результат округлите до десятых (Рисунок 2).

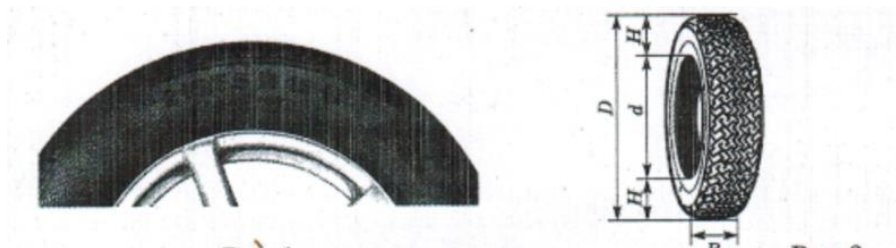


Рис. 2

Задание 2. На сколько метров увеличится путь, пройденный автомобилем, когда колесо сделает 1000 оборотов, если заменить шины 265/70 R17 на 275/70 R17? Результат округлите до целых.

Задание 3. Спидометр автомобиля показывает скорость точно. На сколько процентов показания спидометра будут отличаться от реальной скорости, если заменить шины 265/70 R17 на 275/70 R17? Результат округлите до десятых.

Заключение

Разработка системы задач для подготовки к итоговой аттестации должна основываться на принципах дифференциации, учета индивидуальных особенностей учащихся и ориентации на формирование функциональной грамотности. Представленные в статье типы задач и методические рекомендации позволяют организовать эффективную подготовку школьников разного уровня, включая детей с ОВЗ. Перспективой дальнейшего исследования является создание электронного банка заданий с автоматической системой оценивания и адаптивным подбором сложности.

Литература

1. Алексашина, И.Ю., Абдулаева О.А., Киселев Ю.П. Формирование и оценка функциональной грамотности учащихся: методическое пособие. СПб.: КАРО, 2021. 160 с.
2. Денищева, Л.О., Глазков Ю.А., Краснянская К.А. Формирование функциональной грамотности учащихся при обучении математике: теория и практика. М.: Просвещение, 2022. 208 с.
3. Ковалева Г.С. Возможные направления совершенствования общего образования для обеспечения инновационного развития страны (по результатам международных исследований PISA) // Вестник образования России. 2021. № 7. С. 45-52.

4. Рослова Л.О., Ковалева Г.С., Квитко Е.С. Функциональная грамотность: учимся для жизни. Математическая грамотность. Сборник эталонных заданий. Вып. 1. М.: Просвещение, 2023. 96 с.
5. Фоменко С.Л. Подготовка к ОГЭ и ЕГЭ по математике в контексте формирования функциональной грамотности // Математика в школе. 2024. № 2. С. 24-31.
6. OECD. PISA 2022 Assessment and Analytical Framework. Paris: OECD Publishing, 2023. – 328 p.

© Беляева О.Д., Воронцова Е.Р., Шепелёва М.С., 2026

Бондарев Я.Ю.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ СТАРШЕКЛАССНИКОВ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИКИ

В условиях современных глобальных вызовов и высокой степени информационной неопределенности вопросы становления устойчивой гражданской позиции у молодежи обретают особую остроту. Для России как поликультурного государства укрепление общероссийской гражданской идентичности выступает стратегическим ориентиром, что зафиксировано в федеральных государственных образовательных стандартах, указах Президента РФ и профильном законодательстве [2, с. 22; 2, 4]. В системе образования достижение личностных результатов, базисом которых является гражданская идентичность, декларируется как приоритет для всех учебных дисциплин, включая математику [3]. Однако в повседневной педагогической практике дидактические ресурсы математики в сфере воспитания нередко остаются нереализованными, что формирует разрыв между нормативными требованиями и реальным учебным процессом.

В современной научной литературе гражданская идентичность трактуется как многокомпонентное личностное образование. В его структуре выделяют когнитивный элемент (осведомленность об истории, культуре, законодательстве страны), ценностно-эмоциональный (ощущение сопричастности к судьбе общества, гордость за его успехи, уважение к культурному многообразию) и поведенческий (готовность участвовать в общественной жизни, нести ответственность за поступки) [1, с. 146]. Старший школьный возраст (15–18 лет) является наиболее благоприятным для формирования гражданского самосознания, поскольку этот этап совпадает с личностным и профессиональным самоопределением, развитием абстрактного мышления и выстраиванием целостной картины мира.

Ключевым педагогическим условием, позволяющим актуализировать воспитательный потенциал математики, выступает проблематизация содержания. Данный подход предполагает проектирование учебных ситуаций, в которых учащиеся, применяя математический аппарат, подвергают анализу социально значимые явления, сталкиваются с альтернативными точками зрения и учатся аргументировать собственную позицию. К примеру, построение моделей демографических процессов или критическая оценка статистических отчетов способствуют формированию доказательного подхода к анализу общественных явлений, что является фундаментом зрелой гражданской позиции [5, с. 89].

Математика как учебный предмет располагает значительным, хотя и не всегда очевидным, воспитательным потенциалом. Данный ресурс может быть полноценно раскрыт в рамках каждого из основных курсов старшей школы.

В курсе алгебры и начал математического анализа воспитательный эффект достигается посредством прикладной направленности материала. Применение математического инструментария для исследования социально-экономических процессов позволяет перевести

абстрактные категории в плоскость практического осмысления реальности. Это содействует формированию у обучающихся представлений о механизмах функционирования государства. В таблице 1 представлены примеры соответствующих задач, составленных автором.

Таблица 1

Примеры задач по алгебре и началам анализа, направленные на формирование компонентов гражданской идентичности (ГИ)

№	Содержание задачи	Формируемый компонент ГИ	Методы, приёмы, формы работы
1	Тема: Производная. Объем промышленного производства в регионе за последние годы описывается функцией $V(t) = -t^3 + 15t^2 + 150t + 200$, где t – время в годах. Найдите момент времени t , когда темпы роста производства были максимальными. Какие социально-экономические факторы (инвестиции, открытие новых предприятий, господдержка) могли повлиять на ускорение и последующее замедление темпов?	Когнитивный (понимание экономической динамики), Ценностный (осознание роли промышленности в благосостоянии региона)	Метод математического моделирования, анализ графика функции и её производной, дискуссия о факторах экономического роста.
2	Тема: Первообразная и интеграл. Скорость поступления налогов в бюджет области от малого бизнеса описывается функцией $v(t) = 0.3t^2 + 1$ (млрд руб./год). Вычислите общую сумму налоговых поступлений от этого сектора за первые 4 года. Как развитие малого предпринимательства влияет на наполняемость регионального бюджета и, как следствие, на финансирование социальных программ (строительство школ, больниц)?	Когнитивный (работа с показателями развития), Поведенческий (понимание связи между экономикой и социальной сферой)	Решение прикладной задачи, межпредметная связь с обществознанием, обсуждение социальной ответственности бизнеса.
3	Тема: Логарифмические уравнения. Уровень информированности населения о социально значимом проекте описывается моделью $N(t) = 500 \cdot \ln(t+1)$, где t – время в месяцах. Через сколько месяцев количество информированных граждан достигнет 1500 человек? Обсудите, как с помощью математических моделей можно оценивать эффективность государственных информационных кампаний и социальной рекламы.	Когнитивный (понимание механизмов информирования), Поведенческий (формирование активной информационной позиции)	Проблемный диалог, анализ адекватности модели, групповая работа по оценке эффективности гипотетических кампаний.

Предложенные задания демонстрируют, что алгебра предоставляет широкие перспективы для осмысления общественных процессов. Анализ скорости изменения (производная) позволяет фиксировать периоды экономического роста или спада, вычисление накопленного результата (интеграл) – оценивать вклад налогоплательщиков, а логарифмические зависимости – понимать закономерности распространения информации. Критически значимым этапом выступает не просто получение числового ответа, а последующая рефлексия и дискуссия о социальном контексте задачи.

Курс геометрии обладает уникальной способностью визуализировать взаимосвязь математики с материальной и культурной средой. Архитектурные сооружения,

монументальное искусство, инженерные конструкции имеют геометрическую основу. Обращение к конкретным памятникам культуры, достижениям отечественных инженеров и природным объектам наполняет геометрические формы личностным смыслом и национальным содержанием, что непосредственно работает на формирование ценностно-эмоционального компонента гражданской идентичности. Варианты таких задач, составленных автором, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Примеры задач по геометрии, направленные на формирование компонентов гражданской идентичности (ГИ)

№	Содержание задачи	Формируемый компонент ГИ	Методы, приёмы, формы работы
1	Тема: Объем цилиндра и конуса. Знаменитый памятник «Покорителям космоса» в Москве имеет форму обелиска, облицованного титановыми пластинами. Основная часть монумента может быть представлена как сочетание цилиндра и усеченного конуса. При заданных параметрах рассчитайте примерный объем этой части. Какие исторические события и достижения нашей страны символизирует этот монумент? Почему важно сохранять память о таких свершениях?	Эмоционально-ценностный (гордость за исторические достижения), Когнитивный (знание истории страны)	Проектная работа, виртуальная экскурсия, исследование пропорций архитектурного сооружения.
2	Тема: Симметрия и подобие. При строительстве Останкинской телебашни (инженер Н.В. Никитин) использовались принципы геометрической прочности. Изучите конструкцию башни. Какие геометрические формы и виды симметрии лежат в её основе? Как вклад отечественных инженеров в мировое строительство и архитектуру может служить примером для молодежи?	Когнитивный (знание вклада ученых и инженеров), Ценностный (чувство гордости)	Исследовательский мини-проект, работа с фотографиями и чертежами, метод исторических аналогий.
3	Тема: Площадь поверхности. Природный парк «Самаровский чугас» (г. Ханты-Мансийск). Одна из туристических троп имеет форму, близкую к прямоугольнику. При фиксированной длине ограждения (периметре) тропы в 2 км, какие размеры позволят сделать смотровую зону (площадь внутри тропы) максимальной? Как сохранение уникальной природы Сибири и создание комфортной инфраструктуры для туристов связано с чувством ответственности за родную страну?	Ценностный (осмысление экологической ответственности), Когнитивный (развитие навыков оптимизации)	Кейс-технология, проблемное обучение, дискуссия о балансе экологии и экономики, проект по экотропе.

Таким образом, геометрия позволяет формировать патриотические чувства через обращение к конкретным, осязаемым объектам. Решение задач о реально существующих памятниках, зданиях или природных заповедниках превращает геометрию не просто в раздел математики, а в средство познания и оценки культурного и природного наследия России, что существенно усиливает воспитательный эффект.

Курс вероятности и статистики призван обеспечить учащихся инструментарием для ориентации в информационном пространстве. В условиях информационного противоборства и изобилия непроверенных данных способность критически оценивать статистику, понимать основы социологических опросов и проверять гипотезы становится важнейшей составляющей гражданской компетентности. Данный раздел готовит старшеклассников к жизни в социуме, где решения должны приниматься на базе рационального анализа, а не эмоций или манипуляций. Примеры задач, составленных автором, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Задачи по вероятности и статистике, направленные на формирование компонентов гражданской идентичности

№	Содержание задачи	Формируемый компонент ГИ	Методы, приёмы, формы работы
1	Тема: Выборочный метод и средние значения. Для оценки качества питьевой воды в разных районах города Сургута было отобрано по 10 проб. В одном районе среднее содержание примесей составило 1,8 мг/л, в другом – 2,1 мг/л. Можно ли на основе этих данных делать окончательный вывод о худшем качестве воды во втором районе? Какие факторы (место забора, время года, состояние труб) нужно учитывать для объективной оценки? Как доступ к качественной информации о состоянии окружающей среды является правом гражданина?	Когнитивный (критический анализ данных), Поведенческий (ответственность за достоверность)	Лабораторная работа с данными, обсуждение репрезентативности выборки, проблемный диалог.
2	Тема: Вероятность и частота. При обсуждении благоустройства общественной территории в 25 микрорайоне города Сургута был проведен опрос среди 800 жителей. 560 из них поддержали создание велодорожек. Какова вероятность того, что случайно выбранный житель микрорайона поддержит эту инициативу? Как результаты подобных опросов могут влиять на решения муниципальных властей и почему важно участие граждан в таких голосованиях?	Когнитивный (понимание роли опросов), Поведенческий (осознание важности гражданского участия)	Деловая игра («Общественные слушания»), решение задач, связь с обществознанием.
3	Тема: Статистический анализ данных. По данным официальной статистики, средняя заработная плата в двух соседних муниципальных образованиях за год выросла на 8% и 10% соответственно. Достаточно ли этих цифр, чтобы утверждать, что уровень жизни во втором районе вырос значительно? Какие дополнительные показатели (инфляция, медианная зарплата, стоимость потребительской корзины) необходимы для объективной оценки?	Когнитивный (работа со статистикой), Ценностный (стремление к справедливой оценке)	Работа с кейсом, анализ данных Росстата, групповая дискуссия о критериях уровня жизни.

Курс теории вероятностей и статистики играет определяющую роль в формировании устойчивости к информационным манипуляциям. Работа с реальными данными прививает школьникам привычку проверять информацию, подвергать сомнению голословные утверждения и искать объективные показатели. Это служит основой для воспитания ответственного гражданина, способного принимать взвешенные решения.

Проведенный анализ позволяет заключить, что математика, вопреки устоявшемуся стереотипу о её отвлеченности от реальности, обладает мощным и многоплановым воспитательным потенциалом. Урок математики в старшей школе может и должен стать пространством для осмысления социальной действительности, где числа, функции и геометрические формы выступают инструментами анализа динамики развития страны, её культурного богатства и актуальных общественных проблем.

Формирование мыслящего и социально ответственного гражданина возможно в процессе преподавания математики при условии переосмысления содержания учебных задач. Ключевым фактором успеха выступает направленность педагога на поиск связей между абстрактной математической теорией и конкретными жизненными явлениями. Такой подход в полной мере соответствует требованиям ФГОС, превращая каждый урок математики в этап становления гражданской идентичности и делая математические знания по-настоящему ценными и значимыми для ученика.

Литература

1. Данилова С.В. Отдельные показатели результативности демографической политики ХМАО-Югры в контексте финансовой политики округа // Пространственное развитие регионов в контексте социально-экономического суверенитета России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 22 ноября 2024 года). Нижневартовск, 2025. С. 17-24.
2. Критериальный подход к оцениванию результатов обучения учащихся математике // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4 (70). С. 21-26.
3. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 05.07.2021. № 27 (часть II). Ст. 5351.
4. Указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 № 809 «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей» // Официальный интернет-портал правовой информации.
5. Формирование гражданской идентичности у учащихся при обучении математике в общеобразовательной школе // Педагогика и современное образование. 2022. № 3 (52). С. 88-92.

© Бондарев Я.Ю., 2026

Буданова А.И.

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина
г. Рязань, Россия**АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
ПРОВЕРОЧНОЙ РАБОТЫ В 5-6 КЛАССАХ ПО РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Всероссийские проверочные работы (ВПР) являются важным элементом мониторинга, анализа уровня и качества подготовки обучающихся в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) и Федеральных основных общеобразовательных программ (ФООП).

Ключевым инструментом регулирования уровня достижения образовательных результатов обучающихся является статистический анализ выполнения всероссийских проверочных работ на каждой ступени образования в разрезе страны, региона, муниципалитета, образовательной организации и класса.

Статистика показывает, что с решением геометрических заданий у обучающихся возникают трудности, которые способствуют слабой сформированности предметных и метапредметных результатов обучения и, как следствие, низкому качеству подготовки обучающихся в соответствии с ФГОС и ФООП. Несформированность геометрических умений оказывает значительное влияние на недостаточное развитие пространственного и логического мышления.

С целью выявления дефицитов основных предметных полей выполним детальный статистико-аналитический анализ результатов ВПР в 5-6 классах по математике за 2025 год [1] [2] в рамках заданий блока «Наглядная геометрия» [3] [4].

В 5 классе ВПР состоит из двух частей, которая включает в себя три задания по геометрическому материалу: два задания с кратким ответом (задание №5 и задание №8) в первой части и одно задание (задание №15) с развернутым решением.

С целью выявления трудностей у учеников, рассмотрим более детально каждое из заданий.

Задание №5 ВПР для обучающихся 5 класса направлено на наглядное представление фигур на плоскости, умение находить периметр и площадь и находить их различие. Успешность выполнения этого задания в 2025 году составляет 59,86% по Рязанской области (выше показателей РФ). Достижения планируемых результатов за ВПР по математике в 2025 году [1] представлены в таблице 1.

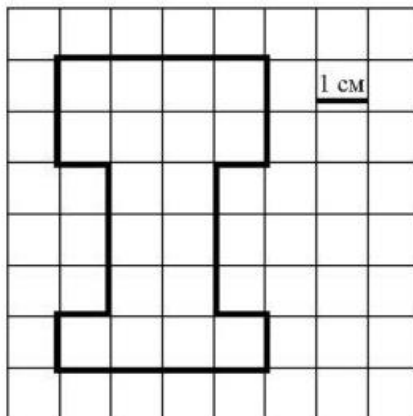
Таблица 1

Достижения планируемых результатов за ВПР по математике в 2025 году [1]

Проверяемые умения в соответствии с ФГОС	Средний % выполнения 2025 г.		
	Макс балл	Рязанская область	РФ
5. Вычислять периметр и площадь квадрата, прямоугольника, фигур, составленных из прямоугольников, в том числе фигур, изображенных на клетчатой бумаге	1	59,86	58,88

На рисунке 1 представлены примеры задания № 5, которые встречаются в проверочной работе. [3]

- 5 Бумага расчерчена на квадраты со стороной 1 см. Найдите площадь нарисованной фигуры. Ответ дайте в кв. см.



ИЛИ

- 5 На клетчатой бумаге со стороной клетки 1 см нарисована фигура. Найдите периметр этой фигуры. Ответ дайте в сантиметрах.

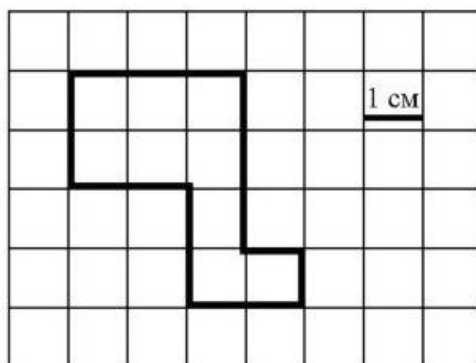


Рис. 1. Примеры задания №5 ВПР для 5 класса 2025 года [3]

Ознакомившись с формулировкой заданий, можно отметить, что трудностей у участников ВПР возникнуть не должно, поскольку данные задания включены в урочную деятельность обучающихся. Однако, процент выполнения говорит об обратном.

Для успешного решения можно разбить эту сложную фигуру на простые прямоугольники или достроить её до большого прямоугольника найти её площадь/периметр и вычесть «лишние» части.

Помимо представленного систематического подхода у обучающихся возникают следующие трудности:

- вычислительные ошибки и невнимательность (например, ученик пропустил квадрат или посчитал его дважды);
- не видят разницы между периметром и площадью фигуры;
- недостаточно сформированное пространственное мышление, то есть у обучающихся возникают трудности с восприятием измерения как меры «занимаемой поверхности».

Для решения таких проблем необходимо визуализировать подсчет площади, например, задание № 5 можно решить тремя методами, основанными на свойстве аддитивности площади и визуальном восприятии выполняемых действий:

- разбиение сложной фигуры на простые, уже известные (прямоугольники, квадраты и т.д.) с последующим сложением вычисленных площадей; для того, чтобы обучающийся чётко видел фигуры – их можно закрасить разным цветом;
- достраивание заданной фигуры до прямоугольника или квадрата), посчитать его площадь и вычесть площадь «лишних» частей;
- подсчет клеток – данный метод считается самым лёгким вариантом для учеников 5-го класса, во избежание повторного подсчета квадрата или его пропуска, рекомендуется помечать каждую посчитанную клетку карандашом, ручкой или просто закрашивать.

Для успешного вычисления периметра в задании № 5 рекомендуется:

- обводить контур фигуры карандашом/ручкой, чтобы не пропустить какую-либо сторону или клетку;
- отмечать каждую посчитанную сторону;
- акцентировать внимание учащегося на понимание геометрических понятий (например, что периметр – это длина «внешней» границы фигуры, её контур).

Например, для нахождения площади можно привести такую задачу: «Мама хочет узнать сколько квадратных метров (какую площадь) занимает клумба в форме буквы П, чтобы купить нужное количество цветов. Посчитайте, сколько квадратных метров занимает клумба» (рис. 2).

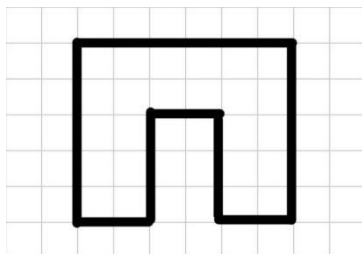


Рис. 2. Пример для задачи с площадью

Ученик должен посчитать количество клеток внутри фигуры. Например, один цветок – это одна клетка, то есть каждая подсчитанная клетка будет равна площади фигуры. Чтобы у обучающегося не возникало проблем с просчитанными клетками, необходимо, чтобы ученик каждый посчитанный квадратик закрашивал цветным карандашом или помечал ручкой.

Для понимания понятия «периметр» можно привести следующую задачу: «В саду необходимо уложить декоративный бордюр по краю клумбы, которая сделана в форме буквы Т. Садовнику необходимо узнать, сколько метров бордюра нужно купить. Посчитайте длину бордюра» (рис. 3).

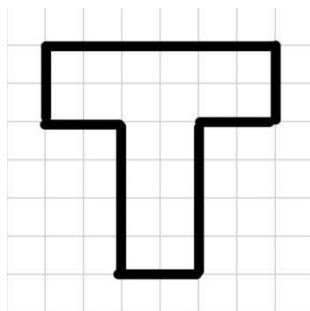


Рис. 3. Пример для задачи с периметром

Ученик должен отметить каждую посчитанную сторону и параллельно с этим обвести ее контуром. Например, представить, что ручка – это садовник, который гуляет по контуру клумбы и считает клетки. Цель подобного задания заключается в том, чтобы ученик понимал, что периметр – это длина границы вокруг фигуры.

Задание № 8 направлено на представление фигур в трёхмерном пространстве. В этом задании от обучающегося требуется найти объем куба, параллелепипеда. Для успешного выполнения подобных заданий у школьников должна быть достаточно чётко сформирована разница между фигурами на плоскости и в пространстве. По Рязанской области процент успешного выполнения этого задания составляет 54% (это ниже по сравнению с заданием № 5, разница составляет 5,86%), результаты представлены в таблице 2).

Таблица 2

Достижения планируемых результатов за ВПР по Математике к 2025 году [1]

Проверяемые умения в соответствии с ФГОС	Средний % выполнения 2025 г.		
	Макс балл	Рязанская область	РФ
8. Вычислять объем куба, параллелепипеда по заданным измерениям; пользоваться единицами измерения объема	1	54	50,73

На рисунке 4 представлен пример задания №8 из ВПР 2025 по «Математике» [3]

- 8 Аквариум имеет форму прямоугольного параллелепипеда длиной 150 см, шириной 60 см, высотой 40 см. Найдите объём аквариума. Ответ дайте в литрах. В 1 литре 1000 кубических сантиметров.

	Ответ:	

Рис. 4. Пример задания №8 ВПР 5 класса 2025 год [3]

Это задание требует хорошо развитой абстракции у обучающихся, понимания формул для нахождения объема, сформированности вычислительных навыков обучающихся. Помимо арифметических проблем возникают трудности с тем, что ученик не видит разницы между площадью и объёмом фигуры, то есть затруднения с восприятием фигур в пространстве.

Для успешного выполнения этого задания, при изучении пространственных фигур необходимо школьникам демонстрировать физические модели пространственных

– создавать вопросно-ответной формы при выполнении задания, что приведет решение заданий в осознанный процесс.

Таким образом, для повышения качества подготовки обучающихся, в том числе, к успешному выполнению геометрических заданий ВПР в 5-6 классах требуется систематизировать, алгоритмизировать и визуализировать процесс решения геометрических заданий.

Литература

1. Информационно-аналитическая справка о результатах проведения Всероссийских проверочных работ (ВПР) в 5 классах на территории Рязанской области в 2025 году. Рязань, 2025. 41 с. URL: https://disk.yandex.ru/i/kaFr_gQODjy_zA
2. Информационно-аналитическая справка о результатах проведения Всероссийских проверочных работ (ВПР) в 6 классах на территории Рязанской области в 2025 году. Рязань, 2025., 45 с. URL: <https://disk.yandex.ru/i/sSRGcwWa1wWL9w>
3. Образцы и описания проверочный работ для проведения ВПР в 2025 году в 5 классе. ФИОКО, 2025. URL: [VPR_MA-5_DEMO_2025.pdf](https://vpr.fio.ru/MA-5_DEMO_2025.pdf); <https://clck.ru/3ThSDV>
4. Образцы и описания проверочный работ для проведения ВПР в 2025 году в 6 классе. ФИОКО, 2025. URL: <https://clck.ru/3ThSEc>

© Буданова А.И., 2026

Виниченко А.С.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

ВЫБОР ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ В 7 КЛАССЕ

Современный этап развития образования характеризуется переходом к цифровой образовательной среде и активным внедрением технологий смешанного обучения. Федеральные государственные образовательные стандарты основного общего образования ориентируют педагогов на достижение метапредметных результатов, среди которых особое место занимают познавательные универсальные учебные действия (УУД) [2, с. 45]. Информатика как учебный предмет обладает высоким потенциалом для формирования данных метапредметных результатов, однако традиционная классно-урочная система не всегда позволяет реализовать этот потенциал в полной мере в условиях ограниченного времени и разного уровня подготовки обучающихся [1, с. 28].

Одним из перспективных направлений выступает использование технологии смешанного обучения, которая органично сочетает традиционные формы аудиторной работы с элементами электронного обучения, управляемого обучающимися самостоятельно [5, с. 112]. При этом ключевым становится не просто наличие технических средств, а педагогически обоснованный отбор цифровых инструментов, соответствующих возрастным особенностям обучающихся и требованиям российского законодательства.

Цель данной статьи – провести анализ и теоретически обосновать выбор цифровых инструментов для последующей разработки цикла занятий по информатике в 7 классе с использованием моделей смешанного обучения, направленных на развитие познавательных УУД.

Анализ психолого-педагогической литературы показывает, что для обучающихся 7 класса, находящихся на этапе перехода от наглядно-образного к словесно-логическому мышлению, наиболее адекватными являются две модели смешанного обучения: «Перевернутый класс» и «Ротация станций» [3, с. 56; 6, с. 77].

Модель «Перевернутый класс» предполагает самостоятельное изучение теоретического материала дома (посредством видеоуроков или интерактивных материалов) с последующей практической отработкой на уроке. Это позволяет освободить аудиторное время для решения задач, дискуссий и проектной деятельности, где как раз и развиваются познавательные УУД: анализ, сравнение, установление причинно-следственных связей [3, с. 58].

Модель «Ротация станций» основана на делении класса на малые группы, которые последовательно перемещаются по трем станциям: станция работы с учителем (решение задач повышенной сложности), станция онлайн-обучения (работа с интерактивными тренажерами) и станция проектной деятельности (групповая работа по созданию схем, кластеров). Данная модель особенно эффективна для развития регулятивных аспектов познавательной деятельности, так как требует от обучающихся распределения времени и самостоятельного поиска решений [6, с. 79].

В условиях современной образовательной политики Российской Федерации особое значение приобретает использование верифицированных и разрешенных цифровых платформ. Как отмечено в письме Министерства просвещения, при организации образовательного процесса с применением дистанционных технологий следует ориентироваться на государственные информационные системы [4]. Это накладывает определенные ограничения, но одновременно задает вектор для выбора безопасных и качественных ресурсов.

На основе анализа требований к цифровой образовательной среде и возрастных особенностей семиклассников нами были выделены следующие критерии отбора цифровых инструментов:

1. Соответствие законодательству РФ – использование платформ, рекомендованных или допущенных к применению в образовательных организациях.
2. Безопасность коммуникации – наличие инструментов для защищенного общения учителя, учеников и родителей, отсутствие рекламы и постороннего контента.
3. Интерактивность и наглядность – возможность создания заданий, развивающих логическое и критическое мышление (анализ, сравнение, классификация).
4. Автоматизация проверки – наличие мгновенной обратной связи для обучающихся (формирующее оценивание).
5. Доступность – работа на любых устройствах (компьютер, планшет, смартфон), отсутствие платы для пользователей.
6. Простота использования – интуитивно понятный интерфейс, не требующий длительного обучения для семиклассников.

При организации смешанного обучения важно учитывать не только педагогические, но и здоровьесберегающие аспекты. Как отмечают А.А. Чаленко и В.В. Шеронов, использование цифровых устройств в образовательном процессе должно сопровождаться соблюдением санитарно-гигиенических норм, чередованием видов деятельности и включением элементов физической активности для профилактики переутомления [7, с. 137]. Это особенно актуально для семиклассников, которые проводят значительное время за экранами как в школе, так и дома.

Рассмотрим основные группы цифровых инструментов, которые планируется использовать при разработке цикла занятий по информатике для 7 класса, и проведем их сравнительный анализ.

1. Коммуникационные платформы. Для организации обратной связи, рассылки домашних заданий и оперативных объявлений необходима платформа, объединяющая учителя, учеников и родителей. Сравнительный анализ представлен в таблице 1.

На основе анализа в качестве основной коммуникационной платформы выбран Сферум, так как он полностью соответствует требованиям безопасности и рекомендован для образовательных организаций.

Таблица 1

Сравнительный анализ коммуникационных платформ

Платформа	Преимущества	Недостатки	Соответствие критериям
Сферум (VK Мессенджер)	Официально рекомендован Минпросвещения, интеграция с ФГИС «Моя школа», учебный профиль отделен от личного, нет рекламы, безопасная среда [4]	Требуется регистрация всех участников, необходимо время на адаптацию	Полное соответствие
Обычная группа VK	Привычна для школьников, широкий функционал	Есть реклама, личные и учебные аккаунты смешиваются	Частичное соответствие
Max (VK Workspace)	Отечественная разработка, высокие стандарты безопасности и защиты данных, ориентирован на бизнес и образование, инструменты для таск-менеджмента	Менее известен в школьной среде по сравнению со Сферумом, требует установки отдельного приложения	Полное соответствие
ЦОП ХМАО-Югры	Официальная платформа региона, интеграция с Госуслугами, безопасная среда, доступ к верифицированному контенту	Ориентирован скорее на контроль и отчетность, чем на оперативное общение, интерфейс может быть менее гибким	Полное соответствие (как доп. инструмент)

2. Персональные сайты учителя. Для систематизации материалов и создания единой точки входа можно использовать персональный сайт, где будут собраны ссылки на теоретические материалы, интерактивные задания и оценочные средства для каждого занятия. Сравнительный анализ конструкторов сайтов представлен в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ конструкторов сайтов

Конструктор	Плюсы	Минусы	Для чего подходит
Tilda	Красивые блоки, адаптивность, российская разработка, бесплатный тариф	Требуется время на освоение, ограничения на бесплатном тарифе	Создание современного сайта-навигатора с дизайном
Nethouse	Простой, быстрый старт, российский	Меньше шаблонов, ограниченный функционал	Быстрое создание сайта-визитки
Craftum	Отечественный конструктор	Менее известен, меньше сообщество	Альтернативный вариант

Оптимальным выбором представляется Tilda, так как она позволяет создать структурированный поурочный сайт с удобной навигацией, что будет способствовать развитию у семиклассников умения самостоятельно ориентироваться в информационном пространстве (познавательное УУД – поиск и выделение информации).

3. Инструменты для создания интерактивного контента. Для формирования логических УУД (анализ, сравнение, классификация) требуются задания, выходящие за рамки простого тестирования. Анализ доступных сервисов представлен в таблице 3.

Таблица 3

Инструменты для создания интерактивных заданий

Инструмент	Тип	Российский	Сильные стороны	Развиваемые УУД
Genially	Интерактивные плакаты, квесты	Нет (Испания), доступен	Визуализация, игрофикация, не требует регистрации учеников	Логические (анализ, сравнение), знаково-символические
CoreApp.ai	Конструктор уроков	Да	Целостность урока, можно собрать всё в одном месте	Общеучебные (структурирование), работа с информацией
Joyteka	Квесты	Да	Высокая мотивация, готовые шаблоны	Постановка и решение проблем
Wordwall	Интерактивные упражнения	Нет, доступен	Быстрое создание заданий на классификацию	Логические (классификация, сравнение)
LearningApps	Интерактивные модули	Нет, доступен	Огромная библиотека готовых заданий	Все виды
UnisLide	Платформа для презентаций с обратной связью	Да	Вовлечение через голосования и вопросы на слайдах, сбор ответов в реальном времени	Общеучебные (структурирование информации)
Edberries.space	Конструктор тестов и проверочных работ	Да	Простота создания тестов, готовые задания по ФГОС, подробный отчет по ученикам	Контроль и оценка (регулятивные УУД)
Online Test Pad	Конструктор тестов и опросов	Да	Многофункциональность (тесты, кроссворды, опросы), подробная статистика	Самоконтроль, оценка и коррекция знаний

Для разработки цикла занятий планируется использовать сочетание Genially (для создания квестов и интерактивных плакатов) и CoreApp.ai (для создания целостных уроков). Например, по теме «Файловая система» может быть разработан квест в Genially, где для перехода на следующий уровень требуется классифицировать типы файлов или установить соответствие между расширением и типом данных. Это развивает логическое мышление и поддерживает мотивацию за счет игровой формы.

4. Платформы для диагностики и тренировки. Для автоматизированной проверки знаний и отработки навыков необходимы платформы с банком заданий и мгновенной обратной связью. Наиболее подходящими являются:

– Яндекс.Учебник – содержит банк заданий по информатике для 7 класса, соответствующих ФГОС, предлагает диагностики в сюжетной форме, что повышает вовлеченность, предоставляет мгновенную обратную связь ученику.

– ЯКласс – также содержит задания по информатике, при неверном ответе генерирует похожий вариант для доработки, что развивает регулятивные УУД (анализ ошибок).

Использование данных платформ позволяет реализовать принцип формирующего оценивания: ученик видит свой результат сразу и может проанализировать ошибки, что способствует развитию регулятивных аспектов познавательной деятельности.

На основе выбранных инструментов рассмотрим цикл из 4–5 занятий по одной из тем курса информатики 7 класса (например, «Компьютер как универсальное устройство для

работы с информацией» или «Файлы и файловые системы»). Структура каждого занятия соответствует одной из моделей смешанного обучения:

Занятие 1 (модель «Перевернутый класс»):

- Самостроятельно: просмотр видеоурока на платформе РЭШ, выполнение интерактивного задания в Genially на закрепление терминов.

- На уроке: решение кейсов в группах (развитие анализа и синтеза), работа с учителем над сложными вопросами.

Занятие 2 (модель «Ротация станций»):

- Станция 1 (работа с учителем): разбор задач на логическую структуру файловой системы.

- Станция 2 (онлайн-обучение): выполнение тренировочных упражнений в Яндекс.Учебнике.

- Станция 3 (проектная деятельность): создание в CoreApp интеллект-карты «Классификация программного обеспечения».

Занятие 3 (практикум):

- Решение задач в ЯКласс с автоматической проверкой, анализ ошибок.

Занятие 4 (контроль и рефлексия):

- Итоговое тестирование в Online Test Pad, индивидуальные рекомендации по результатам.

Предложенная совокупность цифровых инструментов (Сферум, сайт на Tilda, Genially, CoreApp, Яндекс.Учебник, ЯКласс) в полной мере соответствует выделенным критериям и может служить основой для последующей разработки цикла занятий по информатике в 7 классе. Каждый инструмент решает специфическую задачу: коммуникация, навигация, создание интерактива, диагностика. В совокупности они образуют целостную информационно-образовательную среду, способствующую развитию познавательных УУД у семиклассников.

Перспективой дальнейшей работы является непосредственная разработка цикла занятий на основе выбранных инструментов, их апробация в образовательном процессе и экспериментальная проверка эффективности предложенного подхода.

Литература

1. Байбородова Л.В., Белкина В.В. Познавательные универсальные учебные действия: содержание и диагностика // Ярославский педагогический вестник. 2022. № 3(126). С. 27-35. <https://doi.org/10.20323/1813-145X-2022-3-126-27-35>

2. Воронина И.А. Развитие познавательных УУД у учащихся основной школы в процессе обучения информатике // Информатика и образование. 2023. № 38(2). С. 44-51.

3. Емельянова И.Е., Терещенко А.В. Модель «перевернутый класс» как средство реализации деятельностного подхода в обучении // Педагогика. Вопросы теории и практики. 2024. Т. 9. № 1. С. 54-60.

4. О применении федеральной государственной информационной системы «Моя школа» в образовательном процессе: Письмо Министерства просвещения РФ от 13 декабря 2023 г. № АБ-3925/07 // Гарант.ру. URL: <https://clck.ru/3ThSVk> (дата обращения: 25.02.2026).
5. Середовских Б.А., Соколов С.Н., Козелкова Е.Н., Дерябина В.В. Повышение профессиональной подготовки студентов через участие в научно-исследовательских проектах прикладного характера // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы X Международной научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 10-11 ноября 2022). Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2022. С. 209-217. <https://doi.org/10.36906/KSP-2022/29>
6. Смышляева Л.Г., Яковлева Е.Н. Ротационные модели смешанного обучения в основной школе: возможности и ограничения // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2023. № 2(226). С. 75-83.
7. Чаленко А.А., Шеронов В.В. Лечебная физическая культура как элемент физической культуры студентов // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 104-12. С. 136-138. <https://doi.org/10.18411/trnio-12-2023-694>

© Виниченко А.С., 2026

Дадуря О.И., Горлова С.Н.

Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

КОНКУРСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ АБИТУРИЕНТОВ НА ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ МАТЕМАТИКИ

В условиях современной демографической ситуации и растущей конкуренции между вузами проблема привлечения талантливых абитуриентов на педагогические специальности приобретает особую актуальность. Современная система образования сталкивается с острой нехваткой квалифицированных учителей математики, что особенно заметно в регионах с высокой динамикой миграционных процессов и дисбалансом между спросом и предложением кадров. Старение педагогических кадров, недостаточное количество выпускников педагогических вузов и низкий престиж профессии – ключевые факторы, усугубляющие проблему. Дефицит учителей математики негативно сказывается на качестве образования, снижает уровень математической грамотности школьников и, в конечном итоге, тормозит развитие научно-технического прогресса и инновационного потенциала страны. В связи с этим, университетам необходимо разрабатывать и внедрять эффективные механизмы, способствующие повышению престижа профессии и формированию положительного имиджа педагогического образования, а также создавать условия для раннего вовлечения талантливой молодёжи в педагогическую карьеру.

Одним из таких механизмов являются конкурсы, ориентированные на выявление и поддержку одарённых школьников, проявляющих интерес к математике и педагогической деятельности. Они могут служить двухсторонним инструментом: с одной стороны – ранним отбором и мотивацией талантливых учащихся к выбору педагогической профессии, с другой – формированием устойчивого интереса к математике как науке и к педагогике как социально значимой деятельности. В этом контексте важна интеграция конкурсов в непрерывный образовательный контекст: от школьного уровня до университетских программ подготовки учителей [1].

Каждый год университеты и педагогические вузы применяют разнообразные методы, направленные на выявление и поддержку талантливых школьников в области математики и педагогики, но каждый из них имеет свои плюсы и минусы. Можно выделить следующие инструменты для привлечения абитуриентов:

- Дни открытых дверей: предоставляют возможность познакомиться с факультетом, профессорско-преподавательским составом, учебными программами и условиями обучения. Данные мероприятия рассчитаны на ознакомление и формирование благоприятного имиджа, однако часто не позволяют полноценно оценить академическую и педагогическую мотивацию участников, а значит – ограничены как инструмент выбора профессии.
- Олимпиады по математике: традиционные математические олимпиады, проводимые университетами и сторонними организациями, являются эффективным инструментом выявления школьников с высоким уровнем математической подготовки. Победители и призеры часто получают дополнительные баллы при поступлении или возможность поступить

на льготных условиях. Примеры всероссийских олимпиад – «Ломоносов», «Физтех» и другие. Эти мероприятия позволяют выявлять одарённых учащихся и развивают их математические способности, но их основная цель – развитие математического мышления как такового; прямого привлечения к педагогической деятельности они не обеспечивают, и поэтому часть талантливых участников может не рассматриваться как потенциальные будущие учителя [3].

- Летние математические школы и лагеря [2]. Формат представляет собой интенсивные образовательные смены, ориентированные на углублённое изучение математики. Участие в подобных мероприятиях способствует расширению академического кругозора и формированию учебной мотивации. Однако в условиях отсутствия специализированного педагогического модуля, включающего взаимодействие с учительским сообществом или элементы профессиональных проб, влияние данного формата на выбор педагогической карьеры носит ограниченный характер.

- Математические турниры (командные соревнования). Данные мероприятия развивают навыки коллективного взаимодействия, стратегического планирования и распределения функций в группе. Вместе с тем, при ориентации турниров исключительно на состязательность и достижение высокого рейтинга, возможность формирования устойчивого интереса к преподавательской деятельности не реализуется в полной мере.

- Конкурсы научно-исследовательских проектов. Конкурсы типа «Шаг в будущее», «Юниор» и аналогичные направлены преимущественно на поддержку научно-исследовательской деятельности школьников. Отдельные проекты могут обладать педагогическим потенциалом при условии внедрения их результатов в образовательную практику. Однако системный переход от научно-исследовательской деятельности к педагогической требует дополнительных организационно-методических условий и не является типичным для данного формата.

- Конкурсы эссе и творческих работ. Позволяют выявить ценностно-мотивационные установки участников, их представления о роли учителя математики и способность к аргументированному изложению позиции. К числу ограничений формата относятся субъективность экспертной оценки и риск снижения объективности отбора. Эффективность применения конкурсов данного типа повышается при наличии формализованных критериев оценивания и независимой экспертизы.

- Конкурсы педагогических проектов. Включают разработку и защиту проектов, направленных на решение актуальных задач математического образования. Оцениваются не только теоретические знания, но и прикладные умения, проектный подход, креативность. Вместе с тем, для участия в конкурсе требуется наличие базовой педагогической подготовки, что объективно ограничивает круг потенциальных участников.

- Интерактивные форматы (квесты, онлайн-викторины, игры). Обеспечивают широкий охват аудитории и повышают привлекательность участия. Основным недостатком является сложность объективной оценки индивидуальных образовательных результатов и выявления участников, обладающих выраженными педагогическими способностями, особенно при отсутствии в структуре конкурса педагогического компонента.

Несмотря на разнообразие перечисленных форматов, сохраняется устойчивый дефицит педагогических кадров в области математического образования. Существующие конкурсные и олимпиадные практики преимущественно направлены на выявление математически одарённых школьников, однако не содержат системных механизмов, ориентированных на формирование интереса к педагогической профессии и развитие соответствующих компетенций. Как следствие, значительная часть мотивированных обучающихся выбирает научно-исследовательские или инженерные траектории, не рассматривая педагогическую деятельность в качестве профессиональной перспективы.

В целях преодоления указанного дисбаланса предлагается внедрение конкурсного формата, интегрирующего математическую и педагогическую составляющие. Конкурс должен быть направлен на:

- формирование у школьников устойчивого интереса к педагогической деятельности в области математики;
- развитие способности к адаптации учебного материала с учётом уровня подготовки и возрастных особенностей аудитории;
- приобретение первичного опыта педагогической коммуникации и рефлексии собственной деятельности;
- информирование участников о содержании и условиях профессиональной деятельности учителя математики.

В конкурсе будут разработаны различные задания на выявление математических и педагогических знаний. Предлагаются следующие блоки:

1. Математическая эрудиция. Оценка уровня предметной подготовки, широты математического кругозора, способности устанавливать межпредметные и внутрипредметные связи. Задания варьируются по уровню сложности и включают как алгоритмические, так и творческие компоненты.

2. Прикладная математика («Математика вокруг нас»). Проектная деятельность, направленная на демонстрацию роли математики в решении практических задач (экономика, экология, социальная сфера). Предусмотрена публичная презентация результатов с обоснованием их образовательного потенциала.

3. Педагогическая проба («Учитель на практике»). Оценка способности участника к объяснению учебного материала, организации обратной связи, адаптации содержания под различные категории обучающихся. Включает проведение фрагментов урока, работу с учебными кейсами, самоанализ проведённого занятия.

Организационно-методические решения:

Дистанционный отборочный этап. Позволяет обеспечить равный доступ для участников вне зависимости от территориальной принадлежности. Включает тестирование по математике и решение элементарных педагогических ситуаций.

Конкурсное портфолио. Формируется участником на основе видеозаписей занятий, методических разработок, презентационных материалов. Выступает дополнительным источником данных о коммуникативных и проектировочных умениях кандидата.

Профориентационный модуль. В рамках конкурсных мероприятий организуются встречи с преподавателями вузов, студентами педагогических направлений, действующими учителями. Обеспечивается информирование о содержании педагогического образования и карьерных перспективах.

Инклюзивная составляющая. Предусматривается адаптация конкурсных заданий для участников с ограниченными возможностями здоровья, а также организационно-техническое сопровождение школьников из населённых пунктов с ограниченным доступом к образовательным ресурсам.

Уровни проведения. Конкурс может быть реализован на региональном, межрегиональном и всероссийском уровнях, что позволяет расширить целевую аудиторию и повысить эффективность отбора абитуриентов для педагогических программ.

Конкурс будет включать в себя следующие принципы проведения:

- ✓ прозрачность критериев оценивания;
- ✓ независимый состав экспертного жюри;
- ✓ наличие процедуры апелляции;
- ✓ защита персональных данных участников;
- ✓ соблюдение принципов академической честности;
- ✓ недопустимость дискриминации по любым основаниям.

Ожидаемые результаты после внедрения конкурса, включают в себя:

- повышение доли абитуриентов, осознанно выбирающих педагогические направления подготовки;
- увеличение числа школьников, рассматривающих профессию учителя математики как профессионально привлекательную;
- формирование кадрового резерва для педагогических специальностей из числа мотивированных и предметно подготовленных обучающихся;
- повышение качества приёма на педагогические программы высшего образования за счёт использования дополнительных инструментов профессиональной ориентации и отбора.

Предлагаемый конкурсный формат представляет собой комплексный инструмент, ориентированный не только на выявление академически успешных школьников, но и на формирование у них педагогической компетентности и профессиональной мотивации. Реализация данного подхода требует разработки качественного методического обеспечения и выстроенной организационной инфраструктуры. При соблюдении указанных условий конкурс способен внести вклад в решение кадровой проблемы в системе общего математического образования.

Литература

1. Воробьева И.В., Головкина А.А., Звонарева Н.А., Никифоров Ю.Б., Петров А.Ю., Семенова Т.Н. Конкурсы в системе среднего профессионального образования как действенный инструмент развития // Управление образованием: теория и практика. 2021. С. 158-167.

2. Горев П.М. Математический лагерь в школе: история становления и технологические находки // Концепт. 2012. С. 1-5.

3. Панишева О.В., Логинов А.В. Открытая олимпиада как средство математического просвещения школьников // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. 2019. С. 110-119.

© Дадуря О.И., Горлова С.Н., 2026

Егоркина С.О.

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

РЕШЕНИЕ КВАДРАТНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗНЫМИ КАТЕГОРИЯМИ ОБУЧАЮЩИХСЯ 8-ГО КЛАССА

В общеобразовательных учреждениях значительные трудности у учащихся 8-х классов вызывает именно решение квадратных уравнений. Эти сложности проявляются по-разному у трёх основных категорий школьников: у тех, кто не достиг базового уровня усвоения материала; у учеников, владеющих базовыми алгоритмами и умеющих применять их в стандартных учебных задачах; а также у тех, кто уверенно оперирует алгоритмами и способен использовать их в изменённых или нестандартных ситуациях [2].

Для успешного преодоления этих трудностей необходимо провести анализ типичных ошибок, характерных для каждой категории, и предложить адресные методические рекомендации, направленные на глубокое и осознанное освоение методов решения квадратных уравнений. Рассмотрим особенности, влияющие на успешность изучения данной темы, различных категорий обучающихся, с учетом их индивидуальных потребностей и способностей. [3]

Категория первая: обучающиеся, не достигшие базового уровня усвоения материала. Целью проектирования учебной деятельности является включение механизмов, позволяющих компенсировать дефициты образовательных результатов обучающихся, а именно, отработку базовых алгоритмов и предупреждение наиболее часто встречающихся ошибок

Методическая работа над предупреждением ошибок предполагает анализ всего спектра предметных дефицитов, испытываемых обучающимися.

Разберем часто встречающиеся ошибки у обучающихся на примере задания: «Решите уравнение $4x^2 + 12x + 9 = (x - 4)^2$ »:

1. Ошибка: неверное применение формулы квадрата разности: $(x - 4)^2 = x^2 - 16$.

Причины возникновения такой ошибки:

- смешение похожих формул;
- непонимание степени ^{2} ;
- стремление к упрощению.

Способы предотвращения ошибки:

- стоит начать с объяснения степени ^{2} ;
- алгоритм через «скелет» формулы.

2. Ошибка: потеря знака при переносе слагаемых их одной части уравнения в другую.

Причины возникновения такой ошибки:

- механическое заучивание без понимания;
- непонимание математической сущности переноса.

Примеры заданий для закрепления:

- 1) Раскрыть по формуле: $(x - 5)^2$, $(2x + 1)^2$.
- 2) Верно ли, что $(4 + 1)^2 = 4^2 + 1^2$?

3) Вставьте пропущенное выражение: $(x + 3)^2 = x^2 + \_\_ + 9$.

4) Заполните пропущенные элементы в скелете формулы: $(a + 7)^2 = \_\_2 + 2 \cdot \_\_ \cdot \_\_ + \_\_2$.

5) Выполните преобразования подробно: $x + 8 = 15$.

6) Какое действие нужно выполнить, чтобы избавиться от указанного слагаемого?

Категория вторая: обучающиеся, владеющие базовыми алгоритмами и способные их применять при решении учебных задач. Целью учебной деятельности является формирование устойчивого навыка безошибочного применения стандартных алгоритмов решения квадратных уравнений в типовых ситуациях, доведение этого навыка до автоматизма.

Рассмотрим примеры заданий для закрепления:

1) Решить: $x^2 - 5x + 6 = 0$.

2) Решите уравнение с отрицательным коэффициентом: $-2x^2 + 3x + 5 = 0$.

3) Решить: $(x + 3)(x - 2) = 14$.

Категория третья: обучающиеся, уверенно владеющие базовыми алгоритмами и способные их применять в измененных ситуациях. Целью учебной деятельности является развитие гибкого математического мышления, умения анализировать структуру уравнения и выбирать наиболее рациональный, нестандартный метод решения, выходящий за рамки применения шаблонного алгоритма. С данной категорией обучающихся необходимо рассматривать решение уравнений несколькими способами, включая элегантные (нестандартные) решения:

- с использованием свойства полных квадратов;
- применение теоремы Виета;
- применение теоремы Безу;
- решение с помощью схемы Горнера;
- решение с помощью замены и разложения на множители.

Примеры заданий для закрепления:

1) Решите с помощью замены $t = x + \frac{1}{x}$: $x^2 + \frac{1}{x^2} + x + \frac{1}{x} = 4$

2) Используйте замену $y = 2x + 1$ для решения уравнения: $4x^2 + 4x - 3 = 0$.

3) Решите уравнение с помощью группировки и разложения на множители: $x^3 - 2x^2 - x + 2 = 0$.

4) Решите уравнение, применив один из изученных способов разложения квадратного трёхчлена на множители: $6x^2 - 5x - 6 = 0$.

Таким образом, предложенный дифференцированный подход – это не просто способ научить решать квадратные уравнения. Это практическая система, работающая на опережение проблем: она помогает сначала выявить, а затем корректировать типичные ошибки для каждой группы учеников. Его эффективность строится на нескольких ключевых принципах:

- диагностика и адресность;
- от простого к сложному;
- принцип «понял, а не заучил»;
- развитие метапредметных навыков.

Рассмотрим как данная методика может приниматься на разных этапах урока и в разных организационных формах, обеспечивая активное участие каждого ученика.

Выделим конкретные этапы урока и виды их деятельности:

- Этап: создаем проблемную ситуацию всему классу.
- Этап: работаем в группах по уровню (основная часть урока): класс делится на группы по категориям. Каждая группа получает свой пакет заданий: категория первая: карточки с подробными алгоритмами («скелет» формулы, пошаговый перенос); категория вторая: набор типовых квадратных уравнений (приведенные, неприведенные, со скобками); категория третья: «задачи-ловушки», где стандартный путь громоздок и задания на выбор метода, например: «Решить тремя разными способами».

Роль учителя: путеводитель, который перемещается между группами, помогая первой категории, задавая наводящие вопросы второй и обсуждая оптимальность методов с третьей.

- Финальный этап: обмен опытом и осмысление результата. [1]

Урок завершается не решёнными примерами, а приобретённым смыслом. Учитель организует три ключевые активности:

- взаимообучение;
- создание собственных задач;
- краткое обсуждение.

Таким образом, предложенный подход выводит изучение темы за рамки механического заучивания алгоритмов. Он позволяет построить для каждого ученика индивидуальную дорожную карту понимания. В итоге мы получаем не просто галочку «тема пройдена», а глубокое понимание, устойчивый интерес к предмету и главное – уверенность в своих силах, которая и служит основой для дальнейшей мотивации.

Литература

1. Ерина Н.Е. Решение квадратных уравнений // Слово педагога: образовательный портал. 2024. URL: <https://slovopedagoga.ru/servisy/publik/publ?id=19671> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Концепция развития математического образования в Российской Федерации: распоряжение Правительства РФ от 24.12.2013 № 2506-р. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/b18bcc453a2a1f7e855416b198e5e276> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (ФГОС ООО) утвержден приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 287. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo> (дата обращения: 15.12.2025).

© Егоркина С.О., 2026

Жулина А.С.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИГР ДЛЯ РАЗВИТИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ УМЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОБУЧЕНИЯ БАЗОВОМУ КУРСУ ИНФОРМАТИКИ

Геймификация, т.е. внедрение в процесс обучения игровых технологий, является актуальным трендом современного образования. Применение различных видов игр способствует не только улучшению настроения обучающихся, но и формирует стойкий интерес к освоению новых знаний, повышает вовлеченность в тему урока, а также способствует улучшению успеваемости учеников [7, с. 1160].

Исследователи давно обратили внимание на важность внедрения игровых технологий в образовательный процесс, поскольку они оказывают колоссальное влияние на формирование метапредметных умений у обучающихся. В особенности, интеллектуальные игры, характеризующиеся способностью формировать творческое, математическое и критическое виды мышления, активно вовлекать обучающихся к работе в команде, а также развивать познавательные и регулятивные компетенции [7, с. 1160].

Понятие интеллектуальных игр было описано в ряде педагогических исследований. Согласно определению Ю.А. Петровой [9], под интеллектуальной игрой понимается вид игры, основанный на применении интеллекта и эрудиции, т.е. выполнение заданий, требующих продуктивного мышления в условиях ограниченного времени.

В работах О.М. Боевой [3] дается следующее определение интеллектуальных игр: «Под интеллектуальными играми подразумевается вид игры, требующий навыков анализа, обработки и осмысления полученной информации, т.е. эрудиции». Автор утверждает, что интеллектуальная игра – это выполнение заданий, требующих высокого уровня интеллекта, в условиях ограниченного времени.

С данной точкой зрения согласен А.А. Овезов [8, с. 115], который описывает интеллектуальную игру как эффективный инструмент развития логики, эрудиции и коммуникативных навыков в стенах учебного учреждения.

Интеллектуальные игры направлены на реализацию целей интеллектуального развития обучающихся и воспитания личности личности через развитие интереса к получению знаний [9].

Интеллектуальные игры выполняют следующие задачи:

1. Формирование приемов умственных действий, развитие вариативности мышления, творческих и коммуникативных способностей.
2. Стимулирование обучающихся к самостоятельному изучению учебного материала.
3. Развитие речи и навыков саморефлексии.
4. Развитие интеллектуальных способностей школьников [9, с. 142].

С.В. Рослякова делит интеллектуальные игры на две группы: элементарные и основные.

Под элементарными интеллектуальными играми подразумевается коллективное выполнение заданий, требующих от участников продуктивного мышления для познания

предметной и социальной действительности в условиях соревнования и ограниченного времени.

Составные интеллектуальные игры представляют собой сочетание нескольких элементарных игр.

Педагог-исследователь Т.В. Модестова [5] классифицирует интеллектуальные игры следующим образом:

По игровому действию интеллектуальные игры делятся на:

1. Предметные игры – это разновидность интеллектуальных игр, имеющих физический объект игры, характеризуются небольшим размером предметов и материалов, способных поместиться на столе или в руках игроков.

1.1. Настольно-печатные игры – разновидность предметных интеллектуальных игр, представляют собой игры с правилами на печатной основе («Монополия», «Школа Этикета» и др.).

1.2. Настольно-предметные игры – разновидность предметных интеллектуальных игр с обязательным использованием игровой доски или специального поля (шашки, шахматы, домино, лото, игры рубика, sudoku).

1.3. Пространственные игры – разновидность предметных интеллектуальных игр, направленные на развитие пространственного мышления, определение пространственного расположения объектов относительно друг друга, т. е. пространственных отношений между объектами (конструктор, танграм, графический диктант).

2. Словесные игры – это разновидность интеллектуальных игр, не имеющих физический объект игры.

2.1. Загадки – разновидность словесных интеллектуальных игр, характеризующиеся устным, кратким, поэтическим описанием предмета или явления, в котором скрыта задача, требующая расшифровки.

2.2. Логические задачи (в т.ч. загадки-истории) – разновидность словесных интеллектуальных игр, представлены устной задачей, решение которой строится на основе рассуждений.

2.3. Игры в слова – разновидность словесных интеллектуальных игр, характеризующиеся составлением, отгадыванием или преобразованием слов по определенным правилам («Города», «Да и Нет», «Эрудит» и др.).

2.4. Ребусы – разновидность словесных интеллектуальных игр, представлены в виде рисунков с изображением букв, цифр, предметов и явлений, требующих разгадки.

2.5. Кроссворды – разновидность словесных интеллектуальных игр, состоящая в разгадывании слов по определениям. Представляет собой переплетение рядов клеточек, которые заполняются словами по заданным значениям.

2.6. Викторины – разновидность словесных интеллектуальных игр, характеризуется проведением соревнования, в ходе которого участникам предлагается вопрос, на который необходимо дать ответ быстрее соперника («Что Где Когда», «Кто хочет стать миллионером?»).

3. Компьютерные интеллектуальные игры – проведение интеллектуальных игр с помощью информационно-компьютерных технологий [4].

Т.В. Модестова [5] акцентирует внимание на классификации интеллектуальных игр согласно игровой цели:

1. Соревновательные и интерактивные – характеризуются стремлением к победе и активным взаимодействием участников друг с другом.

2. Пространственные и комбинаторные – направлены на развитие пространственного мышления, изучение отношений между предметами в пространстве.

3. Логические – требуют применения логического мышления, основаны на предмете рассуждений.

Л.С. Подымова [10, с. 117] делит интеллектуальные игры по количеству участников:

1. Индивидуальные – участвует один человек.

2. Парные – участвуют двое.

3. Групповые – участвуют три и более человек.

Изучению применения интеллектуальных игр на уроках информатики посвящены работы педагога-исследователя М.А. Тойкеевой [11, с. 6]. Автор утверждает, что внедрение интеллектуальных игр в процессе изучения информатики представляет собой специальный вид деятельности, который способствует развитию познавательных интересов обучающихся, вызывает эмоциональный отклик учеников, т.е. способствует практико-ориентированному развитию метапредметных умений.

Школьная информатика обладает разнообразным, по сравнению с другими учебными предметами, потенциалом для реализации интеллектуальных игр как на уроках, так и во внеурочной деятельности.

А.С. Аникина [1, с. 45] отмечает, что сегодня перед учителем информатики стоит задача формирования саморазвития и любознательности через использование игровых технологий на уроке. Навык отбирать, искать и перерабатывать информацию становится ключевым в современном образовательном стандарте основного общего образования.

Педагогическое исследование С.С. Ахтамовой [2, с. 23] выявляет потенциал интеллектуальных игр на уроках информатики для развития метапредметных умений. Автор упоминает, что интеллектуальные игры способны расширять границы сознания, учат анализировать деятельность и определять пути понимания нового. В 7 классе информатика становится новым предметом математического и информационно-технологического цикла, формирующим понятия «информация», «система», «модель», «алгоритм», «информационная технология», «цифровая грамотность» и т.д. Игры интегрируются в учебный процесс как механизм межпредметной связи и практической направленности, опираясь на опыт ребенка в работе с информацией.

Педагогические исследования К.Р. Хачатуровой [12, с. 53] и др. показывают, что интеллектуальные игры как метакогнитивные технологии формируют интеллектуальные умения, усиливают рефлекссию и развивают метапознание. Интеллектуальные игры направлены на достижение метапредметных и личностных результатов. В процессе изучения

информатики, интеллектуальные игры не только дополняют изучение школьной программы, но и стимулируют обучающихся к самостоятельному освоению новых знаний.

Г.Н. Никитина [6, с. 23] отмечает, что интеллектуальная игра в процессе изучения информатики решает дидактические задачи (освоение предмета), психологические (развитие познавательной сферы) и информационно-коммуникативные (формирование компетентности через ИКТ). Реализация интеллектуальных игр опирается на стимуляцию активности, применение жизненного опыта, вариативность, интеграцию компьютерных технологий, решение задач при помощи Интернета. Таким образом, интеллектуальные игры способствуют личностному развитию через развитие метапредметных умений.

Применение интеллектуальных игр в рамках урока информатики для 7 класса имеет внушительный потенциал для развития метапредметных умений. Рассмотрим подробно, какие виды интеллектуальных игр применимы в содержательной линии базового курса информатики в 7 классе.

В рамках раздела «Цифровая грамотность» возможно использовать настольно-печатные игры по типу «Монополия», которые можно организовать следующим образом: вместо покупки улиц ученики могут приобретать цифровые компетенции. На игровом поле вместо «тюрьмы» оказывается «фишинговая атака», попадая на которую, ученик должен выполнить задание, предложенное учителем: «Определи признаки мошеннического письма». В результате обучающиеся умеют: применять критическое мышление для оценки информационных угроз, применять полученные ранее знания при выполнении практических заданий, планировать стратегию цифровой защиты.

«Игры в слова» также возможно эффективно интегрировать в раздел «Цифровая грамотность». В ходе игры «Эрудит» ученики подготавливают игровое поле, на котором будут состязаться в образовании слов с использованием буквенных плиток на игровом поле, разбитом на квадраты. В рамках урока информатики игра будет адаптирована под термины, связанные с понятием цифровой грамотности и интернет-ресурсами (например, логин, браузер, куки, спам и др.). При составлении слова, ученик не только должен дать ему определение, но и краткую характеристику. Таким образом, игры в слова развивают работу с понятийным аппаратом, расширяют словарный запас в контексте безопасного использования интернет-сервисов, а также укрепляют долговременную память, посредством формирования устойчивых знаний.

По итогам освоения знаний содержательной линии «Цифровая грамотность» может быть проведена викторина. Викторина является командным видом интеллектуальной игры. Викторина возможно проводить после завершения каждой подтемы. Вариативность ее интеграции в урок информатики бесконечна. Например, при организации викторины на тему «Устройство ПК» учитель заранее подготавливает вопросы, соответствующие теме: «Какое устройство называют постоянной памятью компьютера?», «Для чего нужна оперативная память?», «Что такое IP-адрес?» и т.д. разнообразить вопросы викторины возможно посредством вопросов на логику и творческое мышление. Например, «Что общего между почтовым отделением и компьютерным сетевым маршрутизатором?». Таким образом,

проведение викторины на уроках информатики способствует развитию навыков быстро находить и обрабатывать информацию, эффективной работе в команде, а также актуализирует знания об устройстве цифрового окружения.

Аналогом викторин являются командные интеллектуальные игры (мозговые штурмы). Мозговой штурм, или «БрейнРинг» это состязание, в котором ученики соревнуются в эрудиции и скорости ответов на заданные вопросы. В рамках урока информатики «Цифровая грамотность» возможно интегрировать мозговой штурм на тему «Совет по кибербезопасности», в котором озвучивается заранее подготовленная учителем проблема: «В школьной сети появилось вредоносное ПО. Разработайте памятку для учеников». Ученики распределяют роли: системный администратор (предлагает технические решения), учитель (формулирует правила), ученик (объясняет сверстникам). Проводится мозговой штурм по генерации идей. По итогам мозгового штурма объявляется команда-победитель. Проведение мозговых штурмов способствует развитию коммуникативных навыков, способностью распределять роли внутри команды, аргументировать свою позицию, применять знания о безопасности в повседневной жизни.

В рамках раздела «Теоретические основы информатики» актуально применять следующие виды интеллектуальных игр: настольно-предметные игры, пространственные игры, загадки, логические задачи, ребусы и кроссворды.

К настольно-предметным играм можно отнести шахматы. В рамках урока информатики возможно взглянуть на игру с точки зрения построения оптимального алгоритма. Перед каждым ходом шахматной фигуры ученик проводит анализ будущего хода с построением цепи логических выводов: «Если я пойду слоном, то противник может ответить конем, что приведет к потере пешки...». Игры в шахматы развивают аналитическое и логическое мышление, необходимое для понимания логических операций и построения алгоритмов.

Пространственные игры, такие как графический диктант, можно интегрировать в урок информатики следующим образом: учитель дает графический диктант по координатам, диктуя перемещения по клеткам: «Из начальной точки (1,1) 3 клетки вправо, 2 вверх...» – ученики рисуют получающуюся фигуру. Графический диктант развивает пространственное мышление, умение создавать и читать формализованные описания объектов (моделей).

Загадки и логические задачи также эффективно внедрять в уроки информатики с целью развития метапредметных умений. Интересно применять логические задачи, направленные на построение умозаключений, связанные с понятиями информатики, а также задачи на установление истинности утверждений: «Если файл заражен вирусом, то антивирус его блокирует. Антивирус не заблокировал файл. Следует ли, что файл безопасен?». Разгадывание загадок и логических задач способствует развитию критического мышления, навыков анализа и синтеза информации, построения логических выводов и точного использования терминов.

Использование ребусов и кроссвордов также возможно использовать в рамках содержательной линии «Теоретические основы информатики». Ученикам нравится разгадывать ребусы, в которых закодированы основные термины урока (например, ребус на

слово «шифрование», «декодер»). В качестве самостоятельного задания, ученикам можно предложить создать собственный кроссворд по теме урока.

В рамках раздела «Информационные технологии» целесообразно применять компьютерные интеллектуальные игры, например, образовательные квесты. Ученики проходят образовательный квест в среде текстового или графического редактора. Ученики, чтобы получить код-ключ к следующему заданию, должны выполнить практическое действие: правильно оформить текст по образцу (используя стили, колонтитулы) или создать простую инфографику в графическом редакторе.

Таким образом, в условиях базового курса информатики для 7 класса интеллектуальные игры эффективно интегрируются в уроки посредством модульной структуры, где каждая игра соответствует темам ФГОС: от основ цифровой грамотности до информационных технологий. Интеллектуальные игры не только способствуют стойкой учебной мотивации, но и обеспечивают индивидуальный подход к обучающимся. Внедрение интеллектуальных игр в уроки информатики для 7 класса приводят к улучшению метапредметных результатов учеников, что способствует всестороннему развитию их личности.

В современном образовании интеллектуальные игры являются инновационным инструментом по формированию и дальнейшему применению знаний у обучающихся. Интеграция интеллектуальных игр в уроки информатики позволяет создать динамичную образовательную среду, где каждый ученик может проявить свои способности и развить компетенции, необходимые для успешной адаптации в современном информационном обществе. Поэтому, интеллектуальные игры не только обогащают содержание уроков, но и способствует всестороннему развитию личности обучающихся, подготавливая их к будущим вызовам в области информационных технологий.

Литература

1. Аникина А.С. Интеллектуальная игра: воспитывающий и дидактический аспекты реализации в образовательной деятельности // Инновационная научная современная академическая исследовательская траектория. 2023. № 2 (14). С. 45-61.
2. Ахтамова С.С. Игровые технологии как средство повышения познавательного интереса на уроках информатики // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 78-2. С. 23-26.
3. Боева О.М. Педагогический феномен интеллектуальной игры // Образование. Наука. Научные кадры. 2021. № 1. С. 141-147.
4. Громова С.Ф., Скоробогатов Н.С. Виртуальный геокешинг – ещё один инструмент формирования метапредметных компетенций школьников // Математика и информатика – предметы формирования основ логического мышления: Сборник материалов XII региональной научно-практической конференции (Ханты-Мансийск, 08 ноября 2024 года). Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2024. С. 4-15.
5. Модестова Т.В. Разнообразие интеллектуальных игр в урочной и внеурочной деятельности. М., 2020. URL: <https://clck.ru/3ThcQN> (дата обращения: 05.02.2026).

6. Никитина Г.Н. Проектирование урока информатики, направленного на формирование метапредметных результатов обучения. // Уральский государственный педагогический университет. Екатеринбург, 2023. 52 с.
7. Никитин С.И. Геймификация, игрофикация, играизация в образовательном процессе // Молодой ученый. 2022. №9 (113). С. 1159-1162.
8. Овезов А.А. Интеллектуальные игры в высших учебных // Инновационная наука. 2024. № 3(1). С. 114-116.
9. Петрова Ю.А. Интеллектуальная игра как способ развития базовых компетенций учащихся // Аспекты и тенденции педагогической науки: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, декабрь 2016 г.). Свое издательство. 2024. С. 141-144.
10. Подымова Л.С. Педагогика: учебник и практикум для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2026. 227 с.
11. Тойкеева М.А. Применение игровых технологий на уроках информатики // nsportal. 2022. № 2 (24). С. 1-8.
12. Хачатурова К.Р. Развитие метапредметных умений подростков в основной школе // Педагогический вестник. 2020. № 12. С. 53-58.

© Жулина А.С., 2026

Игнатенко Я.А., Шепарева В.В.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ SKYSMART В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ АЛГЕБРЫ 8 КЛАССА

Переход современного образования на новые уровни взаимодействия с информацией обусловлен активным развитием технологий, широким распространением Интернета и созданием глобального информационного пространства [1-7]. Сегодня перед системой образования стоят серьезные вызовы, связанные с необходимостью обеспечить доступ обучающихся к качественному образованию независимо от места проживания, возраста и социального статуса. Согласно Стратегии развития образования до 2036 года важную роль играют современные технологии электронного обучения, позволяющие существенно повысить эффективность и доступность образовательных ресурсов. С переходом на дистанционное обучение в условиях пандемии COVID-19 возникла необходимость в поиске эффективных инструментов для организации образовательного процесса. Отсюда главные методические нововведения в образовании связаны с применением интерактивных методов в дистанционном образовании.

Темы, изучаемые в курсе алгебры 8 класса, являются одними из самых интересных и познавательных для обучающихся основного общего образования. Тематический блок квадратных корней и их свойств представляет собой одну из самых значимых тем в содержании контрольно-измерительных материалов основного государственного экзамена (ОГЭ), Всероссийской проверочной работы (ВПР), олимпиад. Стоит уделить особое внимание к изучению материала и дальнейшей подготовки к экзаменам, опираясь не только на методы обучения традиционной школы (решение типовых заданий), но и применяя средства ИКТ, для разнообразия и повышения интереса к изучению темы. С развитием высоких технологий, изменением восприятия мира у обучающихся – через экраны телефона, все перечисленное выше подтверждает необходимость во внедрении рабочей тетради Skysmart, как средство повышения интереса к выполнению домашней работы, автоматизации работы учителя.

При проведении научного обзора было выявлено, что дистанционная форма обучения имеет определённые плюсы и минусы, зависящие от используемых платформ и подхода к организации учебного процесса [1; 3]. Авторы отмечают удобство таких инструментов, как SkySmart, позволяющих организовать активное взаимодействие преподавателя и ученика посредством геймификации, игровых механик и интерактивных упражнений. Среди ключевых достоинств выделяют способность поддерживать постоянный контакт учителя с учениками, формировать индивидуализированные траектории обучения и автоматизировать проверку домашних работ.

Однако отмечается, что полноценное включение интерактивных платформ требует соответствующей подготовки педагогов, владения техническими средствами и достаточного уровня компьютерной грамотности у самих учащихся [4; 5]. Ряд авторов подчёркивает

значимость непрерывного сопровождения и оперативного реагирования на возникающие затруднения как важный фактор успеха [6; 7].

Во время исследования платформа Skysmart использовалась на протяжении всего изучения блока «Арифметический квадратный корень». На уроке открытия нового знания интерактивная рабочая тетрадь была использована на этапе проверки первичного понимания в конце урока.

Обучающиеся выполняли интерактивные задания (рис. 2, 3), повторно ознакомившись с теоретической частью рисунка 1. Такой способ помог существенно сэкономить время проверки работ и статистически заметить ребят, у которых возникли трудности с пониманием новой темы.

Квадратным корнем из числа a называют такое число b , квадрат которого равен a .

Но сторона квадрата не может иметь отрицательную длину, поэтому корень не является решением задачи. Ответом задачи будет только $x = 6$. Для обозначения положительно квадратного $x = -6$ зует отдельное понятие:

Арифметическим квадратным корнем из неотрицательного числа a называется неотрицательное число b такое, что $b^2 = a$.
Арифметический квадратный корень из числа a обозначается $\sqrt{a}$.

Составь определение арифметического корня на математическом языке: _____

Рис. 1. Пример теоретической части

Применение свойства умножения

Интерактивные задания > Свойства квадратного корня > Свойства арифметического квадратного корня

Вычисли аналогично образцу, запиши ответ.

✓ $\sqrt{9 \cdot 121} = \sqrt{9} \sqrt{121} = 3 \cdot 11 = 33$

- $\sqrt{16 \cdot 25} =$
- $\sqrt{36 \cdot 49} =$
- $\sqrt{0,04 \cdot 0,09} =$
- $\sqrt{9 \cdot 16 \cdot 25} =$
- $\sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{25}{36}} =$

Рис. 2. Пример интерактивного задания на платформе Skysmart

Вычисли аналогично образцу, запиши ответ.

✓

$$\sqrt{9 \cdot 121} = \sqrt{9} \sqrt{121} = 3 \cdot 11 = 33$$

1. $\sqrt{16 \cdot 25} = 20$
2. $\sqrt{36 \cdot 49} = 42$
3. $\sqrt{0,04 \cdot 0,09} = 0,06$
4. $\sqrt{9 \cdot 16 \cdot 25} = 60$
5. $\sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{25}{36}} = \frac{25}{72}$

Рис. 3. Пример выполненного задания на платформе Skysmart

На уроке систематизации знаний платформа использовалась при выполнении самостоятельной работы с проверкой по образцу.

Закрепление знаний, обучающихся происходит через выполнение интерактивных заданий, такой способ работы позволяет ученикам самостоятельно работать с материалом. Это создает условия для индивидуализации обучения, поскольку учащиеся могут работать в своем темпе.

Анализ результатов выполнения заданий показал, что более 70% учеников успешно справляются с заданиями после их предварительного объяснения. Закрепление пройденного материала осуществлялась на уроке контроля знаний. Здесь особую роль сыграли интерактивные упражнения и тесты, встроенные в платформу.

Обучающиеся получили ссылку с заданиями, при выполнении которых обучающиеся были ограничены во времени, также было поставлено условие о наличии письменного решения в тетради.

В результате мы получили, что более 72% учащихся получили положительные отметки (рис. 4), что говорит о высоком уровне усвоения знаний. Использование данной интерактивной тетради значительно повысило интерес обучающихся 8 классов к уроку алгебры.

Опыт использования интерактивной платформы SkySmart в дистанционном обучении на уроках алгебры для 8 класса показал положительное влияние на образовательный процесс. Элементы интерактивности способствовали повышению вовлеченности обучающихся, развили навыки самостоятельной работы, сократили время педагога при проверке работ.

Было выявлено, что дистанционное обучение, посредством платформы Skysmart имеет свои плюсы и минусы, зависящие от многих факторов. На данном этапе исследования планируется продолжить работу на интерактивной платформе, а также проводить дальнейшие исследования для выявления дополнительных возможностей ее применения



Рис. 4. Результаты выполнения работы на уроке контроля знаний

Литература

1. Костоева З.М., Лолохоева Л.Р., Костоева М.М. Дистанционное обучение: плюсы и минусы // Вестник науки и образования. 2020. № 19-1(97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/distantcionnoe-obuchenie-plyusy-i-minusy> (дата обращения: 19.10.2025).
2. Манюкова Н.В. Повышение эффективности управления учебной деятельностью учащихся на уроках разного типа: дис. ... канд. пед. наук. Омск, 2002. 194 с.
3. Манюкова Н.В., Манюкова Е.В., Уразаева Л.Ю. Современные ИТ-платформы в образовании // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: Материалы Двадцать первой открытой Всероссийской конференции (Нижний Новгород, 18–19 мая 2023 года). Нижний Новгород: Ассоциация предприятий компьютерных и информационных технологий (АПКИТ), Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2023. С. 214-216.
4. Скрипкина Е.Ю. Особенности организации дистанционного обучения в школах города Москва // Вопросы образования. 2020. № 2. С. 67-72.
5. Турбина О.М. Практика применения интерактивных технологий в школьном образовании // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 4. С. 83-88.
6. Щукин А.Н. Организация учебного процесса в дистанционном формате // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2020. № 2. С. 115-120.
7. Яковлев Б.П. Эффективность дистанционного обучения математике в средней школе // Школьные технологии. 2021. № 1. С. 94-99.

Лаврова В.А.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНФОРМАТИКЕ

В условиях цифровой трансформации общества и, в том числе, образования, характеризующегося лавинным ростом объема информации, особую актуальность приобретает поиск эффективного инструмента для работы с этой информацией. К числу таких инновационных инструментов, способных удовлетворить требования социума можно отнести нейросетевые технологии. Их интеграция в образовательный процесс обучения информатике открывает новые перспективы для целенаправленного развития критического мышления школьников [2]. Не смотря на большой потенциал использования искусственного интеллекта для развития критического мышления обучающихся, в настоящее время наблюдается дефицит исследований по использованию нейросетей на уроках информатики.

Нейросеть определяется как математическая или программная модель, имитирующая работу нейронов человеческого мозга [1; 4]. Эта архитектура дает возможность искусственному интеллекту генерировать данные, что позволяет создавать контент, в том числе и образовательный. В национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 52653-2006 указано, что «образовательный контент – это структурированное предметное содержание, используемое в образовательном процессе. То есть это специально разработанные информационные материалы, которые создаются для обучения в определенной предметной области».

Исходя из характера решаемых педагогических задач, нейросетевые инструменты для работы с образовательным контентом можно разделить на три ключевые группы [3]:

1. Междисциплинарные нейросети (DeepSeek, GigaChat, YandexGPT и т. д.) представляют собой универсальный инструмент, способные генерировать и анализировать тексты в любой предметной области. Их основная педагогическая ценность заключается в создании учебного материала, который по своей природе нуждается в критическом анализе. Роль обучающегося трансформируется из пассивного усвоения информации к активной исследовательской деятельности, в ходе которой необходимо найти и проанализировать возможные ошибки.

2. Специализированные нейросети (Gemini, кэмп, Яндекс учебник с интеллектуальным помощником и т. д.) ориентированы на решение конкретных педагогических задач в определённой предметной области. Они могут выступать в роли «рефлексивного партнера», обеспечивая обратную связь, которая помогает обучающемуся не просто исправить ошибку, но и проанализировать ее причину. Способность нейросети вести содержательный диалог формируется на трех взаимосвязанных компонентах [5]:

- Предметная модель – база знаний по определенной дисциплине, которая включает в себя понятия, правила, типичные ошибки обучающихся, что позволяет искусственному интеллекту не просто констатировать ошибку, а искать ее причину.

- Педагогическая модель – сценарий, по которому ведется диалог. Искусственный интеллект использует наводящие вопросы и подсказки, стимулируя самостоятельное мышление обучающихся (зону их ближайшего развития), инициируя самостоятельный поиск решения.

- Диалоговая модель – «движок» общения. Анализируя естественный язык школьника, искусственный помощник запоминает контекст диалога и строит каждое свое последующее высказывание на основе предыдущих, генерируя подходящие не только по содержанию ответы, но и соответствующие индивидуальной траектории обсуждения.

3. Вспомогательные нейросети (ChatPDF, Perplexity AI, Gamma AI и т. д.) решают определенные прикладные задачи. Их главная задача – трансформировать информацию в более доступный для запоминания вид (например, создание ментальных карт по предоставленному материалу). Их использование развивает навыки анализа (разложение сложного материала на части), синтеза (установление связей), оценки достоверности.

Исходя из этой классификации, мы выделили 5 ключевых функциональных возможностей нейросетей, релевантных для уроков информатики в 7 классе:

1. Генерация текстов. В рамках изучения тем «Текстовые документы» и «Компьютерные сети» обучающиеся 7 класса активно работают с текстовой информацией: ищут ее в интернете, создают документы и т. д. Поэтому здесь нейросеть становится идеальным поставщиком материала, который необходимо подвергнуть критическому анализу.

2. Генерация изображений и визуализация данных. Здесь нейросеть является наглядным примером того как текстовый код (промпт) превращается в растровое изображение.

3. Диалоговые системы. Формирование навыка эффективного информационного запроса (поиск в сети Интернет).

4. Создание и обработка мультимедиа. При изучении раздела мультимедийные презентации нейросети становятся инструментом для быстрого подбора визуального ряда, создания звукового сопровождения или монтажа, что позволяет перенести фокус с технической сложности на критическую работу с данными для презентации.

5. Анализ и обработка данных. Основа для формирования первичной цифровой грамотности. Здесь нейросеть – это «черный ящик», который проанализировал информацию и выдал ответ, задача обучающегося подвергнуть критике найденную информацию.

Каждая из возможностей рассматривается с точки зрения ее влияния на развитие критического мышления обучающихся. Ниже представлена таблица 1, отражающая влияние возможностей нейросетевых технологий на развитие критического мышления обучающихся на уроках информатики.

Таблица 1

Влияние возможностей нейросетевых технологий на развитие критического мышления обучающихся [составлено автором]

Генерация изображений и визуализация данных	Генерация текстов	Функциональная возможность
Содержательная линия		
- Анализировать графические изображения. - Пояснить на примерах смысл «обработки информации».	- Поиск информации в сети Интернет, критически относиться к найденной информации. - Сравнивать сгенерированные данные с надежным источником. - Предоставлять результаты своей деятельности в виде структурированных данных.	Практические умения
	- Оценка достоверности (насколько визуализированная информация соответствует реальности). - Выявление предубеждений (искажений в сгенерированных изображениях). - Интерпретация (визуального сообщения и его возможного воздействия).	Компонент критического мышления
Kandinsky, Gemini, Шедеврум, Lexica, Нейросеть Art	YandexGPT, GigaChat, DeepSeek, Нейротекстер	Нейронная сеть
- Визуализация абстрактных концепций для лучшего анализа. - Учит критически оценивать, насколько сгенерированное изображение соответствует реальности.	- Быстрое создание материала для критического мышления. - Возможность проверки собственных аргументов против сгенерированных.	Достоинство для развития критического мышления
Яркие и убедительные изображения могут искажать факты или создавать ложные впечатления, которым легко поверить без проверки.	- Риск некритического принятия текста. - Подмена собственного синтеза и аргументации готовыми шаблонами.	Недостатки/ риски для развития критического мышления

Создание и обработка мультимедиа	Диалоговые системы
Информационные технологии.	Цифровая грамотность, теоретические основы информатики, информационные технологии.
• Представлять результат своей деятельности в виде мультимедийной презентации. • Критически оценивать созданную презентацию.	• Искать информацию. • Критически относиться к найденной информации, сравнивая их с надежными источниками. • Соблюдать сетевой этикет.
• Синтез (информации из различных источников в единую систему). • Оценка достоверности (соответствие сгенерированного мультимедийного сообщения реальным фактам). • Интерпретация (смысла, заложенного в сгенерированный продукт).	• Выявление предубеждений (в ответах системы). • Аргументация (построение контраргументов и проверка устойчивости своей позиции в диалоге). • Рефлексия (какие вопросы были эффективны, а какие нет).
Kandinsky Video, Gamma, Sway	YandexGPT, GigaChat, DeepSeek
• Развитие навыка эффективной подачи сложной информации. • Критический отбор информации и умение связать найденную информацию для создания контента.	• Практика ведения дискуссии и мгновенной проверки гипотез. • Развитие навыка уточняющего вопроса для получения точной информации.
• Склонность к пассивному потреблению контента без рефлексии. • Акцент на внешнем виде, в ущерб критическому анализу содержания.	• Риск формирования поверхностного понимания у обучающихся из-за шаблонных ответов. • Если систему будут принимать как авторитетный источник, то появляется риск снижения навыков глубокого анализа.

Анализ и обработка данных
Цифровая грамотность, теоретические основы информатики.
• Сравнить результаты анализа данных. • Оценивать корректность визуализации данных. • Пояснить на примерах принципы хранения и обработки информации.
• Анализ (методов, которые использовала нейросеть для обработки данных). • Оценка достоверности (сравнение исходных данных и корректности выводов ИИ). • Интерпретация (выявленных повторяющихся закономерностей и их возможных причин). • Рефлексия (о границах применимости и этичности автоматических выводов).
Perplexity, DeepSeek, Chat AI
• Возможность работать с большими данным, тренируя выявление значимых закономерностей и отсеивание лишней информации. • Формирование скептического отношения к данным и необходимости проверки источников и методов анализа.
• Риск бездумно принимать выводы ИИ за истину, не думая о возможных ошибках. • Делигирование выводов машине, что формирует риск потери навыка уметь самостоятельно строить логические заключения

Рассмотренные функциональные возможности нейросетей (генерация текстов и изображений, диалоговые системы, создание мультимедиа, анализ данных) напрямую соотносятся с ключевыми разделами курса информатики 7 класса. Например, задание на анализ сгенерированного нейросетью текста на предмет достоверности фактов развивает у обучающегося умение критического поиска, анализа и оценки информации, что является одной из главных задач раздела «информация и информационные процессы». Работа с визуализацией информации через нейросети в рамках изучения мультимедийной презентации может позволить сместить акцент с технического освоения инструментария на смысловую работу с самим контентом. А вот использование диалоговых систем к примеру для уточняющих вопросов, которые обучающиеся задают нейросети может стать упражнением формирования эффективного информационного запроса – базового навыка цифровой грамотности.

Следовательно, нейросети на уроках информатики в 7 классе могут выступать в трех значимых ролях. Как объект изучения (в рамках тем, где можно применить нейросети и современные технологии), как инструмент обучения (для выполнения учебных задач, например, создание контента) и как педагогический тренажер, материалы которого подвергаются анализу, оценке достоверности, рефлексии и напрямую способствуют развитию компонентов критического мышления. Таким образом, мы видим связь как метапредметный

навык критического мышления можно формировать через предметное содержание курса информатики. Поэтому ключевая задача учителя методически правильно встроить работу с нейросетями в учебные задания, смещая фокус с пассивного потребления готовых ответов искусственного интеллекта на активную исследовательскую деятельность обучающегося.

Литература

1. Антипко А.В. Нейросеть: определение, принцип работы, область применения. Специалисты по нейросетям // Молодой ученый. 2023. С. 13-14.
2. Громова С.Ф., Осипченко Д.А. Компетентностный подход в современном российском образовании. Формирование информационно-технологических компетенций обучающихся // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: Материалы IX Международной научно-практической конференции (Нижневартовск, 10 ноября 2021 года). Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. С. 486-494.
3. Елсакова Р.З., Кузьмина Н.Н., Маркус А.М., Кузьмина Н.М. Классификация нейросетей для создания образовательного контента преподавателем высшей школы // Вестник ЮУрГУ. 2024. С. 17- 29.
4. Рыбаков Д.А. Развитие и применение нейросетей в различных отраслях // Вестник наук. 2023. Т. 5, № 7(64). С. 273-276.
5. Zerkouk M., Mihoubi M., Chikhaoui B. A Comprehensive Review of AI-based Intelligent Tutoring Systems: Applications and Challenges // arXiv, 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.18882>

© Лаврова В.А., 2026

Мясоедова П.А.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

МЕНТАЛЬНЫЕ КАРТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ 4К КОМПЕТЕНЦИЙ НА УРОКАХ ИНФОРМАТИКИ В 8 КЛАССЕ

Современные вызовы, связанные с цифровизацией общества и динамикой рынка труда, актуализировали задачу формирования у обучающихся комплекса универсальных компетенций, обеспечивающих адаптивность и успешность. К числу таких ключевых навыков XXI века относится модель 4К компетенции: критическое мышление, креативность, коммуникация и кооперация [4, с. 7]. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования прямо ориентируется на достижение метапредметных результатов, соотносимых с компонентам данной модели [7]. В этой связи поиск и обоснование эффективных педагогических технологий, позволяющих интегрировать развитие 4К компетенций в предметное содержание, становится актуальной научно-практической задачей [2, с. 2].

Учебный предмет «Информатика» обладает особым потенциалом для решения этой задачи благодаря высокой технологичности и практико-ориентированности учебного содержания. В процессе освоения предмета в 8 классе, в период активного развития абстрактно-логического мышления и социальной идентичности подростков, изучение таких сложных тем, как алгоритмизация и программирование, кодирование информации и основы формальной логики, требует методов, способствующих структурированию, визуализации и активному усвоению знаний. Одним из таких методов является технология ментальных карт, разработанная Т. Бьюзеном [1, с. 8].

Ментальная карта – это графический инструмент визуализации мышления, структура которого отражает естественные ассоциативные процессы. Карта строится вокруг центрального понятия или образа, от которого расходятся ветви, детализирующие тему по принципу иерархии и ассоциативных связей [3; 5]. Ключевыми принципами построения ментальных карт являются:

1. Ассоциативность. Карта представляет собой сеть взаимосвязанных понятий, где каждая ветвь является логическим продолжением (развитием) предыдущей, что соответствует радиантному характеру мышления, задействующему оба полушария мозга, обеспечивая наилучшее восприятие информации [1, с. 14].

2. Иерархичность. Информация располагается по уровням значимости (от общего к частному), обеспечивая логическую структуру и системность. Этот принцип органично реализуется на уроках информатики (иерархическая структура файловой системы персонального компьютера, топология сетей, базы данных и базы знаний и т. д.) [1, с. 10].

3. Визуализация. Использование цвета, символов, изображений и пространственного расположения элементов задействует образную память и делает сложный материал более доступным для восприятия [1, с. 14]. Предмет информатика обладает исключительными

возможностями визуализации (визуализация данных и алгоритмов, моделирование физических и математических процессов, интерактивные дашборды и т. д.).

Взаимодействие этих принципов трансформирует ментальную карту из простой схемы в инструмент когнитивной обработки информации, что обуславливает ее дидактическую ценность.

Создание ментальных карт представляет собой активную учебную деятельность, которая напрямую способствует формированию всех компонентов 4К модели [6]. Дидактический потенциал данной технологии и механизмы формирования целевых компетенций последовательно раскрываются при анализе каждой из них:

1. Развитие критического мышления. Критическое мышление – это целенаправленное, саморегулируемое суждение, результатом которого является интерпретация, анализ, оценка и выводы, а также объяснение тех фактических, концептуальных, методологических, критериальных оснований или контекстных факторов, на которых основано суждение [4, с. 12]. Процесс построения карты требует анализа учебного материала, выделения ключевых и второстепенных понятий, установления причинно-следственных и логических связей. Обучающийся оценивает информацию на релевантность и достоверность, аргументирует выбор структуры, что формирует навыки анализа, синтеза и обоснования решений.

2. Развитие креативности. Креативность – это способность генерировать принципиально новые подходы к решению проблем, синтезировать и видоизменять знания [4, с. 13]. Нелинейный, ассоциативный формат ментальных карт стимулирует генерацию новых идей и нестандартных связей. Возможность использовать цвет, графические образы, личные ассоциации и альтернативные структуры позволяет трансформировать ментальную карту в поле интеллектуального эксперимента [8, с. 136].

3. Развитие коммуникации. Коммуникация – это способность выражать и интерпретировать мысли, чувства и факты в устной и письменной форме, адаптируясь к цели и контексту общения [4, с. 14]. Ментальная карта служит эффективным инструментом коммуникации, создавая общее визуальное поле для обсуждения. Коллективное создание карты требует ясного формулирования мыслей, согласования терминов, презентации и защиты своей части работы.

4. Развитие кооперация. Кооперация – это эффективное взаимодействие с другими людьми и работа в команде [4, с. 15]. Совместная работа над картой, особенно с использованием цифровых платформ (Miro, MindMeister и т. д.), моделирует проектную деятельность. Этапа «мозгового штурма», распределения ролей (аналитик, визуализатор, редактор), согласования и интеграция различных точек зрения в единый продукт формируют навыки командного взаимодействия, ответственности за общий результат и поиска компромиссов.

Эффективное использование любой педагогической технологии, особенно такой как ментальные карты требует соблюдения принципа последовательности и поэтапного внедрения. Это обусловлено необходимостью постепенного формированию у обучающихся как технических навыков работы с инструментом, так и способности применять его для

решения учебных задач. Трехуровневая модель внедрения ментальных карт в учебный процесс по информатике в 8 классе позволит решить педагогические задачи:

1. Ознакомительный этап. Основная цель – формирование базовых навыков построения ментальных карт. В рамках данного этапа решаются следующие педагогические задачи: формирование понимания принципов ассоциативности, иерархичности и визуализации как основы построения карт; отработка умения выделять ключевые понятия и располагать их по уровням значимости; освоение приемов цветного кодирования и использования графических образов для представления информации; снятие психологического барьера перед новым инструментом через коллективную работу под руководством учителя. Деятельность организуется как коллективная работа по заданному образцу под руководством учителя. Например, при изучении темы «Системы счисления» обучающиеся совместно создают карту-классификацию, центральным узлом которой является понятие «Система счисления». Основные ветви формируются по признаку позиционности, с последующей детализацией: указанием алфавита, основания, исторических примеров и их практическое значение. Этот этап формирует понимание базовых принципов визуализации и иерархии.

2. Практико-ориентированный этап. Ключевая задача – интеграция метода в решение конкретных учебных задач для осмысления и применения предметного содержания. На данном этапе реализуются следующие задачи: развитие аналитических способностей через самостоятельное выявление иерархических и причинно-следственных связей в учебном материале; стимулирование творческого переосмысления информации за счет вариативности визуальных решений; формирование навыков самостоятельной познавательной деятельности; закрепление предметных знаний через их активную переработку и визуализацию. Обучающиеся переходят к самостоятельному или групповому проектированию ментальных карт по заданной теме. Примером может служить задание по теме «Элементы математической логики», где требуется создать карту, отражающую не только базовые логические операции, но и их свойства, таблицы истинности, законы логики и примеры составных высказываний. Такое задание развивает способность к абстрактному мышлению, анализу и структурированию формальных знаний.

3. Рефлексивно-оценочный этап. Направлен на развитие регулятивных учебных действий посредством анализа и оценки результатов. Педагогическими задачами этого этапа выступают: формирование навыков самооценки и самоконтроля через выявление достоинств и недостатков собственной работы; развитие умений конструктивной критики и взаимооценки при анализе карт одноклассников по заданным критериям; совершенствование коммуникативных навыков; воспитание ответственности за качество выполненной работы и уважения к интеллектуальному труду других. На данном этапе организуется взаимопроверка, презентация и коллективное обсуждение созданных ментальных карт. Так, при изучении темы «Алгоритмическая структура «Ветвление» обучающиеся в парах или мини-группах проводят проверку карт друг друга по заранее определенным критериям: логичность структуры, полнота, оригинальность визуального решения. В процессе защиты автор аргументирует

выбранную структуру, а оппоненты задают уточняющие вопросы, что формирует навыки критической оценки, аргументации и саморегуляции.

Тони Бьюзен выделил три ключевых принципа эффективной ментальной карты: ассоциативность, иерархичность и визуализация [1, с. 31]. Критерии оценивания ментальной карты являются способом реализацией этих принципов:

–Логичность структуры напрямую отражает принцип иерархичности. Карта должна быть не хаотичным набором слова, а структурированной системой, где от центрального понятия расходятся главные ветви (ключевые разделы), а от них – второстепенные (детали). Если этот принцип нарушен, карта перестает выполнять функцию структурирования знаний и превращается в простой «список» с нелинейной формой.

–Оригинальность визуального решения тесно связан с принципами ассоциативности и визуализации. Использование цвета, символов, нестандартных образов как раз и позволяет задействовать ассоциативное мышление и образную память. Без этого карта становится лишь схемой, не реализуя свой потенциал для развития креативности.

–Полнота раскрытия темы является содержательным требованием, которое обеспечивает дидактическую ценность карты. Карта может быть красивой и логичной, но, если в ней упущены важные понятия темы, она не выполняет свою главную учебную функцию – не помогает усвоить предметное содержание.

Работа может быть организована в индивидуальной (для систематизации знаний и развития самостоятельности) и групповой (для развития кооперации и коммуникации) формах. Оценка карт должна фокусироваться на качестве мыслительного процесса: логичности и иерархичности структуры, полноте раскрытия темы, оригинальности подхода и аккуратности оформления.

Таким образом, ментальные карты представляют собой не просто средство наглядности, а комплексную педагогическую технологию, органично встроенную в процесс ключевых компетенций. Их использование на уроках информатики в 8 классе соответствует когнитивным и социальным потребностям подростков, позволяя трансформировать усвоение сложного теоретического материала в активную, личностно значимую деятельность. Через анализ, структурирование, визуализацию и совместное создание карт у обучающихся целенаправленно развиваются критическое мышление, креативность, коммуникация и кооперация. Соответственно, системное применение методики работы с ментальными картами способствует достижению как предметных результатов по информатике, так и метапредметных результатов, заложенных в ФГОС, подготавливая школьников к решению задач в быстро меняющемся мире.

Литература

1. Бьюзен Т. Интеллект-карты. Полное руководство по мощному инструменту мышления. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 92 с.
2. Громова С.Ф., Осипченко Д.А. Компетентностный подход в современном российском образовании. Формирование информационно-технологических компетенций

обучающихся // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: Материалы IX Международной научно-практической конференции, Нижневартовск, 10 ноября 2021 года / Отв. редактор Д.А. Погonyшев. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. С. 486-494.

3. Липская М.К. Ментальные карты и их применение в учебном процессе // Электронная библиотека БГУ. URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/99495>

4. Пинская М.А., Михайлова А.М. Компетенции «4К»: формирование и оценка на уроке: Практические рекомендации. М.: Российский учебник, 2019. 76, [4] с.

5. Рымарь С.В., Рымарь А.И. Ментальная карта как современная педагогическая технология // Мир науки. Педагогика и психология. 2024. Т. 12. № 3.

6. Фещенко Т. 4 навыка будущего: как ментальная карта помогает развивать 4К // Онлайн-журнал «Фоксфорд». 2025. 29 окт. URL: <https://media.foxford.ru/articles/4-future-skills>

7. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования // ФГОС. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo>

8. Яковлева С.С. Использование ментальных карт в обучении студентов вуза // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 4-1. С. 134-137.

© Мясоедова П.А., 2026

Обивалина Е.С.

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ СЛОЖНЫХ ФИГУР: ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ

Понятие площади фигуры – одно из древнейших и основных, послуживших мотивационной основой для развития различных направлений исследований в математике.

В классах среднего и старшего звеньев при изучении планиметрии, особенно при решении задач на нахождение площади фигуры, возникают трудности у обучающихся:

- с визуализацией задач (например, построить высоту в тупоугольном треугольнике для нахождения его площади);
- с разбиением фигур неправильной формулы на более простые;
- с пространственным мышлением при работе с геометрическими чертежами;
- с выполнением дополнительных построений (проведение высот, диагоналей, достраивание до прямоугольника, квадрата).

Особенно остро эти проблемы проявляется при работе с многоугольниками. Таким образом, возникает необходимость в устранении этой проблемы и введения в школьной практике работы с разбиением фигуры на более простые знакомые фигуры или достраивание до прямоугольника.

Рассмотрим решение нескольких задач путем использования стандартных формул площадей фигур и разбиения.

Задача № 1. Найдите площадь треугольника ABC (рис. 1). Ответ дайте в квадратных сантиметрах. Размер клетки 1 см × 1 см.

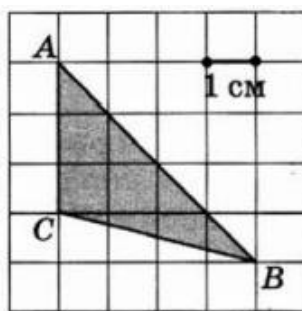


Рис. 1. Треугольник ABC

Решение 1 (с использованием школьных формул площадей).

Площадь этого треугольника ABC можно найти по известным формулам площадей, но возникает небольшая трудность в построении высоты в тупоугольном треугольнике.

Изучая рисунок 1, может заметить, что хорошо сразу же можно посчитать только боковую сторону AC, поэтому к ней целесообразнее проводить высоту BH (рис. 2).

На этом сложности не заканчиваются, обучающиеся часто забывают, что в формуле площади $S = \frac{1}{2} * a * h$, а- это длина стороны, к которой проведена высота, то есть $AC = 3$ см.

Они подставляют $АН = 4$ см (это неправильно, так как при этом они находят площадь треугольника $АНВ$, а не треугольника ABC).

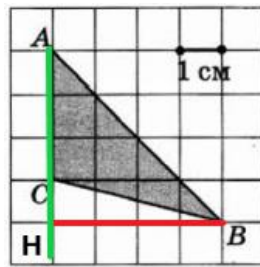


Рис. 2. Треугольник ABC с высотой $ВН$

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} * 3 * 4 = 6 \text{ см}^2.$$

Ответ: 6 см^2 .

Решение 2 (метод достраивания до квадрата).

1) Для нахождения площади достроим треугольник до квадрата $AKBD$ (рис. 3) и найдём площадь получившегося квадрата.

2) Видим, что при достраивании получается внутри квадрата $AKBD$ три треугольника.

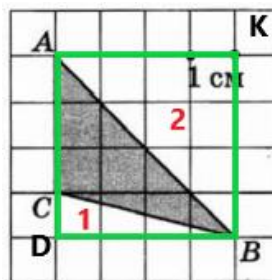


Рис. 3. Квадрат $AKBD$

3) Для нахождения искомой площади треугольника ABC , исключим из площади квадрата площади двух треугольников:

$$S = S_{\text{квадрат}} - (S_1 + S_2);$$

$$S = 16 - (8 + 2) = 6 \text{ см}^2.$$

Ответ: 6 см^2 .

Задача № 2. План местности разбит на клетки. Размер клетки $2 \text{ м} \times 2 \text{ м}$. Найдите площадь участка, изображенного на плане (рис. 4). Ответ дайте в квадратных метрах [1, с. 3].

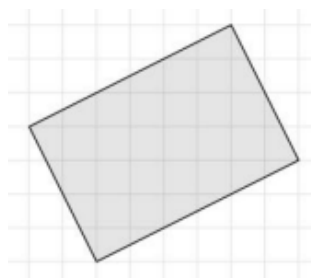


Рис. 4. Участок

Решение 1 (с использованием школьных формул площадей).

Площадь этого участка нельзя найти по известным формулам площадей, потому что нам не сказано какая фигура перед нами (прямоугольник, параллелограмм).

Таким образом, будем применять второй способ решения, так как он подходит для любого многоугольника.

Решение 2 (метод достраивания до прямоугольника).

1) Для нахождения площади достроим фигуру до прямоугольника (рис. 5) и найдём площадь получившегося прямоугольника.

2) Видим, что при достраивании получается внутри прямоугольника четыре треугольника.

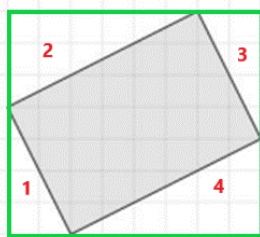


Рис. 5. Прямоугольник

3) Для нахождения искомой площади участка, исключим из площади прямоугольника площади четырех треугольников:

$$S = S_{\text{прямоугольник}} - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4);$$

$$S = 56 - (4 + 9 + 4 + 9) = 30 \text{ м}^2.$$

Ответ: 30 м².

Решение 3 (метод разбиения).

1) Для нахождения площади разрежем фигуру на более привычные обучающимся (рис. 6) и найдём площадь получившихся фигур.

2) Видим, что при разбиении получается внутри участка получается четыре треугольника и прямоугольник.

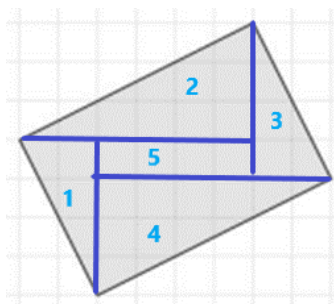


Рис. 6. Участок, разбитый на фигуры

3) Для нахождения искомой площади участка необходимо сложить площади всех полученных фигур:

$$S = S_{\text{прямоугольник}} + S_1 + S_2 + S_3 + S_4;$$

$$S = 4 + 4 + 9 + 4 + 9 = 30 \text{ м}^2.$$

Ответ: 30 м².

Рассмотренные задачи на нахождение площади многоугольника демонстрируют, что вычисление площадей фигур, особенно на клетчатой основе, не должно сводиться исключительно к использованию типовых школьных формул. Примеры наглядно подтверждают, что подходы, основанные на дополнении до прямоугольника (или квадрата) и разбиении фигуры на простейшие фигуры, оказываются более эффективными, наглядными и понятными.

В заключении можно сделать вывод, что применение данных подходов на уроках планиметрии даёт возможность:

- Исключить практические ошибки, связанных с построением высот в тупоугольных треугольниках или неверным выбором основания при вычислении площади фигуры.
- Развивать пространственное мышление, способствуя видеть сложную фигуру как комбинацию простых элементов.
- Использовать универсальный алгоритм решения задач для различных многоугольников вне зависимости от их конфигурации – это особенно важно при обработке планов местности и выполнении чертежей на квадратной сетке.

Таким образом, в школьной программе по планиметрии следует систематически вводить и отрабатывать навыки разбиения и достраивания фигур, что будет способствовать повышению качества геометрической подготовки обучающихся. Такой подход не только упрощает выполнение заданий, но и формирует у учащихся навыки пространственной визуализации и геометрическое мышление.

Литература

1. ЕГЭ по математике. Базовый уровень : тренировочный вариант № 41 / сост. М.А. Гнатов ; оформ. Н.А. Рязанов ; проверка Р.Б. Ягубов ; публ. Т.Д. Ягубова. М.: Ягубов.РФ, май 2023. 10 с. URL: <https://yagubov.ru/baza/41> (дата обращения: 01.03.2026).

© Обивалина Е.С., 2026

Ощепкова Ю.В.

Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА УКРУПНЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ «ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА» ПРИ РЕШЕНИИ ТЕКСТОВЫХ ЗАДАЧ ПО МАТЕМАТИКЕ

Современные требования к математическому образованию предполагают повышенное внимание к формированию у обучающихся не просто набора изолированных знаний и навыков, а целостное представление знание и способность видеть взаимосвязь понятий. Одной из главных проблем в обучении математики остается решение текстовых задач, которое требует от обучающихся не только умение работать с количественными данными, но и развитие логического мышления, умение анализировать ситуацию и применять четкие алгоритмы при решении. Необходимость умения решать задачи разного уровня обозначена в Федеральных государственных образовательных стандартах [2] в части предметных результатов основания основной образовательной программы.

Значение текстовой задачи в обучении математике охарактеризовал В.А. Далингер [1], он описал текстовую задачу как основу для формирования мышления учащихся, умения устанавливать зависимости между величинами, осуществлять связь с реальными жизненными ситуациями.

Укрупнение дидактических единиц – это метод обучения, предполагающий изучение материала с помощью объединения их в целостные систематизированные блоки [3]. При укрупнении дидактических единиц весь теоретический материал изучается не отдельными параграфами, а в комплексе полностью: изначально вводится понятие, после чего рассматриваются закономерности, связывающие его с другими, а затем их практическое применение. Кроме того, основной материал повторяется на каждом уроке, это способствует более глубокому запоминанию учеником.

Изучая теоретические аспекты УДЕ [4], можно выделить 4 способа применения метода на уроках математики:

1. Решение прямой и обратной задачи.
2. Блочное изучение темы.
3. Создание определенного шаблона для разных типов задач.
4. Использование разных моделей для одной задачи.

Разберем подробно реализацию первого способа применения УДЕ на уроках математики в 6 классе.

Прямая и обратная задача. Рассмотрим примеры решения задач с применением Укрупнения дидактических единиц посредством прямой и обратной задачи на проценты, дроби и пропорцию. Суть заключается в том, чтобы учащиеся научились различать типы задач и применять соответствующий метод решения. Задачи представлены не по отдельности, а в паре, чтобы сравнить типы задач, выявить их соответствия и различия, а также использовать единую модель решения.

1. **Задача 1. (Прямая):** В школе учится 800 учеников. 35% всех учеников посещает спортивные секции. Сколько учеников посещают спортивные секции?

Задача 2. (Обратная): В школе 280 учеников посещают спортивные секции, что составляет 35% от общего числа учеников школы. Сколько всего учеников учится в школе?

Задание к задачам: Для каждой задачи составьте краткую запись или схему и решите их. Как они связаны? Какое правило помогает решить каждую из них?

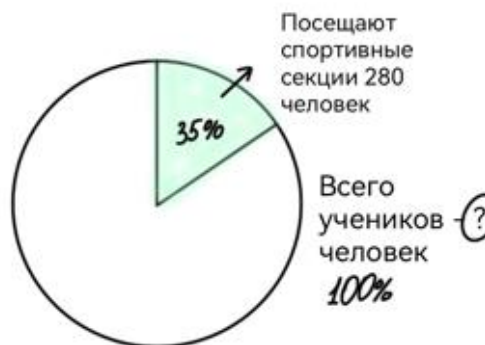


Рис. 1. Краткая запись для задачи

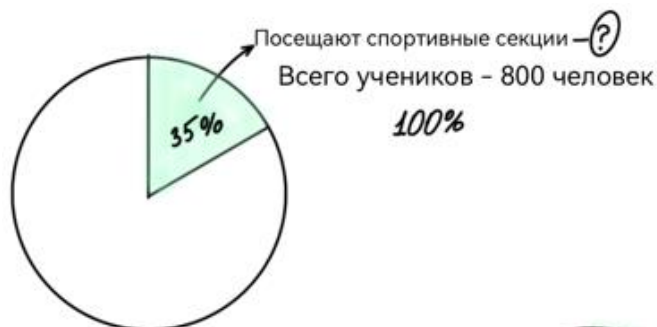


Рис. 2. Краткая запись для задачи 2

Решение задачи 1:

Для решения этой задачи необходимо вспомнить правило «Нахождения процента от числа», умножаем число на процент. Переводим 35% в обыкновенную дробь $\frac{35}{100}$ и выполняем умножение числа на дробь.

$$800 \cdot \frac{35}{100} = 280 \text{ (учеников) – посещают спортивные секции.}$$

Решение задачи 2:

Для решения второй задачи используется правило «Нахождение числа по его проценту», делим данное число на его процент. Переводим 35% в обыкновенную дробь $\frac{35}{100}$ и выполняем деление числа на дробь.

$$280 : \frac{35}{100} = 280 \cdot \frac{100}{35} = 800 \text{ (учеников) – всего в школе.}$$

Связь задач заключается в том, что ответ первой задачи является условием второй задачи и наоборот, отсюда делается вывод, что они обратны друг другу, соответственно ход решения

у них противоположный. Для решения первой задачи нами было использовано правило процента от числа, а во второй нахождения числа по его проценту.

2. **Задача 1.** (Прямая): За 3 часа поезд прошел 240 км. Какое расстояние он пройдет за 5 часов, если будет двигаться с той же скоростью?

Задача 2. (Обратная): Расстояние между двумя городами автомобиль проехал за 3 часа со скоростью 80 км/ч. За какое время он проедет то же расстояние, если увеличит скорость до 120 км/ч?

Задание к задачам: Составьте таблицу для каждой задачи. Как меняется расстояние в задаче 1, если увеличивается время? Как меняется время в задаче 2, если увеличивается скорость? Какой зависимостью связаны величины в задаче 1 (прямой или обратной)? А в задаче 2? Объясните почему. Сравните составленные пропорции

Таблица 1

Таблица – условие для 1 задачи

Время	Расстояние
3 часа	240 км
5 часов	? км

Если увеличить время, то и расстояние увеличится. Величины связаны прямой пропорциональностью.

Таблица 2

Таблица – условие для 2 задачи

Время	Скорость
3 часа	80 км/ч
? часов	120 км/ч

Если увеличить скорость, то время поездки уменьшится. В таком случае величины связаны обратной пропорциональностью.

Решение задачи 1: Составим пропорцию для первой задачи, для этого неизвестную величину обозначим переменной x .

$$\frac{3}{5} = \frac{240}{x}$$

При решении пропорции используем основное свойство пропорции «Произведение крайних членов пропорции равно произведению средних членов пропорции»

$$3 \cdot x = 240 \cdot 5 \text{ – решаем уравнение}$$

$$3x = 1200$$

$$x = 1200 : 3$$

$$x = 400 \text{ (Км)} \text{ – проехал поезд за 5 часов.}$$

Решение задачи 2:

Составим пропорцию для второй задачи. Также неизвестную переменную обозначаем переменной x .

$$\frac{3}{x} = \frac{120}{80}$$



При решении пропорции используем основное свойство пропорции «Произведение крайних членов пропорции равно произведению средних членов пропорции»

$$3 \cdot 80 = 120 \cdot x \text{ – решаем уравнение}$$

$$240 = 120x$$

$$x = 240 : 120$$

$$x = 2 \text{ (ч) – потратит автомобиль на дорогу.}$$

3. **Задача 1. (Прямая):** Во время летних каникул Мише нужно было прочитать книгу «Капитанская дочка». За первый месяц он прочитал $\frac{3}{8}$ всей книги. Сколько страниц осталось прочитать Мише, если всего в книге 256 страниц?

Задача 2. (Обратная): За июнь Миша прочитал 96 страниц книги «Капитанская дочка», сколько всего страниц в книге, если за первый месяц лето было прочитано $\frac{3}{8}$ всей книги?

Задание к задачам: Составьте для каждой задачи краткую запись. Как связаны эти задачи? Чем отличаются? С помощью чего можно решить данные задачи?



Рис. 3. Краткая запись для задачи 1

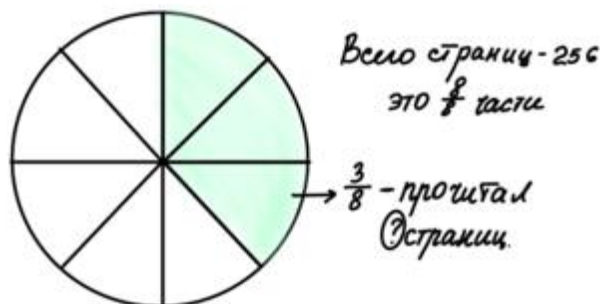


Рис. 4. Краткая запись для задачи 2

Решение задачи 1:

Для решения этой задачи необходимо вспомнить правило «Нахождения дроби от числа», умножаем число на эту дробь.

$$256 \cdot \frac{3}{8} = 96 \text{ (страниц) – осталось прочитать.}$$

Решение задачи 2:

Для решения второй задачи используется правило «Нахождение числа по его дроби», делим данное число на дробь.

$$96 : \frac{3}{8} = 96 \cdot \frac{8}{3} = 256 \text{ (страниц) – всего в книге.}$$

Связь задач заключается в том, что ответ первой задачи является условием второй задачи и наоборот, отсюда делается вывод, что они обратны друг другу, соответственно ход решения у них противоположный. Задачи решаются с помощью правил «Нахождения числа по его дроби» и «Нахождения дроби от числа».

Таким образом, применение Укрупнения дидактических единиц путем прямой и обратной задачи является эффективным способом обучения решения текстовых задач, а также позволяет формировать умение видеть взаимосвязи понятий, развивать логическое мышлению.

Литература

1. Далингер В.А. Обучение учащихся решению текстовых задач методом составления уравнений: пособие для учителей. Омск: Изд-во Омского областного ИУУ, 1991. 72 с.
2. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования / Минобрнауки РФ. М.: Просвещение, 2021. 48 с. (Стандарты третьего поколения). Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 31.05.2021 № 287.
3. Эрдниев П.М., Эрдниев Б.П. Обучение математике в школе. Укрупнение дидактических единиц. Книга для учителя. М.: Столетие, 1996. 270 с.
4. Эрдниев П.М. Укрупнение дидактических единиц как технология обучения. М.: Просвещение, 1992. 256 с.

© Ощепкова Ю.В., 2026

Попова А.А., Фоминых С.О.

Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
г. Чебоксары, Россия

НЕСТАНДАРТНЫЕ ЗАДАЧИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ

Введение. Нестандартные задачи по математике представляют собой задания, решение которых требует выхода за рамки стандартных алгоритмов и шаблонов. Они отличаются оригинальностью постановки вопроса, необходимостью креативного подхода и способности мыслить вне привычных рамок. Такие задачи включают элементы неожиданности, требуют привлечения интуитивных догадок и творческого начала.

Актуальность темы обусловлена необходимостью развития у учащихся не только предметных знаний, но и универсальных компетенций. Нестандартные задачи в математике необходимы для:

- развития мышления (критического, креативного, логического);
- преодоления шаблонности в решении задач;
- повышения интереса к предмету;
- формирования умения находить решения в нестандартных ситуациях.

Ключевая особенность нестандартных задач – отсутствие готового, заранее известного учащемуся алгоритма решения.

Цель статьи – систематизировать теоретические знания о нестандартных задачах, их видах и методах решения, а также обосновать их образовательную ценность и предложить методические рекомендации по включению в учебный процесс.

Что такое нестандартная математическая задача. Нестандартная математическая задача – это задача, для которой в курсе математики не имеется общих правил и положений, определяющих точную программу её решения для данного конкретного ученика или группы учащихся [5]. В отличие от них, стандартные (шаблонные) задачи характеризуются наличием готовой процедуры решения, применением одного конкретного метода, чёткими и однозначными ответами.

Важно отметить, что признак «нестандартности» относителен. Одна и та же задача может быть стандартной для ученика, владеющего определённым методом, и нестандартной для того, кто с ним не знаком, что зависит от индивидуального опыта и уровня подготовки [1].

Основные признаки нестандартной задачи:

- необходимость самостоятельного поиска подхода к решению;
- требование гибкости и нестандартности мышления;
- креативность как компонент процесса решения.

Цели и функции нестандартных задач. Внедрение нестандартных задач в обучение преследует несколько важных целей:

- Развитие логического и творческого (эвристического) мышления.
- Формирование умений анализировать условие, сравнивать данные, выдвигать и проверять гипотезы, обобщать результаты.

– *Повышение мотивации и интереса к математике через элемент занимательности, открытия.*

– *Подготовка к олимпиадам, конкурсам и исследовательской деятельности, где требуются нестандартные подходы.*

– *Профилактика «шаблонного» мышления: обучение умению выходить за рамки заученных правил и видеть проблему под разными углами.*

Основные виды нестандартных задач (с примерами). Классификация может быть построена по содержательно-действенному признаку:

1. *Логические задачи* (на взвешивание, переливание, определение истинности высказываний «лжецы и правдивые»). Эти задачи требуют построения цепочек умозаключений, анализа условий на непротиворечивость, часто с использованием законов формальной логики.

- Пример (взвешивание): «Как за три взвешивания на чашечных весах без гирь найти одну фальшивую (более легкую) монету среди 12?»

- Пример («лжецы и правдивые»): «На острове живут рыцари (всегда говорят правду) и лжецы (всегда лгут). Путешественник встретил двоих. Первый сказал: «Мы оба лжецы». Кто они на самом деле?»

2. *Комбинаторные задачи*, требующие систематического перебора или применения правил суммы и произведения. Цель – подсчитать количество возможных вариантов, удовлетворяющих условию, используя систематический перебор или комбинаторные правила.

- Пример: «Сколько различных пятизначных чисел можно составить из цифр 1, 2, 3, 4, 5 без повторений?»

- Пример (перебор): «В футбольном турнире 6 команд играют каждая с каждой. Сколько всего матчей будет сыграно?»

3. *Задачи, решаемые с помощью специальных эвристических приёмов* (метод «с конца», метод предположений, введение вспомогательного элемента). Решатель должен применить нестандартный, но мощный метод-подход.

- Метод «с конца» (обратный ход): «Утром в кассе было некоторое количество денег. После того как продали 12 билетов по 50 руб., в кассе оказалось 1000 руб. Сколько денег было изначально?» (Решение начинается с итоговой суммы 1000 руб., к которой «прибавляем» вырученные 600 руб.).

- Метод предположений (например, «приведение к единице»): «3 насоса за 4 часа наполнили бассейн. За сколько часов наполнят такой же бассейн 8 таких же насосов?»

- Введение вспомогательного элемента: часто используется в геометрии (провести дополнительную линию) или алгебре (ввести новую переменную).

4. *Числовые ребусы и головоломки* (магические квадраты, sudoku, криптарифмы – восстановление цифровых записей). Требуют восстановления цифр или числовых закономерностей в «зашифрованных» записях.

- Криптарифм: $SEND + MORE = MONEY$ (где разным буквам соответствуют разные цифры).

- Магический квадрат: «Расставьте числа от 1 до 9 в квадрате 3×3 так, чтобы суммы по всем строкам, столбцам и диагоналям были равны».

- Судоку: классическая числовая головоломка на размещение цифр 1-9 в сетке 9×9 с учетом блоков, строк и столбцов.

5. *Геометрические задачи* на разрезание и составление фигур, задачи на построение. Развивают «геометрическую зоркость», умение мысленно оперировать формами.

- На разрезание и составление фигур (пентамино, танграм): «Разрежьте квадрат на такие части, из которых можно сложить два меньших квадрата» (теорема Пифагора в действии).

- Задачи на построение без измерительных инструментов: «Построить биссектрису угла, имея только циркуль и линейку без делений».

- Задачи на подсчет фигур: «Сколько треугольников на данном чертеже?».

6. *Сюжетные задачи повышенной сложности*, содержащие избыточные или, наоборот, недостающие данные.

Учат критически анализировать условие, отделять существенную информацию от второстепенной.

- С избытком: «Автомобиль ехал из пункта А в Б со скоростью 60 км/ч, а обратно – со скоростью 40 км/ч. Расстояние – 120 км. Найдите среднюю скорость. Погода была солнечной». (Данные о погоде – избыточны).

- С недостатком: «Хватит ли 1000 руб., чтобы купить 5 тетрадей по цене 85 руб. за штуку?» (Не хватает данных о возможной скидке или стоимости пакета).

7. *Провоцирующие задачи («задачи-ловушки»)*, в которых стандартный, «напрашивающийся» путь приводит к ошибке. Создают психологическую установку на ошибочное, «очевидное» решение.

- Классическая ловушка: «Блокнот и ручка вместе стоят 110 руб. Блокнот дороже ручки на 100 руб. Сколько стоит ручка?» (Интуитивный ответ «10 руб.» неверен, так как тогда блокнот будет стоить 110 руб., а разница – 100 руб. Правильно: ручка – 5 руб., блокнот – 105 руб.).

- Полуобманные условия: «Встретились три путешественника. Они поздоровались за руку. Сколько всего было рукопожатий?» (Многие автоматически делят на 2, забывая, что каждый поздоровался с двумя другими, но рукопожатие А-В и В-А – одно и то же).

8. *Занимательные задачи и задачи-сказки*. Игровая форма облегчает восприятие сложной или абстрактной идеи, повышает мотивацию.

- Пример-сказка: «Иван-царевич повстречал в подземелье трехголового и пятиголового змеев. От волшебного меча у первого отлетело 2 головы, а у второго – 3. Оставшиеся головы отросли снова, но поменялись телами: на первом змее оказались головы второго, и наоборот. Сколько голов нужно теперь отрубить каждому змею, чтобы они погибли?» (Логическая суть – задача на перестановки и инвариант).

9. *Старинные и культурно-исторические задачи*, представляющие интерес с точки зрения истории науки. Связывают математику с историей, показывают эволюцию мысли.

Задача из «Арифметики» Магницкого (1703 г.): «Спросил некто учителя: сколько у тебя в классе учеников? Учитель ответил: если придет еще столько же, сколько имею, и полстолька, и четвертая часть, и твой сын, тогда будет у меня 100 учеников. Сколько было учеников?»

Задачи из папируса Ахмеса (Древний Египет): «Разделить 7 хлебов между 8 людьми поровну» (решение через дроби вида $1/2$, $1/4$, $1/8$).

Методы решения нестандартных задач. Успешное решение часто связано с применением ряда общих эвристических методов:

- *Тщательный анализ условия*, выделение ключевых данных и связей между ними.
- *Построение графических моделей*: схем, чертежей, таблиц, графов для визуализации условия.
- *Метод упорядоченного перебора* и его оптимизация (отсечение заведомо неверных вариантов).
- *Обратный ход (метод «с конца»)*, особенно эффективный для задач о действиях с объектами.
- *Введение вспомогательных элементов* (дополнительные линии в геометрии, новые переменные в алгебре).
- *Переформулировка условия* задачи на более простой или знакомый язык.
- *Поиск аналогий и закономерностей* с уже решёнными задачами.

Методика включения нестандартных задач в учебный процесс:

– *Учёт возрастных особенностей*: для младших школьников – занимательные сюжетные задачи, головоломки; для средней школы – логические и комбинаторные задачи; для старшеклассников – задачи с параметрами, доказательные задачи, сложные комбинации методов [3].

– *Место на уроке*: разминка в начале урока, проблемное введение новой темы, этап закрепления, домашнее задание исследовательского характера.

– *Дифференциация*: подбор задач разного уровня сложности для групп учащихся с разной подготовкой.

– *Организация работы*: индивидуальное решение, обсуждение в парах или малых группах с последующей презентацией различных стратегий.

– *Использование ИКТ*: онлайн-платформы с интерактивными головоломками, математические квесты, специализированное программное обеспечение для моделирования.

Ошибки и трудности учащихся. Роль учителя

Типичные трудности:

- Неверная интерпретация или неполное понимание условия.
- Попытка применить неподходящий шаблон.
- Неорганизованный, избыточный перебор вариантов.
- Неумение проверить полученное решение на адекватность.

Роль учителя заключается не в предоставлении готового решения, а в грамотном фасилитации процесса:

- Задавание наводящих и проблемных вопросов.

– Создание «ситуации успеха» через дозированную помощь.

– Организация рефлексии: обсуждение не только результата, но и хода решения, возникших трудностей и найденных способов их преодоления.

Образовательная ценность нестандартных задач. Систематическая работа с нестандартными задачами способствует достижению важных образовательных результатов:

– *Метапредметные результаты:* развитие умений планировать деятельность, контролировать процесс решения, оценивать правильность и рациональность подхода.

– *Личностные результаты:* формирование познавательной мотивации, уверенности в своих силах при столкновении с новыми проблемами, готовности к интеллектуальному труду и преодолению трудностей.

– *Прикладное значение:* моделирование ситуации поиска решения в условиях неполной информации, что напрямую связано с решением реальных жизненных и профессиональных задач [4].

Примеры задач с разбором решений

Задача 1 (на делимость). Доказать, что если из трёхзначного числа вычесть трёхзначное число, записанное теми же цифрами, но в обратном порядке, то модуль полученной разности будет делиться на 9 и на 11 [2].

Решение:

Пусть исходное число имеет вид $100a + 10b + c$, где a, b, c – цифры, причём $a \neq 0$. Число в обратном порядке: $100c + 10b + a$. Найдём разность:

$$100a + 10b + c - 100c - 10b - a = 99a - 99c = 99(a - c).$$

Число $99(a - c)$ делится на 99. Поскольку $99 = 9 \cdot 11$, то разность делится и на 9, и на 11. Модуль разности обладает тем же свойством.

Задача 2 (алгебраическое тождество). Доказать равенство: $(a + b + c)^3 - a^3 - b^3 - c^3 = 3(a + b)(b + c)(c + a)$.

Решение:

Преобразуем левую часть, группируя слагаемые и применяя формулы разности и суммы кубов:

$$\begin{aligned}(a + b + c)^3 - a^3 - b^3 - c^3 &= ((a + b + c)^3 - a^3) - (b^3 + c^3) = (a + b + c - a)((a + b + c)^2 + a(a + b + c) + a^2) - (b + c)(b^2 - bc + c^2) = \\&= (b + c)((a + b + c)^2 + a(a + b + c) + a^2 - b^2 + bc - c^2) = (b + c)(a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc + a^2 + ab + \\&+ ac + a^2 - b^2 + bc - c^2) = (b + c)(3a^2 + 3ab + 3ac + 3bc) = 3(b + c)(a(a + b) + \\&+ c(a + b)) = 3(a + b)(b + c)(a + c).\end{aligned}$$

Равенство доказано.

Задача 3.

Доказать, что число $333^{555} + 555^{333}$ делится на 37.

Решение:

$$333^{555} + 555^{333} = (37 \cdot 9)^{555} + (37 \cdot 15)^{333} = 37^{555} \cdot 9^{555} + 37^{333} \cdot 15^{333} = 37(37^{554} \cdot 9^{555} + 37^{332} \cdot 15^{333})$$

Очевидно, что $37(37^{554} \cdot 9^{555} + 37^{332} \cdot 15^{333})$ делится на 37.

Заключение. Нестандартные задачи являются незаменимым инструментом современного математического образования. Они развивают гибкость ума, творческое начало, умение работать в условиях неопределённости, что крайне важно в быстро меняющемся мире. Внедрение таких задач в школьную практику требует от учителя системного подхода: от тщательного отбора и классификации заданий до создания в классе атмосферы, поощряющей исследование, дискуссию и интеллектуальный риск. Регулярная работа с нестандартными задачами готовит учащихся не только к успешной сдаче экзаменов и участию в олимпиадах, но и формирует фундамент для непрерывного обучения и успешной адаптации к будущим профессиональным вызовам.

Литература

1. Аветикян Ш.С. Нестандартные задачи по математике как средство развития способностей обучающихся // Наука на благо человечества – 2016: Материалы ежегодной всероссийской научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов посвященной 85-летию МГОУ: Физико-математический факультет (Москва, 01–29 апреля 2016 года). М.: Московский государственный областной университет, 2016. С. 4-6.
2. Копыткова Л.Б., Копытков О.Б., Фурсов А.А. Теоретико-числовые методы в решении задач школьной математики // Математические методы и информационно-технические средства: Материалы XIX Международной научно-практической конференции (Краснодар, 22 июня 2023 года). Краснодар: Краснодарский Университет МВД России, 2023. С. 133-138.
3. Прокопова Д.И. Педагогические рекомендации по подготовке детей младшего школьного возраста к олимпиадам по математике // Педагогический поиск. 2021. № 3. С. 6-10.
4. Сальникова А.С. Предпосылки формирования исследовательских умений учащихся в школьном математическом образовании // Осовские педагогические чтения «Образование в современном мире: новое время – новые решения». 2024. № 1. С. 419-424.
5. Стерхов А.П. Использование эффективных образовательных технологий при решении нестандартных задач // Проблемы учебного процесса в инновационных школах: Сборник научных трудов. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2024. С. 128-135.

© Попова А.А., Фоминых С.О., 2026

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Асфаганов А.А.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Электродинамика относится к числу базовых направлений физической науки, составляющим базу для функционирования телекоммуникационных систем, спутниковой навигации, устройств радиолокации, средств зондирования земной поверхности и полупроводниковой электроники. Принципы электромагнетизма диктуют условия передачи сигналов, особенности работы антенных структур, волноведущих трактов, измерительных преобразователей и разнообразных электронных узлов, что придаёт данной дисциплине особый вес как в теоретических изысканиях, так и в повседневной проектной деятельности. По мере ускорения технического прогресса и роста сложности аппаратуры всё более востребованным становится детальное описание электромагнитных явлений в реальных материальных средах, принимающее во внимание их характеристики и конфигурацию [7].

Современные инженерные проблемы отличаются присутствием изрезанных границ, композитных материалов и нестационарных режимов, из-за чего получение строгих аналитических выражений крайне затруднительно. Классические приёмы решения уравнений поля зачастую работают лишь для упрощённых ситуаций, тогда как практические конструкции требуют более адаптивных и универсальных способов расчёта. В связи с этим повышается значимость математических алгоритмов, которые дают возможность трансформировать физическую формулировку задачи в вычислительную схему, выполнять численные эксперименты и извлекать данные, необходимые для реальных научных и инженерных целей [1].

Современная методология исследования электромагнитных процессов строится вокруг математического моделирования, которое играет роль не просто инструмента анализа, но и самостоятельного научного направления. Математическая модель помогает структурировать физическое явление, выделить его существенные факторы и проследить, как они сказываются на конфигурации полей. Использование моделей позволяет учесть замысловатую форму объектов, непостоянство свойств среды и временные изменения поля, что имеет первостепенное значение для изучения высокочастотных и быстропротекающих электромагнитных событий [3; 7].

Помимо этого, математическое моделирование помогает улучшать конструкции аппаратуры, даёт возможность ставить виртуальные опыты и сокращает потребность в дорогостоящих натурных испытаниях. Благодаря прогрессу вычислительной техники стало

доступным исследование объёмных задач, описание распространения волн в неоднородных средах и предсказание поведения электромагнитных устройств в разных режимах работы. Перечисленные обстоятельства превращают математические методы в необходимый компонент современной электродинамики и важный элемент как исследовательской, так и учебной деятельности [1].

Математическая модель, описывающая электромагнитный процесс, представляет собой совокупность уравнений, которые отражают распределение электрических и магнитных полей во времени и пространстве, а также их взаимное влияние с материальной средой. Основой таких моделей остаются уравнения Максвелла, устанавливающие связь между источниками возбуждения, параметрами материалов (диэлектрической и магнитной восприимчивостью, удельной проводимостью) и геометрией рассматриваемой области. Например, при изучении прохождения радиоволн через атмосферу с помощью модели можно установить, как меняется амплитуда и фаза колебаний с расстоянием и состоянием среды, – это критически важно для связи и навигационных систем [6].

Главная сложность при электродинамическом моделировании – это необходимость одновременно учитывать множество факторов: как поле распределено в пространстве, как оно меняется во времени, и что происходит на границах разных сред. Например, когда изучаешь электрическое поле возле проводника, форма и размеры объекта выходят на первый план – даже небольшое изменение геометрии способно кардинально перекроить картину поля. То же самое с антеннами: чтобы получить адекватную модель, нельзя игнорировать отражения волн от металла и влияние того, что находится рядом, поэтому без правильных граничных условий здесь просто не обойтись.

В зависимости от того, с какой скоростью и периодичностью меняются процессы, подбирают и тип модели. Если мы имеем дело с низкими частотами или цепями, где поля изменяются плавно, подойдут квазистатические модели – волновыми эффектами там можно смело пренебречь. Для периодических процессов вроде колебаний в резонаторе лучше использовать гармонические модели. А вот когда задача касается высоких частот, например расчёта направленности антенны или поведения волны в волноводе, приходится подключать полноволновые модели – они учитывают всё, включая мельчайшие детали распространения сигнала.

Математическое моделирование позволяет перейти от качественного физического описания явления к строгой формализованной системе уравнений, пригодной для дальнейшего анализа и численного расчёта. Например, при проектировании микрополосковых антенн сначала формируется физическая модель устройства, затем записываются уравнения Максвелла с учётом параметров подложки и геометрии проводников, после чего задача решается с использованием численных методов. Подобный подход широко применяется и в образовательной практике: студенты могут исследовать влияние частоты сигнала или размеров проводника на распределение поля, не проводя сложные физические эксперименты. Таким образом, математические модели выступают универсальным инструментом

исследования, позволяющим изучать электромагнитные процессы как в научных, так и в прикладных задачах [2].

Решение задач электродинамики осуществляется с использованием аналитических и численных методов, выбор которых определяется сложностью рассматриваемой системы и условиями задачи. Аналитические методы позволяют получать точные решения при упрощённых предположениях, например при наличии симметрии, однородной среды или простых граничных условий. К таким методам относятся разделение переменных, использование потенциалов и функций Грина. Так, метод разделения переменных применяется при исследовании распространения электромагнитной волны в идеальном волноводе или при анализе колебаний в резонаторе с регулярной геометрией. Использование скалярного и векторного потенциалов позволяет упростить запись уравнений Максвелла, что особенно удобно при расчёте магнитного поля токового контура. Метод функций Грина применяется, например, при вычислении поля точечного источника или распределённого заряда в однородной среде, позволяя получить аналитическое выражение для потенциала.

Однако реальные технические системы, такие как антенны сложной формы, микрополосковые линии передачи или электронные устройства с неоднородной структурой материалов, характеризуются сложной геометрией и неоднородными параметрами среды. В таких условиях аналитические методы становятся недостаточными, что требует применения численных подходов. Среди наиболее распространённых можно выделить метод конечных разностей, метод конечных элементов и метод моментов. Метод конечных разностей широко используется для моделирования распространения электромагнитных волн во времени; например, он позволяет исследовать отражение сигнала от границы двух сред или распространение импульса по линии передачи. Метод конечных элементов применяется при расчёте распределения электрического поля в устройствах со сложной формой, таких как датчики или резонаторы, где область разбивается на множество малых элементов, внутри которых поле аппроксимируется простыми функциями. Метод моментов часто используется при анализе антенн и проводящих структур, позволяя вычислять распределение токов на поверхности проводника и строить диаграммы направленности излучения [5].

Данные численные подходы позволяют дискретизировать пространство и свести исходные дифференциальные уравнения к системе алгебраических уравнений, пригодных для компьютерных вычислений. Например, при моделировании работы дипольной антенны сначала задаётся геометрия проводника, затем применяется метод моментов для расчёта распределения токов, после чего определяется форма излучаемого электромагнитного поля. В образовательной практике такие методы позволяют студентам исследовать влияние параметров системы – длины антенны, частоты сигнала или свойств среды – на поведение электромагнитного поля, что делает изучение электродинамики более наглядным и практико-ориентированным [4].

Выбор метода решения электродинамической задачи зависит от типа рассматриваемого процесса, диапазона частот, размеров расчётной области и требуемой точности получаемых результатов. Например, при анализе низкочастотных процессов в электрических цепях часто

применяются квазистатические модели и упрощённые аналитические методы, тогда как для исследования распространения радиоволн или работы антенн в СВЧ-диапазоне используются полноволновые численные методы. Если задача связана с объектами сложной формы, такими как микрополосковые антенны или резонаторы, предпочтение отдаётся методу конечных элементов, позволяющему учитывать особенности геометрии. В задачах распространения импульсных сигналов, например при моделировании работы линии передачи, широко применяется метод конечных разностей во временной области, позволяющий проследить изменение поля во времени.

Численные методы активно используются при анализе антенн, линий передачи, микроволновых устройств и других электромагнитных систем. Так, при проектировании дипольной антенны математическое моделирование позволяет определить оптимальную длину проводника и форму диаграммы направленности без проведения дорогостоящих экспериментов. В микроволновой технике численные расчёты применяются для анализа распределения поля в волноводах и фильтрах, что помогает уменьшить потери сигнала и повысить эффективность устройства. Аналогично, при разработке печатных плат моделирование электромагнитных полей позволяет заранее выявить возможные источники помех и повысить электромагнитную совместимость системы [2].

Применение математических методов открывает возможность исследования широкого спектра прикладных задач. Например, моделирование распространения электромагнитных волн в различных средах – воздухе, диэлектриках или проводящих материалах – даёт возможность оценить затухание сигнала, скорость распространения волны и влияние параметров материала на его характеристики. Такой подход используется при разработке систем беспроводной связи и радиолокации. Анализ электрического поля вблизи проводников применяется при проектировании сенсорных устройств, кабельных линий и электронных модулей, где важно предотвратить перегрев и минимизировать потери энергии. В образовательной практике подобные задачи позволяют студентам наглядно увидеть зависимость распределения поля от формы и размеров проводника.

Таблица 1

Примеры применения математических методов в прикладных задачах электродинамики

№	Прикладная задача	Используемый метод	Что рассчитывается	Пример лабораторного или практического результата
1	Распространение электромагнитной волны в однородной среде	Метод конечных разностей (FDTD)	Амплитуда и скорость распространения волны	Сравнение расчётной длины волны с измерениями на учебной установке
2	Электрическое поле около проводника	Аналитический метод потенциалов	Напряжённость электрического поля	Измерение распределения потенциала вдоль проводника
3	Работа дипольной антенны	Метод моментов (MoM)	Диаграмма направленности, токи на проводнике	Сравнение расчётной и экспериментальной диаграммы излучения

4	Волновод или линия передачи	Метод конечных элементов (FEM)	Распределение поля внутри структуры	Проверка резонансной частоты в лабораторной работе
5	Электромагнитная совместимость печатной платы	Численное моделирование	Уровень электромагнитных помех	Сравнение моделирования с измерениями осциллографом

Процесс решения прикладной задачи обычно включает несколько последовательных этапов: постановку физической модели, выбор математического аппарата и проведение расчётов. Например, при исследовании линии передачи сначала задаются параметры источника сигнала и характеристики среды, затем выбирается численный метод для расчёта поля, после чего выполняется моделирование и строятся графики зависимости напряжённости поля от расстояния. И финальный этап, когда расчёты уже готовы, – это взгляд на результат с точки зрения физики. Здесь смотрят, как частота сигнала, длина проводника или свойства материала повлияли на итоговые цифры. Это нужно не просто так, а чтобы понять: а верную ли мы вообще модель выбрали? Не закралась ли где ошибка? И куда двигаться дальше, чтобы уточнить расчёты.

После того как данные получены, обязательно сверяют теорию с практикой – проверяют, насколько модель адекватна реальности. Другими словами, сопоставляют цифры из компьютера с тем, что получается в лаборатории. Если есть расхождения, это повод разобраться, где мы просчитались и насколько точной получилась наша модель. Например, при моделировании распределения электрического поля вокруг проводника расчётные значения напряжённости могут отличаться от измеренных из-за упрощённого описания геометрии объекта или идеализации свойств среды. Аналогично, при исследовании линии передачи расхождения могут быть связаны с потерями энергии в реальных проводниках или влиянием внешних электромагнитных помех. К основным причинам различий между расчётными и экспериментальными результатами относятся допущения, принятые при построении модели, погрешности измерительных приборов, а также влияние внешних факторов – температуры, влажности или неоднородности материала.

Практика показывает, что даже упрощённые математические модели способны достаточно точно описывать реальные электромагнитные процессы. Так, при анализе работы дипольной антенны использование идеализированной модели проводника позволяет получить корректное представление о форме диаграммы направленности и зависимости характеристик излучения от частоты сигнала. В вузовских лабораториях по электродинамике студентам предлагают не просто поверить формулам на слово, а проверить их на практике. Например, рассчитать резонансную частоту или напряжённость поля, а потом пойти в лабораторию и измерить то же самое на реальной установке. И тут самое интересное: цифры из расчётов почти всегда попадают в точку, расхождения – в пределах погрешности. Это ли не лучшее доказательство того, что математика работает и отлично описывает реальную физику?

Если подвести итог, то математическое моделирование сегодня – это основа и для понимания электромагнитных процессов, и для разработки конкретных устройств. Уравнения Максвелла в связке с современными численными методами позволяют заглянуть туда, где

эксперимент поставить сложно или дорого: спрогнозировать, как поведёт себя поле, и подобрать оптимальные параметры будущего прибора. Кстати, без этого сейчас не обходится ни проектирование антенн для связи, ни настройка микроволновых резонаторов, ни проверка электроники на электромагнитную совместимость – везде сначала всё просчитывают, а уже потом собирают.

Например, численное моделирование применяется при проектировании антенн для систем связи, анализе распределения поля в микроволновых резонаторах и исследовании электромагнитной совместимости электронных устройств. Сопоставление расчётных и экспериментальных данных подтверждает адекватность применяемых моделей и демонстрирует перспективность дальнейшего развития численных методов в области электродинамики. Полученные результаты могут быть использованы не только в инженерной практике, но и в образовательном процессе при подготовке студентов физико-математического направления, поскольку позволяют наглядно показать связь между теоретическими закономерностями и реальными физическими экспериментами.

Литература

1. Дифференциальные уравнения и математическое моделирование: Межвузовский сборник научных трудов. Рязань: Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, 2025. 88 с.
2. Завьялова О.С., Лучин В.Л., Савченко Е.В., Дегтяр А.Д. Важность математического моделирования при решении задач по курсу общей физики для студентов – будущих программистов // Modern Science. 2022. № 4-3. С. 221-225.
3. Кунсбаева Г.А. Использование цифровой лаборатории Pasco в процессе профессиональной подготовки будущих учителей физики //Актуальные вопросы высшего образования – 2024: материалы Международной научно-методической конференции (Октябрьский, 25 октября 2024 года). Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2024. С. 137-142.
4. Кунсбаева, Г.А. Физика и искусственный интеллект симбиоз технологий и образования // Актуальные вопросы высшего образования – 2025: Материалы Международной научно-методической конференции (Октябрьский, 24 октября 2025 года). Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2025. С. 101-104. EDN GHFICD.
5. Лапичева М.С. Основные теоретические положения о диофантовых уравнениях высших порядков // Инновационные процессы в науке и технике XXI века : материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков (Нижневартовск, 25 апреля 2025 года). Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. С. 253-257.
6. Михайлов И.О. Трехмерное компьютерное моделирование процесса распространения электромагнитной волны в сверхчувствительном нанофотонном микродатчике давления // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: XXVIII Международный симпозиум (Томск, 04–08 июля 2022 года). Томск: Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. С. 15-19.
<https://doi.org/10.56820/OAOPA.2022.58.82.003>

7. Прохода И.А. Математические модели в прикладных задачах: применение и построение // Достижения науки и технологий-ДНиТ-11-2023: Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции (Красноярск, 27–28 февраля 2023 года). Вып. 7. Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2023. С. 184-187.

8. Хуснутдинов С.Н. От теории к практике: преимущества виртуальных лабораторий в изучении физики // Образование и наука в XXI веке: математика, физика, информатика и технологии в смарт-мире: сборник статей по итогам Всероссийской конференции с международным участием (Красноярск, 21–22 мая 2025 года). Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2025. С. 322-325.

© Асфаганов А., 2026

Барышева П.А.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ
ПРОЕКТНЫХ УМЕНИЙ ПОДРОСТКОВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Современное образование в России претерпевает значительные изменения, связанные с необходимостью подготовки выпускников к жизни в динамично меняющемся, информационно насыщенном мире. Главным результатом обучения становится не просто сумма усвоенных знаний, а способность личности к самоорганизации, саморазвитию и эффективному решению практических задач [3]. Ключевую роль в этом процессе играет формирование проектных умений, которые закреплены Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) в качестве обязательных метапредметных результатов освоения основной образовательной программы. Особую значимость развитие этих умений приобретает в 8–9 классах – на этапе активного личностного и профессионального самоопределения подростков. Одной из перспективных образовательных сред для этого являются занятия робототехникой, а оптимальной организационной формой – элективный курс [2; 8; 10]. В данной статье обобщены теоретические положения первых двух параграфов выпускной квалификационной работы, посвященных характеристике процесса развития проектных умений и описанию возможностей элективных курсов.

Требования современного общества к личности, способной к быстрой адаптации и эффективной организации деятельности, находят прямое отражение в образовательных стандартах. ФГОС основного общего образования устанавливает, что метапредметные результаты, включающие освоение межпредметных понятий и универсальных учебных действий (регулятивных, познавательных, коммуникативных), являются обязательным компонентом образовательной программы. Более того, защита итогового индивидуального проекта определена как основная процедура итоговой оценки достижения этих результатов [1]. Это нормативно закрепляет необходимость целенаправленного формирования у школьников таких умений, как: способность идентифицировать проблему и находить пути её решения (проблемно-решающие умения); способность проектировать и планировать свою деятельность (регулятивные УУД); способность структурировать информацию, публично представлять результаты и участвовать в дискуссии (коммуникативно-презентационные умения).

Анализ педагогической литературы показывает многообразие подходов к определению понятия «проектные умения». В таблице представлены ключевые позиции различных авторов.

Таблица

Ключевые позиции к определению понятия «проектные умения» различных авторов

Автор	Определение	Акцент
Алисиевич Е.П.	Освоенные личностью способы выполнения проектной деятельности на основе знаний и осознания условий достижения цели.	Личностное освоение, осознанность, когнитивный компонент.

Макарова Д.В.	Последовательность практических действий по планированию, организации, созданию и презентации субъективно нового продукта.	Практико-ориентированность, процессуальность, конкретность действий.
Тигров С.В.	Группа умений, общих по отношению к проектной деятельности, целью которой является построение технологического процесса по конструированию и изготовлению изделий.	Технократический, инженерный уклон; ориентация на материальный продукт.
Никонова Т.В.	Способность к целенаправленной планомерной технологической деятельности по преобразованию объекта (среды, системы) в процессе проектирования.	Системно-деятельностный подход, преобразующий характер, метапредметность.

Наиболее полным и соответствующим современным образовательным реалиям представляется определение Никоновой Т.В., которое синтезирует ключевые идеи других авторов. Оно подчеркивает не просто набор действий, а внутреннюю способность личности к целенаправленному и структурированному преобразованию действительности, что выводит проектные умения на уровень метапредметных компетенций, применимых в любой сфере человеческой практики [3].

Ключевым фактором, определяющим специфику развития проектных умений, являются возрастные особенности учащихся. Период обучения в 8–9 классах совпадает с завершением подросткового возраста и переходом к ранней юности. Это время глубинных личностных преобразований: от интимно-личностного общения как ведущей деятельности к доминированию профессионального и личностного самоопределения.

Развитие проектных умений в этот период проходит два качественно различных этапа. В 8 классе проектная деятельность выступает «лабораторией» для самопознания и социального экспериментирования. Благодаря развитию гипотетико-дедуктивного мышления, учащиеся способны выдвигать и проверять сложные гипотезы. Ведущая роль общения делает наиболее востребованными групповые, часто социально значимые проекты, где процесс взаимодействия и рефлексии не менее важен, чем результат. Подростки учатся распределять роли, договариваться, преодолевать конфликты и тренировать волевые качества, удерживая долгосрочные цели.

В 9 классе проектная деятельность трансформируется в инструмент жизненного самоопределения. На первый план выходит практическая направленность и личностный смысл. Учащиеся выбирают темы, связанные с будущей профессией, что повышает интерес к прикладным и техническим проектам. Индивидуальные проекты или лидерство в группе становятся предпочтительнее, так как позволяют утвердить свою самостоятельность и ответственность. Коммуникация приобретает характер делового партнерства, а роль учителя смещается к консультированию. Таким образом, эволюция мотивации от «интереса к процессу» к «личностному смыслу» делает проектную деятельность мощным психолого-педагогическим инструментом сопровождения взросления.

Реализация задач профильного обучения и предпрофильной подготовки в современной школе невозможна без использования элективных курсов (курсов по выбору) [10]. Они представляют собой обязательные для посещения учебные предметы, которые учащиеся

выбирают самостоятельно из вариативной части учебного плана, что является прямым воплощением принципов индивидуализации и дифференциации образования [11].

Элективные курсы призваны компенсировать ограниченные возможности базовых и профильных предметов. Основные цели их введения включают: создание условий для построения индивидуальных образовательных траекторий, углубленное изучение отдельных дисциплин, расширение возможностей социализации и подготовку к освоению программ профессионального образования. Нормативно продолжительность таких курсов, как правило, ограничена 72 часами, а для предпрофильной подготовки в 9 классе особое значение приобретают краткосрочные курсы (от 6 до 36 часов), позволяющие школьнику на практике «примерить» различные виды деятельности.

В педагогической теории принято выделять несколько типов элективных курсов:

1. Предметные курсы, направленные на углубление и расширение знаний по конкретному учебному предмету [12].
2. Межпредметные (интегрированные) курсы, формирующие целостную картину мира и требующие применения знаний из разных областей [6; 7].
3. Курсы по предметам, не входящим в базисный учебный план, удовлетворяющие познавательные интересы учащихся за рамками стандартной программы и имеющие профориентационную направленность [13].

В соответствии с типами определяются и ключевые функции элективных курсов: компенсаторно-углубляющая, интегрирующая, профориентационная и социализирующая, а также индивидуализирующая [10]. Эффективность реализации этих функций напрямую зависит от соблюдения ряда педагогических требований. Важнейшим из них является принцип избыточности и вариативности, предполагающий наличие у школьника реального выбора. Обязательным условием также выступает применение современных образовательных технологий, в первую очередь информационно-коммуникационных (ИКТ), а также активных и интерактивных форм обучения (работа в группах, деловые игры, тренинги, проектная деятельность) [5; 11]. Содержание курса должно обладать социальной и личностной значимостью, а его методическое обеспечение – включать не только программу, но и пособия для самостоятельной работы учащихся [4].

Особого внимания требует система оценивания на элективных курсах. Она отличается от традиционной и направлена не столько на проверку усвоенных знаний, сколько на диагностику приобретенного опыта и сформированных компетенций. В качестве оценочных процедур рекомендуется использовать защиту проектов, презентации, портфолио, решение кейсов. Итоговая зачетная работа должна демонстрировать практические навыки и личностный рост ученика, способствуя его дальнейшей профориентации.

Проведенный теоретический анализ позволяет сделать вывод о глубокой внутренней связи между психолого-педагогическими характеристиками учащихся 8–9 классов, структурой проектных умений и возможностями элективного курса как формы обучения.

Развитие проектных умений не может происходить стихийно. Оно требует создания специальных условий, учитывающих, с одной стороны, нормативные требования ФГОС к

метапредметным результатам (проблемно-решающие, регулятивные, коммуникативные умения), а с другой – возрастные задачи подростков [1; 3]. Для 8 класса это возможность социального взаимодействия и самопознания в групповых проектах, для 9 класса – апробация своих сил в индивидуальной, профессионально-ориентированной деятельности.

Элективный курс, благодаря своей вариативности, практической направленности и возможности применения активных методов обучения, является идеальной организационной формой для реализации этих задач [10]. Он позволяет выйти за рамки традиционного урока и создать среду, максимально приближенную к реальной проектной деятельности.

Особый синтез этих двух теоретических линий происходит в рамках элективного курса по робототехнике. Робототехника как образовательная область обладает уникальным интегративным потенциалом [2; 9]. Процесс создания робота от идеи до действующей модели требует реализации всего спектра проектных умений: от анализа проблемы и планирования (регулятивные УУД) до программирования, тестирования и публичной защиты готового продукта (познавательные и коммуникативные УУД) [8].

Таким образом, именно разработка и внедрение методики развития проектных умений в рамках элективного курса по робототехнике позволяет органично соединить требования стандарта, возрастные потребности учащихся и высокий образовательный потенциал современной технологической дисциплины, что и является целью данного исследования.

Литература

1. Абишева И.В. Современное состояние изученности проектных умений младших школьников // Актуальные проблемы педагогических исследований. Материалы XVII Аспирантских чтений. Минск, 2021. С. 192-199.
2. Галкина В.М. Проектная деятельность на занятиях по робототехнике // Вестник науки и образования. 2019. № 16(70). С. 55-57.
3. Елизарова Е.А. Закономерности организации проектной деятельности. Педагогические условия формирования проектных умений // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Психолого-педагогич. науки. 2014. № 1(21). <https://clck.ru/3TvQvP>
4. Королев А.Л. Компьютерное моделирование. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. С. 10.
5. Кунсбаева Г.А., Виниченко А.С. Использование среды Scratch в кружке по информатике для развития навыков программирования у обучающихся 7 класса // Цифровые инструменты в образовании: сборник статей по материалам III Всероссийской научно-практической конференции (Сургут, 05 апреля 2025 года). Сургут: Сургутский государственный педагогический университет, 2025. С. 56-61.
6. Кунсбаева Г.А. Физика и искусственный интеллект симбиоз технологий и образования // Актуальные вопросы высшего образования – 2025: Материалы Международной научно-методической конференции (Октябрьский, 24 октября 2025 года). Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2025. С. 101-104.

7. Лапичева М.С. Основные теоретические положения о диофантовых уравнениях высших порядков // Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков (Нижневартовск, 25 апреля 2025 года). Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. С. 253-257.
8. Лукина Т.Н., Дьячковская И.А. Проектная деятельность на занятиях по робототехнике // Заметки ученого. 2021. № 6-1. С. 285-288.
9. Майер Е.И. Робототехника в проектной деятельности школьников // Молодой ученый. 2018. № 37 (223). С. 166-167.
10. Полещук В.А., Полещук А.С. Особенности элективных курсов и их влияние на профессионализацию // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. Т. 26. С. 46-50.
11. Селевко Г.К. Педагогические технологии на основе дидактического и методического усовершенствования УВП. М.: НИИ школьных технологий, 2005. 288 с.
12. Хабибуллина Г.З. Основные проблемы использования компьютерных технологий в преподавании математики в вузах // Казанский педагогический журнал. 2014. №1(102). С. 75–80.
13. Хуснутдинов С.Н. От теории к практике: преимущества виртуальных лабораторий в изучении физики // Образование и наука в XXI веке: математика, физика, информатика и технологии в смарт-мире: сборник статей по итогам Всероссийской конференции с международным участием (Красноярск, 21–22 мая 2025 года). Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2025. С. 322-325.

© Барышева П.А., 2026

Ботандаева В.С.Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова
г. Абакан, Россия**ЧИСЛА И КУЛЬТУРА: ЭЛЕМЕНТЫ ЭТНОМАТЕМАТИКИ ХАКАССКОГО НАРОДА**

В статье представлен комплексный анализ становления и эволюции математического сознания хакасского этноса от древности до современности. На стыке истории, лингвистики и этнографии исследуются специфические формы этноматематики: традиционные системы счисления скотоводческих сообществ и семантическое поле чисел в хакасском языке. Особое внимание уделено тому, что число в хакасской культуре выступает не только инструментом счета, но и «когнитивным кодом», отражающим мировоззренческие установки и морально-этические устои народа. Особое внимание уделено этимологии и символическому наполнению числового ряда от 1 до 9. В работе также рассматривается прагматический аспект математических знаний в традиционном быту и обосновывается необходимость интеграции этнокультурного компонента в современное школьное образование. Результаты исследования направлены на актуализацию культурного наследия Сибири и расширение методологической базы этноматематических исследований.

Исторический путь хакасского народа охватывает длительную хронологию, начавшуюся ещё в древние времена и продолжающуюся вплоть до настоящего момента. Каждое историческое событие оставляло заметный отпечаток на развитии национальной культуры и языка хакасов. Именно изучение прошлого помогает лучше осмыслить разнообразие и глубину культурной эволюции, протекавшей на огромной территории современной России [1].

Республика Хакасия расположена в центральной части Сибири и известна своим богатейшим культурно-историческим наследием, сформировавшимся под воздействием множества факторов, влияющих на развитие математических концепций среди местного населения.

По данным на 1 февраля 2025 года, численность хакасов в Республике Хакасия – 64 111 человек. Многие из них говорят на родном языке – хакасском. Современные демографические показатели подтверждают наличие значительного количества представителей хакасского этноса в регионе, сохраняющих своё родное языковое пространство и культурные традиции даже спустя десятилетия после официального принятия христианства в конце XIX века. Хакасский народ в основном проживал в юртах – это жилища круглой формы с печкой в центре избы. Войлочные и берестяные жилища для кочевых семей, и деревянные для оседлых [3].

Несмотря на универсальный характер общего образования, в современной школьной практике наблюдается дефицит этнокультурного компонента в преподавании точных наук. Следовательно, складывается ситуация, когда восприятие математики ограничивается рамками абстрактных формул и уравнений, отчего теряется представление о роли региона в общем процессе становления научной мысли.

Исходя из вышесказанного, автор предлагает возродить интерес к историко-культурному наследию хакасского народа на уроках математики в школе, стимулируя дальнейшее углубленное изучение проблем этноматематики. Данный подход расширит перспективы школьных образовательных программ, обогатив учебный материал элементами регионального и национального характера [4].

Необходимо подчеркнуть, что числа, используемые в хакасском языке, несут глубокий культурный подтекст. Например:

- единица воплощает собой индивидуальность и стремление к лидерству;
- двойка олицетворяет идею партнерства и сотрудничества;
- тройка связана с творческим потенциалом и коммуникабельностью;
- четверка является символом устойчивости и порядка;
- пятерка отражает любовь к свободе и приключениям;
- шестерка – заботу о семье и близких людях;
- семерка служит образом духовного познания и мудрости;
- восьмерка означает богатство и успехи в профессиональной сфере;
- девятка знаменует завершённость жизненного цикла и личностный рост [2].

Далее будут детально рассмотрены ключевые аспекты проведенного анализа.

Единица («пир») символизирует начало пути, независимость и уверенность в себе. Исторически этот термин мог происходить от глаголов, связанных с огнем и светом, подчеркивающих жизненную энергию и активность.

Двойка («ики») ассоциируется с идеей взаимного уважения и сотрудничества. Термин восходит к словам, имеющим отношение к чувствам и эмоциям, таким как теплота и близость.

Тройка («юс») отражает творческий потенциал и умение общаться. Этимология термина перекликается с понятиями мастерства и вершины достижений.

Четверка («тёрть») является символом стабильности и организованности. Глаголы, близкие по звучанию, связаны с актом рождения и продолжения рода.

Пятерка («пис») означает движение вперед и открытость новому опыту. Имя этого числа встречается в словах, относящихся к различным действиям и движениям.

Шестерка («алты») закрепляет идеи заботы о ближних и семейных узах. Название соответствует слову, обозначающему нижнюю поверхность предметов.

Семерка («чити») связана с поиском истины и стремлением к духовной зрелости. Семантически близко понятие завершения пути и приобретения опыта.



- Восьмерка («сигис») выражает идею материального благополучия и карьерного роста. Название числа совпадает с глаголами, передающими процессы соединения и взаимодействия.

- Девятка («тогыс») выступает символом мудрости и трансформации. Ее происхождение может иметь тесную связь с работой и деятельностью, направленной на достижение цели [5].

Все приведенные наблюдения свидетельствуют о глубоких связях между языком, культурой и пониманием мира у хакасов. Подобные исследования помогают сформировать целостное видение природы происхождения и распространения математических представлений, существующих в национальных культурах. Поэтому одной из приоритетных задач современного педагогического процесса должно стать включение региональных особенностей в образовательную программу по математике. Это может помочь формированию глубокого понимания учениками ценности родного языка и культуры в освоении научного материала.

Обобщив сказанное, можно заключить, что исследование значений чисел в хакасском языке раскрывает огромный пласт исторической и культурной информации, позволяющий увидеть, насколько тесно переплетены наука и культура. Такое знание способно внести значительный вклад в создание учебно-методических комплексов, направленных на ознакомление молодежи с богатыми традициями своих предков и укрепление чувства гордости за национальную принадлежность к родному региону.

Литература

1. Бутонаев В.Я. Происхождение хакасов по данным этнонимии // Историческая этнография: традиции и современность. Л., 1983. С. 79, 114.
2. Мир в миниатюре. Хакасские юрты. URL: <https://clck.ru/3ThgbE> (дата обращения: 03.05.2025)
3. Опыт реконструкции нумерологических оснований традиционного мировоззрения хакасов. URL: <https://clck.ru/3Thgas> (дата обращения: 03.08.2025).
4. Петров А.С. Числовые системы и их применение в народной практике: хакасский пример // Известия Восточно-Сибирского государственного университета, 2020. 8(3), С. 77-89.
5. Символика чисел в хакасском и тувинском языках (на материале фольклорных текстов). URL: <https://clck.ru/3ThgaF> (дата обращения: 03.01.2025).

© Ботандаева В.С., 2026

Демирчян Т.А., Кальсин И.В., Высоцкая Д.А.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск, Россия

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИКИ: ИНТЕГРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ГРАФИКОВ И 3D-МОДЕЛЕЙ В ПОДГОТОВКУ ИНЖЕНЕРОВ

Актуальность исследования

Цифровая трансформация образования обусловливается необходимостью обновления методических подходов к преподаванию фундаментальных дисциплин. Высшая математика занимает ключевое место в системе подготовки инженеров, формируя аналитическое мышление, способность к моделированию и интерпретацию технических процессов. Вместе с тем абстрактность понятий математического анализа и линейной алгебры часто вызывает затруднения у студентов технических направлений.

Современные исследования в области цифрового обучения подчеркивают, что использование интерактивных и динамических средств представления информации способствует формированию устойчивых умственных связей и повышению мотивации обучающихся [1]. В условиях активного внедрения цифровых образовательных платформ проблема интеграции инструментов визуализации в преподавание математики приобретает особую актуальность.

Следовательно, исследование методических возможностей динамических графиков и трехмерных моделей в инженерном образовании является своевременным и практически значимым.

Значимость и цель

Высшая математика является фундаментальной дисциплиной инженерной подготовки. Однако абстрактный характер понятий математического анализа и линейной алгебры затрудняет формирование устойчивого понимания без опоры на визуальные модели [1].

Современные цифровые среды позволяют реализовать принцип динамической математики, при котором объект исследования изменяется в реальном времени в ответ на модификацию параметров. Это усиливает когнитивные связи и способствует развитию математического мышления студентов [2; 3].

Особое значение визуализация приобретает при изучении пределов и непрерывности. Графическое представление функции позволяет интерпретировать предельный переход как процесс приближения значений, а не как формальную запись ε - δ определения.

Геометрический смысл производной раскрывается через построение касательной. Сопоставление графика функции и её производной позволяет выявить закономерности возрастания и убывания функции [4].

В линейной алгебре визуализация облегчает понимание операций над векторами и действия линейных операторов. Пространственные преобразования становятся наглядными через анимацию движения множества точек [5].

Методически оправданным является поэтапное внедрение визуальных инструментов: демонстрация, самостоятельное исследование и аналитическая рефлексия. Такой подход соответствует современным тенденциям цифровой трансформации образования [6; 7].

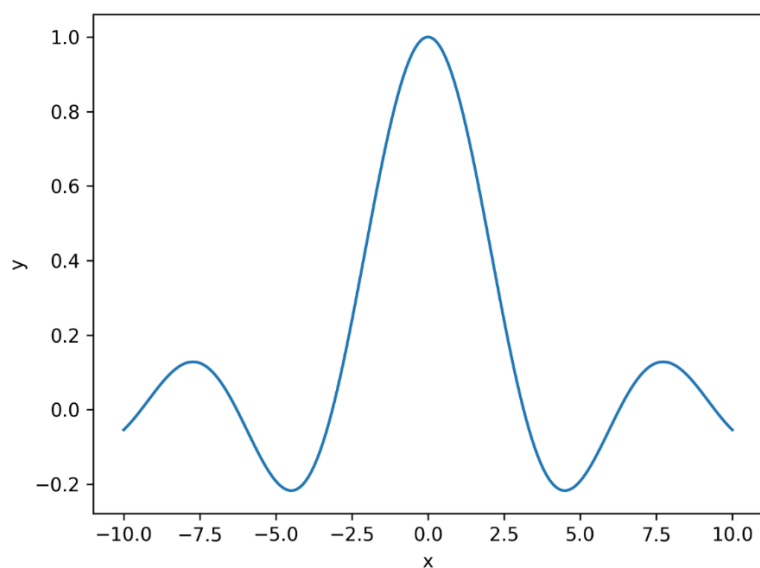


Рис. 1. График функции $y = \sin(x)/x$

Рассмотрим сопоставление функции и её производной.

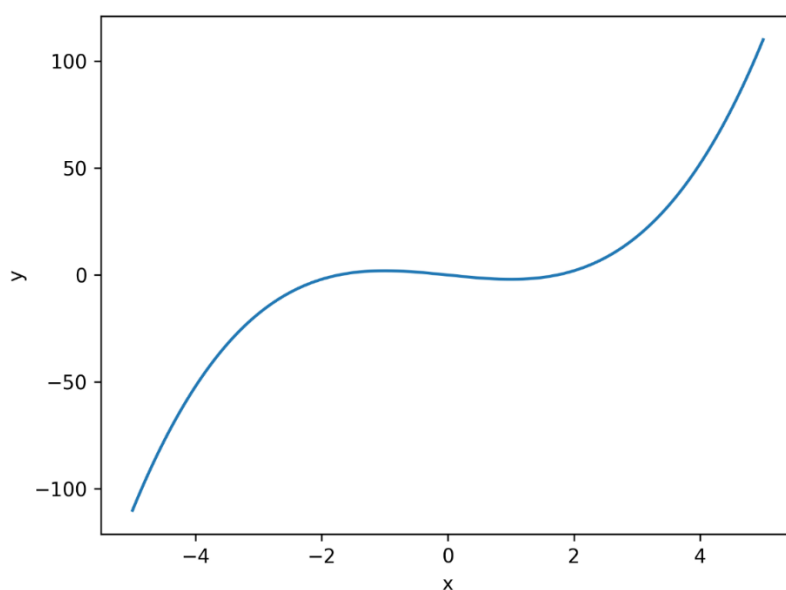


Рис. 2. График функции $f(x) = x^3 - 3x$

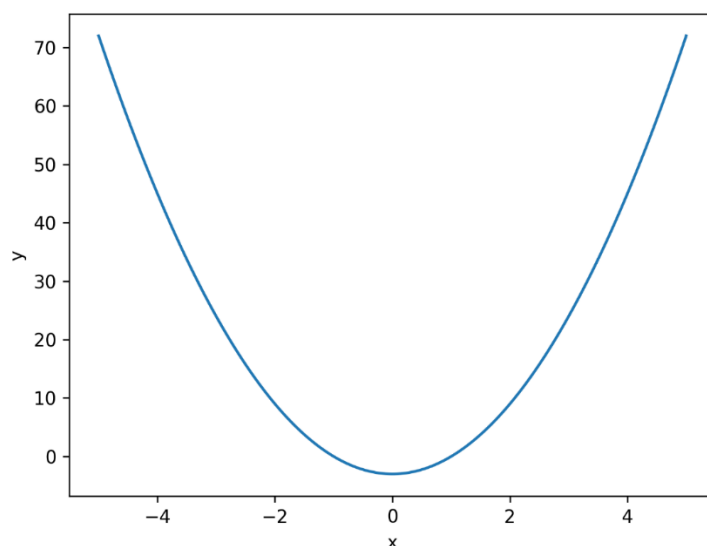


Рис. 3. График производной $f'(x)=3x^2-3$

Анализ результатов внедрения цифровых средств показывает повышение уровня вовлеченности обучающихся и качества усвоения материала.

Таблица 1

Сравнительный анализ инструментов визуализации (составлено авторами)

Инструмент	Возможности	Область применения
GeoGebra	2D и 3D визуализация, динамические модели	Анализ, геометрия, линейная алгебра
Wolfram Alpha	Вычисления и построение сложных графиков	Дифференциальные уравнения
Desmos	Быстрое построение графиков и анимация	Функции одной переменной

Анализ научной литературы

Вопросы применения цифровых средств визуализации в математическом образовании активно рассматриваются в отечественных и зарубежных публикациях последних лет.

Так, в работе Е.В. Буланкиной и А.С. Петрова анализируются дидактические возможности цифровых инструментов и отмечается их влияние на формирование профессиональных компетенций студентов [1]. А.А. Гаврилова подчеркивает значимость интерактивных сред для развития исследовательской активности обучающихся инженерных направлений [2].

Н.В. Егорова и П.А. Сидоров рассматривают визуализацию как средство формирования математического мышления и доказывают, что динамические представления способствуют более глубокому пониманию функциональных зависимостей [3].

В зарубежных исследованиях акцент делается на концепции «humans-with-media», согласно которой цифровые технологии изменяют сам характер математического мышления [5]. R. Hochmuth и R. Biehler показывают, что динамические инструменты повышают уровень концептуального понимания сложных понятий анализа [6]. М. Yerushalmy и D. Chazan рассматривают роль визуальных репрезентаций в динамических математических средах и отмечают их значимость для развития интуитивного понимания предельных процессов [7].

Несмотря на накопленный теоретический материал, сохраняется необходимость конкретизации методических решений для инженерных специальностей с учетом специфики их профессиональной подготовки.

Описание и результаты исследования

В рамках исследования была разработана модель поэтапной интеграции средств визуализации в курс высшей математики для студентов инженерных направлений. Методика включала три этапа:

1. демонстрационный – преподаватель использует динамические графики при объяснении нового материала;
2. исследовательский – студенты самостоятельно изменяют параметры моделей;
3. аналитический – проводится интерпретация полученных результатов и их математическое обоснование.

Заключение

В ходе исследования была подтверждена эффективность интеграции средств цифровой визуализации в процесс обучения высшей математике студентов инженерных специальностей. Реализованная в работе поэтапная методика (демонстрационный, исследовательский и аналитический этапы) позволяет не только повысить наглядность изложения абстрактного материала, но и вовлечь обучающихся в активную познавательную деятельность.

Анализ научной литературы и результаты апробации показывают, что использование динамических сред (GeoGebra, Desmos) способствует формированию устойчивых математических понятий, развитию исследовательских компетенций и интуитивного понимания функциональных зависимостей и предельных процессов. Сопоставление графиков функций и их производных, визуализация операций линейной алгебры делают сложные темы доступнее для восприятия.

Практическая значимость работы заключается в конкретизации методических решений для инженерного образования с учётом его профессиональной специфики. Предложенная модель интеграции цифровых инструментов отвечает современным тенденциям цифровой трансформации образования и может быть рекомендована для внедрения в учебный процесс технических вузов.

Литература

1. Буланкина Е.В., Петров А.С. Цифровые инструменты визуализации в математическом образовании: опыт и перспективы // Высшее образование в России. 2023. Т. 32, № 5. С. 112-125.
2. Гаврилова А.А. Формирование профессиональных компетенций будущих инженеров с использованием интерактивных сред // Alma mater (Вестник высшей школы). 2022. № 10. С. 34-40.

3. Егорова Н.В., Сидоров П.А. Визуализация как средство формирования математического мышления студентов технических направлений // Инженерное образование. 2024. № 35. С. 78-86.
4. Смирнова Л.К., Орлова Т.Д. Использование динамических математических сред при обучении анализу // Педагогическая информатика. 2021. № 4. С. 56-63.
5. Borba M.C., Villarreal M.E. Humans-with-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking // Educational Studies in Mathematics. 2022. Vol. 110(2). P. 189-205.
6. Hochmuth R., Biehler R. Digital Tools for Conceptual Understanding // International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education. 2023. Vol. 9(1). P. 45-62.
7. Yerushalmy M., Chazan D. Visual Representations and Dynamic Mathematics Environments // Journal of Mathematical Behavior. 2021. Vol. 63. P. 100897.

© Демирчян Т.А., Кальсин И.В., Высоцкая Д.А., 2026

Иброхимов Н.И., Расулов А.М.

Ферганский государственный технический университет
г. Фергана, Узбекистан

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА НА ПОВЕРХНОСТЬ КРИСТАЛЛА МЕДИ

I. Введение. Современное развитие физики твердого тела, материаловедения и нанотехнологий характеризуется возрастающим интересом к исследованию процессов, протекающих на атомном и субнанометровом уровнях. Это обусловлено тем, что именно на данных масштабах формируются фундаментальные свойства материалов, включая их структурную устойчивость, механические характеристики, теплопроводность, электронную структуру и каталитическую активность. Однако проведение натурных экспериментов в данной области сопряжено с рядом существенных трудностей, связанных с высокой стоимостью оборудования, сложностью экспериментальных установок, необходимостью строгого контроля внешних параметров и ограниченной возможностью наблюдения динамики процессов в реальном времени [2; 3].

В этих условиях методы компьютерного моделирования приобретают особую значимость и становятся неотъемлемым инструментом современных научных исследований. Развитие высокопроизводительных вычислительных систем и специализированных программных средств позволило сформировать новое направление – компьютерный эксперимент, который обеспечивает воспроизведение поведения реальных физических систем в виртуальной среде с высокой степенью достоверности. В отличие от традиционных экспериментальных методов, численное моделирование предоставляет возможность детального анализа микроскопических механизмов, включая движение отдельных атомов, перераспределение энергии, формирование дефектов и эволюцию структуры системы во времени [4; 5].

Одним из ключевых преимуществ компьютерных экспериментов является возможность варьирования широкого спектра параметров системы – температуры, давления, начальной геометрии, энергии взаимодействия и характеристик межатомных потенциалов – с целью выявления закономерностей протекания процессов, которые зачастую недоступны для прямого экспериментального наблюдения. Более того, компьютерное моделирование выступает в роли связующего звена между теоретическими представлениями и экспериментальными данными, обеспечивая их взаимную интерпретацию и верификацию [3; 7].

Среди численных методов, применяемых для моделирования атомных систем, особое место занимает метод молекулярной динамики. Данный подход основан на решении классических уравнений движения для системы взаимодействующих частиц и позволяет исследовать как равновесные, так и неравновесные процессы в конденсированных средах. Метод молекулярной динамики широко используется для анализа поведения нанокластеров, процессов осаждения частиц на поверхность твердых тел, диффузии атомов, а также механизмов структурной перестройки материалов под воздействием внешних факторов [4; 8].

Особый интерес представляют исследования, связанные с взаимодействием металлических и биметаллических кластеров с поверхностью кристаллических подложек. Такие системы играют важную роль в разработке функциональных покрытий, каталитических материалов, сенсорных устройств и наноструктурированных композитов. При осаждении кластеров на поверхность могут реализовываться различные сценарии взаимодействия, включая адсорбцию, деформацию, фрагментацию, внедрение атомов в подложку и формирование переходных межфазных областей. Характер данных процессов определяется как параметрами самого кластера (размер, состав, структура), так и условиями осаждения, включая энергию столкновения и температуру системы [5; 7].

Для адекватного описания межатомного взаимодействия в подобных системах широко используются потенциалы погруженного атома (ЕАМ и его модификации), которые позволяют учитывать особенности металлической связи в конденсированных средах. В сочетании с современными программными пакетами, такими как LAMMPS, данный подход обеспечивает возможность проведения высокоточных расчетов, анализа энергетических характеристик системы и исследования структурной эволюции кластеров в процессе их взаимодействия с поверхностью [2; 8].

Таким образом, применение методов компьютерного моделирования, в частности молекулярной динамики, открывает широкие возможности для исследования процессов осаждения биметаллических кластеров на кристаллические подложки. Это позволяет не только углубить понимание фундаментальных механизмов атомной перестройки и энергообмена, но и сформировать научно обоснованные подходы к проектированию наноматериалов с заданными свойствами, что определяет актуальность и научную значимость настоящего исследования [3; 5; 7].

В данной работе представлены результаты осаждения кластера $\text{Cu}_{122}\text{Co}_{79}$ на поверхность кристалла меди при различных энергиях с помощью компьютерного моделирования на основе метода МД [9]. Использованы потенциал MEAM [6] при расчете процессов взаимодействия кластерных и поверхностных атомов. Расчеты проводились с использованием пакета программ LAMMPS. Компьютерную модель стабильных структур и конфигураций кристалла и бинарного кластера визуализировали с помощью программы JMol.

II. Описание объекта и методов исследования. В настоящее время разработано множество методов исследования процесса моделирования поведения нанокластеров. Обычно МД применяется в зависимости от адиабатического и изотермического состояний системы. Адиабатическое состояние системы более соответствует классической механике и обусловлено тем, что полная энергия моделируемой системы не изменяется. Однако эта версия используется редко, поскольку не учитывает энергопотребление, которое обычно несовместимо с формированием реальных систем. Изотермическое состояние системы заполняется в МД механическим алгоритмом или специальным алгоритмом (термостатом, поддерживающим определенную температуру). Во-первых, такой алгоритм должен выполнять свою основную задачу. Во-вторых, оно не должно существенно влиять на фазовую

траекторию системы, то есть не должно нарушать сценарий эволюции, определяемый системой уравнений второго закона Ньютона.

$$\begin{aligned} a_{xi} &= \frac{dv_{xi}}{dt} = m^{-1}(\sum_{i \neq j} F_{xij} + \sum_i f_{xi}) \\ a_{yi} &= \frac{dv_{yi}}{dt} = m^{-1}(\sum_{i \neq j} F_{yij} + \sum_i f_{yi}) \\ a_{zi} &= \frac{dv_{zi}}{dt} = m^{-1}(\sum_{i \neq j} F_{zij} + \sum_i f_{zi}) \end{aligned} \quad (1)$$

где a_{xi} , a_{yi} , a_{zi} – компоненты вектора ускорения атома i , v_{xi} , v_{yi} и v_{zi} – компоненты вектора скорости, t – время, m – атомная масса, F_{xij} , F_{yij} и F_{zij} – компоненты, внутренние силы, действующие на атом f_{xi} , f_{yi} и f_{zi} – компоненты внешних сил, равные нулю для свободной наночастицы.

Точность результатов, полученных с помощью таких алгоритмов, очень высока. С другой стороны, программное обеспечение более сложное и требует много памяти для хранения большого количества значений. На основе приведенных выше соотношений в наших расчетах использовался алгоритм Верлет [1]:

$$\begin{aligned} \vec{r}(t + \Delta t) &= 2\vec{r}(t) - \vec{r}(t - \Delta t) + \vec{a}(t)(\Delta t)^2, \\ \vec{v}(t) &= \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t - \Delta t)}{2\Delta t} \end{aligned}$$

III. Описание и анализ результатов. На первом этапе компьютерного моделирования была создана равновесная конфигурация кластера $\text{Cu}_{122}\text{Co}_{79}$. На втором этапе была создана модель кристалла $\text{Cu}(001)$. На третьем этапе моделирования бинарный кластер вертикально осаждался на поверхность кристалла меди при различных энергиях (0,5– эВ).

Моделирование молекулярной динамики изначально выполняется в ансамблях NVE. В каждом моделировании после генерации начальной конфигурации мы запускали 10000 шагов минимизации методом наискорейшего спуска.

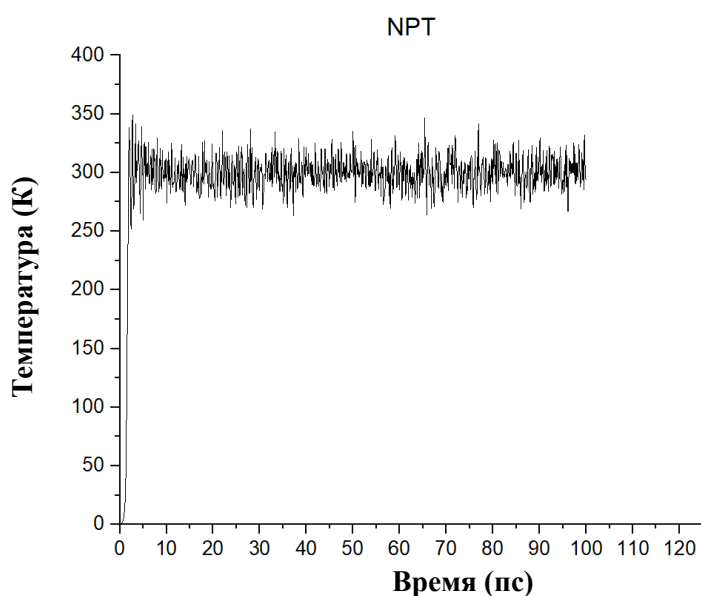


Рис. 1. Температурная зависимость атомов кристалла в единицу времени

Этапы моделирования выполнялись в изотермически-изобарических (NPT) условиях (рис. 1), а периодические граничные условия применялись ко всем направлениям прямоугольного блока моделирования. Моделирование молекулярной динамики проводилось с шагом по времени 0,0001 пс (алгоритм Верлет использовался для интегрирования уравнений движения Ньютона с шагом по времени 0,0001 пс). Процесс моделирования длился 1000 пс при комнатной температуре, давление поддерживалось на уровне 1 бар с помощью баростата Берендсена.



Рис. 2. Осаждение кластера Cu₁₂₂Co₇₉ на поверхность кристалла меди при различных энергиях.

Результаты наших расчетов показывают (рис.2), что в результате осаждения на поверхность кристалла часть атомов кластера опускается на поверхность. С увеличением энергии кластер существенно деформируется и глубина погружения кластера в поверхность увеличивается. В то же время верхняя часть кластера может сохранять свое первоначальное атомное расположение. Как видно из рисунка 2, в подложке создается некоторое повреждение, и оболочка кластера Cu₁₂₂Co₇₉ имеет тенденцию распространяться по поверхности подложки.

IV. Заключение. Потенциал MEAM предложенный Баскесом, успешно использован для изучения осаждения кластеров Cu₁₂₂Co₇₉ на поверхность кристалла меди при низких энергиях (0,5 – 3,0 эВ на атом).

1. Результаты программы показывает, что классическое кластерное моделирование может способствовать пониманию свойств наночастиц и наноструктурированных материалов.

2. Предлагаются крупномасштабные расчеты для моделирования наноструктурированных материалов Cu-Co, методом кластерного осаждения. Для этого было использовано молекулярно-динамический метод для работы на параллельных компьютерах.

3. При осаждении кластера в кристалле получена информация проникновения кластер в кристалл, деформация и искажения решетки.

Литература

1. Ворожцов Е.В. Анализ эффективности симплектических схем высокого порядка точности на примере задачи о соударении наночастицы с преградой // Вычислительные методы и программирование. 2024. Т. 25, № 2. <https://doi.org/10.26089/NumMet.v25r217>
2. Сидоров М.Н., Кузнецов И.А. Математическое моделирование процессов взаимодействия наноструктурированных материалов с поверхностью // Шаг в науку. 2022. № 3. С. 67-74.

3. Chen Z., Li J., Wang Y. Recent advances in atomistic simulations of metal nanocluster deposition on crystalline surfaces // *Surface Science Reports*. 2022. Vol. 77, № 6. P. 100566.
4. García-Ramos M., Aguilera-Granja F., Vega A. Structural evolution and energetic properties of bimetallic nanoclusters: A computational perspective // *Nanomaterials*. 2024. Vol. 14, № 3. P. 512.
5. Hernández H., Johnston R.L., Ferrando R. Structure, stability and growth mechanisms of metallic nanoclusters: Insights from molecular dynamics simulations // *Progress in Materials Science*. 2023. Vol. 135. P. 101084.
6. Jaemin Wang, Sang-Ho Oh, Byeong-Joo Lee. Second-nearest-neighbor modified embedded-atom method interatomic potential for Cu-M (M = Co, Mo) binary systems // *Computational Materials Science*. 2020. Vol. 178. P. 109627.
7. Li X., Zhao M., Luo Y. Molecular dynamics study of metal cluster impact and adhesion on solid substrates // *Journal of Applied Physics*. 2023. Vol. 134, № 4. P. 045302.
8. Nguyen T.T., Park H.S., Shim J. Multiscale modeling of metallic nanocluster growth and surface diffusion mechanisms // *Computational Materials Science*. 2024. Vol. 240. P. 112997.
9. Rasulov A.M., Ibrokhimov N.I., Tukhtasinov A.G., Khodijmatov J.M., Otaqulov O.Kh. Study of geometric and energetic properties of small silver metal clusters using molecular dynamics method // *Advanced Materials for Optics and Photonics: Chemistry and Engineering Perspectives (AMOP 2025): Proceedings. SPIE, 2025*. Vol. 14014.

© Иброхимов Н.И., Расулов А.М., 2026

Липинская В.А.

Лесосибирский педагогический институт – филиал Сибирского федерального университета
Лесосибирск, Россия

МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ: ОБЗОР, ВОЗМОЖНОСТИ И РОЛЬ В ОБУЧЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕМЫ «ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРЯМЫЕ»

Уточнение методологических оснований использования мобильных приложений в обучении геометрии требует обращения к категории цифровой дидактики не как к совокупности технологических решений, а как к теории проектирования образовательной деятельности в условиях цифровой среды. В современной педагогической науке цифровая дидактика трактуется как направление, исследующее закономерности организации обучения при медирующей роли цифровых инструментов. Существенным является то, что технология в данном случае рассматривается не как нейтральный носитель информации, а как фактор, изменяющий структуру учебной деятельности, её временные параметры, формы взаимодействия и когнитивные стратегии обучающихся.

С позиций культурно-исторической теории Льва Семёновича Выготского цифровое средство выступает опосредующим звеном между субъектом и объектом познания. Геометрическая фигура в динамической среде перестаёт быть статическим изображением и превращается в объект преобразовательной деятельности. При этом происходит интериоризация внешних операций: многократное перетаскивание точек, измерение углов, проверка гипотез постепенно сворачиваются во внутренние мыслительные действия. Важнейшим аспектом здесь является зона ближайшего развития: мобильное приложение может выступать в роли «цифрового партнёра», обеспечивающего подсказки, адаптивную обратную связь и тем самым поддерживающего продвижение учащегося к более высокому уровню понимания.

Развивая деятельностную парадигму, Алексей Николаевич Леонтьев подчёркивал иерархическую структуру деятельности: мотив – деятельность – действие – операция. В контексте изучения параллельных прямых мотив может быть связан с познавательным интересом к выявлению закономерности; деятельность – с исследованием конфигурации; действия – с построением и измерением; операции – с автоматизированными приёмами работы в интерфейсе. Если цифровой инструмент включён методически грамотно, он способствует переходу от внешней операциональной активности к осмысленной учебной деятельности. В противном случае работа остаётся на уровне манипуляций, не достигая уровня понятийного обобщения.

В контексте проектирования урока целесообразно опереться на модель SAMR Р. Пуэнтедуры как инструмент анализа глубины интеграции технологии. На уровне замещения мобильное приложение лишь воспроизводит функции учебника или доски. На уровне дополнения появляется функциональное преимущество – динамическая визуализация. Модификация предполагает изменение структуры учебной задачи (например, исследовательская постановка проблемы вместо репродуктивного объяснения). Трансформация реализуется тогда, когда учащиеся создают собственные модели,

обмениваются ими в цифровой среде и проводят коллективный анализ инвариантных свойств. Таким образом, SAMR выступает не как формальная классификация, а как методологическая шкала оценки педагогического замысла [6; 7].

Модель ТРАСК, разработанная М. Мишрой и М. Кёллером, дополняет данный анализ, указывая на необходимость синтеза трёх компонентов знания: предметного (содержание геометрии), педагогического (методы обучения доказательству) и технологического (владение функционалом приложения). В ситуации дисбаланса эффективность цифрового инструмента снижается. Например, технологическая компетентность без глубокого понимания аксиоматики параллельности приводит к поверхностной демонстративности; напротив, сильная предметная база без технологической интеграции ограничивает потенциал исследовательской деятельности [6; 7].

Геометрическое содержание темы «Параллельные прямые» обладает выраженной когнитивной спецификой, поскольку требует перехода от перцептивного распознавания направлений к дедуктивному установлению отношений. На начальных этапах обучения параллельность интерпретируется учащимися преимущественно как визуальный феномен «одинакового направления». Однако математическое понимание предполагает операционализацию данного признака через систему теоретических отношений – аксиому параллельности и признаки, основанные на равенстве углов.

С позиций теории уровней геометрического мышления П. и Д. Ван Хиле можно выделить несколько стадий усвоения. На нулевом (визуальном) уровне обучающийся идентифицирует параллельные прямые на основе целостного образа. На первом (аналитическом) уровне выделяются свойства – равенство накрест лежащих углов, сумма односторонних углов и т.д. На втором (дедуктивном) уровне учащийся способен выстраивать логическую цепочку доказательства, опираясь на систему теорем. Динамические мобильные среды потенциально способствуют переходу от визуального к аналитическому уровню, поскольку позволяют варьировать конфигурацию и наблюдать устойчивость свойств. Однако переход к дедуктивному уровню требует специально организованной работы по формализации наблюдаемого инварианта.

Ключевым когнитивным механизмом здесь выступает абстрагирование. Первоначально обучающийся фиксирует конкретные значения углов, измеренных в приложении. Постепенно внимание переносится с числовых характеристик на отношение равенства как структурный инвариант. Таким образом, происходит смещение от эмпирической констатации («углы равны 60° ») к теоретическому утверждению («накрест лежащие углы равны при параллельных прямых»). Этот переход соответствует движению от наглядно-образного к абстрактно-логическому мышлению [1].

Однако цифровая среда создаёт специфический эпистемологический риск – феномен визуальной убедительности. Высокая точность графического отображения и плавность динамики формируют ощущение доказанности на основании повторяемого наблюдения. Учащийся может многократно видеть равенство углов и воспринимать это как достаточное основание истинности, не переходя к логическому обоснованию. В результате формируется

эмпирико-индуктивная стратегия, которая не обеспечивает усвоение структуры доказательства. Преодоление данного риска возможно только при включении этапа рефлексивной вербализации: формулирование гипотезы, указание основания (аксиомы или теоремы), построение логической последовательности.

С точки зрения теории когнитивной нагрузки Дж. Свеллера, усвоение признаков параллельности связано с одновременной обработкой нескольких взаимосвязанных элементов: двух прямых, секущей, четырёх углов и их отношений. Это определяет внутреннюю нагрузку задачи. Использование мобильного приложения способно снизить внешнюю нагрузку за счёт автоматизации измерений и чёткого отображения конфигурации. Однако чрезмерная интерактивность, анимация и множественность интерфейсных элементов могут, напротив, увеличивать несущественную нагрузку, отвлекая рабочую память от смысловых связей.

Особое значение приобретает осмысленная нагрузка, направленная на формирование когнитивных схем. Если учащийся не просто наблюдает равенство углов, а систематически сопоставляет различные конфигурации, выделяет инвариант и связывает его с формулировкой теоремы, происходит укрепление схемы «секущая – равенство углов – параллельность». Таким образом, цифровая среда может способствовать оптимальному перераспределению когнитивных ресурсов при условии продуманного педагогического сценария.

В динамической геометрии процесс перетаскивания приобретает особое методическое значение. Исследования в области геометрического образования показывают, что «перетаскивание для проверки» и «перетаскивание для обоснования» различаются по когнитивной глубине. В первом случае учащийся проверяет устойчивость свойства эмпирически; во втором – осознаёт причину сохранения инварианта. Для темы параллельных прямых важно перевести деятельность из режима проверки в режим объяснения: почему равенство накрест лежащих углов сохраняется при любом изменении положения точек?

Дополнительно следует учитывать возрастные особенности развития абстрактного мышления. Учащиеся 7 класса находятся на границе перехода к формально-операциональному этапу. Следовательно, цифровая визуализация должна выполнять функцию когнитивного моста, а не замещения логического рассуждения. Методически оправданной является трёхшаговая схема: наблюдение – формулировка гипотезы – доказательство. Отсутствие третьего шага приводит к закреплению фрагментарного понимания [1].

Интерес представляет и проблема распределённого внимания. В мобильной среде обучающийся одновременно взаимодействует с графическим полем, панелью инструментов и числовыми показателями. Это требует развитых навыков когнитивного контроля. Если такие навыки недостаточно сформированы, часть ресурсов рабочей памяти расходуется на навигацию по интерфейсу. Поэтому целесообразно вводить функционал постепенно, ограничивая количество инструментов на начальном этапе.

В контексте формирования метакогнитивных стратегий мобильные приложения обладают значительным потенциалом. Мгновенная обратная связь стимулирует

самопроверку, а возможность повторного построения – коррекцию стратегии. Однако без рефлексивного обсуждения существует риск формирования иллюзии понимания, когда правильный ответ достигается через перебор действий. Следовательно, цифровая среда должна сопровождаться постановкой вопросов, направленных на осознание причинно-следственных связей: «На каком основании можно утверждать, что прямые параллельны?», «Какое свойство используется в доказательстве?».

Для перехода от описательного обзора мобильных приложений к научному анализу целесообразно сопоставить их по ряду дидактически значимых критериев: тип преобладающей когнитивной активности, уровень автономности обучающегося, характер и глубина обратной связи, степень алгоритмической адаптивности, потенциал перехода к формальному доказательству.

В качестве репрезентативных примеров рассмотрим GeoGebra, Desmos, Pythagorea и Brilliant [2].

GeoGebra относится к классу динамических математических сред и ориентирована преимущественно на исследовательско-конструктивную активность. Пользователь самостоятельно строит объекты, варьирует параметры и анализирует инвариантные свойства. Тип когнитивной активности здесь можно определить как продуктивно-исследовательский: ученик выступает субъектом конструирования модели. Уровень автономности высокий, поскольку траектория действий не задаётся жёстко алгоритмом. Обратная связь носит преимущественно косвенный характер: изменения параметров приводят к визуальному изменению конфигурации, что позволяет сделать вывод о сохранении или нарушении свойства. Степень адаптивности ограничена – среда не всегда анализирует стратегию решения, а предоставляет инструментальные возможности. Потенциал перехода к доказательству значителен, но требует внешней педагогической регуляции: сама среда не принуждает к вербализации логической структуры [3].

Desmos, хотя и ориентирован преимущественно на графическое моделирование, обладает дидактической ценностью в контексте координатной интерпретации параллельности. Тип активности здесь функционально-аналитический: учащийся устанавливает связь между угловым коэффициентом и направлением прямой. Автономность умеренная – задания чаще структурированы, но допускают вариативность. Обратная связь реализуется через мгновенное отображение изменений графика при изменении параметров. Адаптивность выше, чем в традиционных конструкторах, за счёт встроенных интерактивных заданий. Потенциал доказательного перехода реализуется через алгебраическое обоснование равенства коэффициентов, что способствует межпредметной интеграции геометрии и алгебры.

Pythagorea представляет иной тип цифровой среды – геймифицированный тренажёр с элементами головоломки. Преобладающая когнитивная активность – интуитивно-пространственная и операционально-тренировочная. Пользователь распознаёт направления и строит конфигурации на сетке без явной опоры на теоретические формулировки. Уровень автономности средний: задания заданы структурно, но допускают различные стратегии

выполнения. Обратная связь мгновенная и бинарная (правильно/неправильно), что усиливает поведенческий цикл «действие – проверка – коррекция». Адаптивность ограничена уровневой прогрессией. Потенциал перехода к формальному доказательству невысок, если среда используется изолированно, однако она эффективно формирует операциональные навыки и пространственное чутьё, которые могут служить предпосылкой для последующего теоретического осмысления.

Brilliant относится к классу интерактивных обучающих платформ с элементами алгоритмической адаптации. Тип когнитивной активности – пошагово-дедуктивный. Пользователь включён в последовательность логических выборов, что стимулирует аналитическое мышление. Автономность умеренно ограничена: траектория решения структурирована, но требует осмысленного выбора. Обратная связь развернутая – система фиксирует типичные ошибки и предлагает пояснения. Адаптивность выражена в большей степени по сравнению с предыдущими платформами, поскольку задания могут варьироваться в зависимости от успешности выполнения. Потенциал формирования доказательного мышления высок, так как среда организует логическую последовательность рассуждения [4].

Сопоставление позволяет выделить четыре дидактических сценария применения [2].

Первый сценарий – исследовательский (GeoGebra). Используется на этапе открытия свойства или проверки гипотезы. Цель – выявление инварианта через динамическое преобразование. Педагогическая задача – обеспечить последующий переход к формализации.

Второй сценарий – функционально-интерпретационный (Desmos). Применяется при переходе к координатному методу. Цель – осознание алгебраической природы параллельности через равенство угловых коэффициентов. Здесь усиливается межпредметная связь и формируется представление о единстве математического языка [2].

Третий сценарий – тренировочно-интуитивный (Pythagorea). Используется для развития пространственного восприятия и быстроты распознавания направлений. Цель – формирование устойчивых перцептивных схем, снижающих когнитивную нагрузку при решении задач [2].

Четвёртый сценарий – дедуктивно-структурирующий (Brilliant). Применяется на этапе закрепления теоретических положений и формирования доказательного мышления. Цель – выстраивание логической цепочки рассуждений [2].

Принципиально важно, что данные приложения не конкурируют, а дополняют друг друга в рамках комбинированной модели. Их интеграция может быть организована по логике «от интуиции к доказательству»: визуальное распознавание – динамическое исследование – алгебраическая интерпретация – формальное доказательство.

При этом выбор платформы должен соотноситься с целями конкретного этапа урока и уровнем подготовленности учащихся. Некритичное использование даже технологически продвинутой среды может привести к фрагментации содержания. Следовательно, сравнительный анализ мобильных приложений должен рассматриваться как инструмент педагогического проектирования, а не как рейтинг технологических преимуществ.

Рассматривая мобильные приложения как инструмент самостоятельного обучения, необходимо опираться на концепцию саморегулируемого обучения, разработанную Barry

Zimmerman. Согласно его модели, процесс саморегуляции включает три взаимосвязанные фазы: предвосхищающую (планирование и целеполагание), исполнительную (реализация стратегии и мониторинг действий) и рефлексивную (оценка результата и коррекция стратегии). В контексте изучения темы «Параллельные прямые» мобильные приложения потенциально поддерживают каждую из этих фаз.

На этапе планирования обучающийся определяет цель – например, освоить признаки параллельности или научиться доказывать их. Наличие уровневых заданий и прогресс-индикаторов в цифровой среде способствует формированию конкретизированных учебных целей. Исполнительная фаза реализуется через непосредственное взаимодействие с задачами: построение конфигураций, анализ углов, выбор логических утверждений. Встроенная обратная связь обеспечивает текущий мониторинг успешности. Наконец, рефлексивная фаза выражается в анализе допущенных ошибок и повторном выполнении задания с изменённой стратегией. Таким образом, мобильное приложение может выступать как среда тренировки метакогнитивных механизмов.

Особое значение имеет формирование навыков метакогнитивного контроля – способности осознавать собственные когнитивные процессы. При работе с динамической геометрией учащийся может задаваться вопросами: «Почему свойство сохраняется?», «На каком основании сделан вывод?», «Можно ли обосновать это без измерения?». Если такие вопросы встроены в педагогический сценарий, цифровая среда становится инструментом развития рефлексии, а не только средством демонстрации [5].

С точки зрения метапредметных результатов, регулярное использование мобильных приложений способствует формированию нескольких ключевых компетенций. Во-первых, развивается исследовательская позиция: обучающийся учится выдвигать гипотезы, варьировать параметры, проверять устойчивость результата. Во-вторых, формируется аргументационная культура – при условии перехода от визуального наблюдения к словесному и символическому доказательству. В-третьих, усиливается навык самоконтроля благодаря мгновенной обратной связи и возможности повторной попытки без внешнего санкционирования ошибки.

Однако необходимо учитывать риски, связанные с феноменом «иллюзии компетентности». Быстрое получение правильного ответа в цифровой среде может создавать субъективное ощущение понимания при отсутствии глубокой концептуализации. Поведенческий цикл «попытка – проверка – корректировка» иногда формирует стратегию перебора, а не аналитического рассуждения. В результате учащийся демонстрирует высокую результативность в приложении, но испытывает трудности при самостоятельном письменном доказательстве.

Дополнительным риском является формирование внешней мотивации, основанной на геймифицированных механизмах (баллы, уровни, достижения). Хотя такие элементы усиливают вовлечённость, они могут смещать акцент с познавательного интереса к получению вознаграждения. В долгосрочной перспективе это способно снижать устойчивость учебной

мотивации при отсутствии игровых стимулов. Следовательно, геймификация должна рассматриваться как вспомогательный, а не доминирующий механизм мотивации.

В контексте цифровой зависимости следует отметить, что частое обращение к интерактивной среде может снижать терпимость к когнитивным трудностям, характерным для традиционного доказательства. Работа с текстом теоремы и последовательным логическим выводом требует более длительной концентрации внимания, чем манипуляции в интерфейсе. Если цифровая среда полностью замещает письменную практику, формируется дисбаланс между визуально-интуитивным и логико-символическим компонентами математического мышления.

Для минимизации указанных рисков целесообразно реализовывать модель управляемой автономии. Она предполагает предоставление учащемуся возможности самостоятельного исследования при одновременном включении обязательных этапов рефлексии и формализации. Практически это может выражаться в следующем: после работы в динамической среде обучающийся фиксирует наблюдаемое свойство в тетради, формулирует теорему, указывает основание доказательства и воспроизводит логическую цепочку без опоры на измерения.

Эффективной является и стратегия чередования форматов: цифровое исследование – коллективное обсуждение – индивидуальное письменное доказательство – повторное цифровое моделирование для проверки корректности рассуждения. Такое циклическое построение способствует интеграции эмпирического и теоретического уровней понимания.

Следует также подчеркнуть, что самостоятельное обучение в цифровой среде требует сформированности регулятивных универсальных учебных действий: умения планировать время, распределять усилия, завершать начатую задачу. При недостаточной развитости этих навыков мобильное приложение может становиться источником отвлекающих стимулов. Поэтому внедрение цифровых инструментов должно сопровождаться развитием культуры учебной самостоятельности.

Таким образом, мобильные приложения обладают значительным потенциалом в формировании саморегулируемого и метакогнитивного поведения обучающихся при изучении темы «Параллельные прямые». Их педагогическая ценность проявляется не только в облегчении понимания геометрических свойств, но и в развитии способности к самостоятельному исследованию и аргументированному доказательству. В то же время сохранение баланса между цифровой интерактивностью и традиционной логико-символической практикой остаётся необходимым условием устойчивого формирования математического мышления.

Литература

1. Атанасян Л.С. Геометрия. 7-9 классы: учебник для общеобразовательных организаций / Л.С. Атанасян, В.Ф. Бутузов, С.Б. Кадомцев и др. М.: Просвещение, 2014. 383 с.
2. Моисеева М.В. Современные информационные технологии в образовании: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2020. 224 с.

3. Официальный сайт и справочные материалы приложения GeoGebra. URL: <https://www.geogebra.org>
4. Официальный сайт и учебные модули платформы Brilliant. URL: <https://brilliant.org/>
5. Хуторской А.В. Дидактика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2023. 828 с.
6. Piaget J. The Psychology of Intelligence. London: Routledge, 1950.
7. Puente R. SAMR and TPACK: Intro to Advanced Practice. 2010.

© Липинская В.А., 2026

Лутфуллина А.В.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В КУРСЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ

Функциональные уравнения занимают особое место в системе математической подготовки студентов высших учебных заведений. В отличие от стандартных алгебраических уравнений, где неизвестной величиной выступает число, функциональные уравнения требуют нахождения функции, удовлетворяющей определенным соотношениям при всех значениях переменных из области определения. Данный класс задач обладает значительным дидактическим потенциалом, поскольку способствует развитию абстрактного и аналитического мышления, формированию целостного представления о функциональных зависимостях и подготовке к изучению смежных дисциплин [1, с. 12-15].

В истории математики функциональные уравнения исследовались в работах Л. Эйлера, О.Л. Коши и Ж.Л. Д'Аламбера, которые заложили основы для систематического изучения данного класса задач. Классические результаты Коши о непрерывных решениях уравнения

$$f(x + y) = f(x) + f(y) \quad (1)$$

до сих пор остаются фундаментом теории [2, с. 234–256]. В современной науке функциональные уравнения находят применение в математической физике, теории вероятностей, экономическом моделировании и других областях, что подтверждает их теоретическую и практическую значимость.

Несмотря на обширную теоретическую базу, в методической литературе недостаточно систематизированы подходы к обучению решению функциональных уравнений. Существующие пособия [1; 2] предлагают набор методов, однако отсутствие четкой классификации, учитывающей структуру уравнения и дидактические цели, затрудняет формирование у студентов устойчивых навыков решения задач данного типа. Как отмечают современные исследователи, проблема выбора адекватного метода решения остается одной из ключевых в практике преподавания высшей математики [3, с. 46].

Целью данной работы является разработка классификации методов решения функциональных уравнений, ориентированной на их применение в образовательном процессе вуза, и анализ дидактических условий эффективного использования каждого метода.

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные труды по теории функционально-дифференциальных уравнений [1], классические задачки по математическому анализу [2], а также современные публикации, посвященные методике преподавания математики в высшей школе [3; 4]. В работе использованы методы теоретического анализа, систематизации и обобщения педагогического опыта, классификации математических задач по типам и способам решения.

Анализ литературы позволил выделить основные типы функциональных уравнений, изучаемые в курсе высшей математики:

1. Алгебраические функциональные уравнения – это соотношения, включающие только алгебраические операции над неизвестной функцией. Классическими примерами являются уравнение Коши (1), показательное уравнение $f(x+y) = f(x)f(y)$, а также уравнение Д’Аламбера $f(x+y) + f(x-y) = 2f(x)f(y)$, играющее важную роль в теории колебаний [1, с. 101-134].

2. Функционально-дифференциальные уравнения содержат как значения самой функции, так и ее производные различных порядков. Например, уравнение $f'(x) = f(x-1) + xf(x)$ сочетает черты функционального и дифференциального соотношений [2, с. 156–178].

3. Интегральные уравнения включают интегралы от неизвестной функции. Широко известно уравнение Вольтерра $f(x) = g(x) + \int K(x,t)f(t)dt$, используемое при описании физических процессов [4, с. 112-115].

На основе анализа учебной и научной литературы [1–4] нами разработана классификация методов решения функциональных уравнений, учитывающая не только математическую сущность каждого метода, но и дидактические условия его применения (табл.).

Таблица

Классификация методов решения функциональных уравнений

Метод	Сущность метода	Тип уравнений	Дидактические условия применения	Типичные ошибки студентов
Метод подстановки частных значений	Подстановка конкретных значений переменных для получения условий на искомую функцию	Уравнения Коши, показательные, логарифмические	Применим на начальном этапе для всех типов уравнений; позволяет установить $f(0)$, четность/нечетность	Потеря частных решений; игнорирование области определения
Метод сведения к дифференциальным уравнениям	Дифференцирование по переменной и переход к дифференциальному уравнению	Уравнения Коши, Д’Аламбера при дополнительном условии дифференцируемости	Требует явного обоснования гладкости функции; эффективен при наличии симметрии	Некорректное дифференцирование без обоснования; потеря констант
Метод неопределенных коэффициентов	Подстановка многочлена с неизвестными коэффициентами и приравнивание коэффициентов	Уравнения, допускающие полиномиальные решения	Применим, если степень многочлена известна или ограничена	Неполный перебор возможных степеней; потеря решений
Метод замены переменных	Преобразование уравнения к известному типу с помощью замены	Логарифмические, показательные, тригонометрические	Требует знания связей между различными классами функций	Неверный подбор замены; сужение области определения

Разработанная классификация позволяет преподавателю целенаправленно выбирать методы в зависимости от типа уравнения и уровня подготовки студентов, а также прогнозировать возможные затруднения и типичные ошибки.

Рассмотрим реализацию выделенных методов при решении основных типов функциональных уравнений.

Уравнение Коши (1). Метод подстановки частных значений дает $f(0) = 0$ и $f(-x) = -f(x)$. Используя математическую индукцию, получаем $f(nx) = nf(x)$ для натуральных n . При дополнительном условии непрерывности данное свойство распространяется на все действительные числа, и решение имеет вид $f(x) = ax$, где $a = f(1)$ [2, с. 234-256]. Метод сведения к дифференциальному уравнению также применим: дифференцируя по y и полагая $y = 0$, приходим к уравнению $f'(x) = f'(0)$, что при условии дифференцируемости также дает линейную функцию.

Показательное уравнение $f(x + y) = f(x)f(y)$. Подстановка $y = 0$ дает $f(0) = 1$ (при условии, что функция не равна тождественно нулю). Метод сведения к дифференциальному уравнению заключается в том, что дифференцируя по y и полагая $y = 0$, получаем $f'(x) = kf(x)$, где $k = f'(0)$. Решением является экспоненциальная функция $f(x) = e^{kx}$ [3, с. 48–50].

Уравнение Д'Аламбера $f(x + y) + f(x - y) = 2f(x)f(y)$. Данное уравнение может быть решено методом неопределенных коэффициентов при предположении о полиномиальности решения. Подстановка $f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2$ приводит к системе уравнений, из которой определяются решения $f(x) = x^2$ и $f(x) = 1 - x^2$ [4, с. 114]. Более общий анализ показывает, что при дополнительных условиях (непрерывность, ограниченность) существуют также тригонометрические решения $f(x) = \cos(kx)$.

Функционально-дифференциальные уравнения представляют собой особый класс математических задач, сочетающих свойства функциональных и дифференциальных соотношений. Они содержат как значения самой функции, так и ее производные, причем аргумент может входить с различными преобразованиями (сжатие, растяжение, запаздывание). В отличие от классических функциональных уравнений, функционально-дифференциальные и интегральные уравнения требуют более сложного математического аппарата и комбинирования различных методов решения. Причем выбор конкретного метода у функционально-дифференциальных уравнений определяется типом, характером преобразования аргумента и требуемой формой представления решения, а у интегральных уравнений определяется типом, свойствами ядра, видом правой части и требуемой формой представления решения (аналитической или численной).

Проведенная систематизация позволяет выделить несколько важных методических закономерностей. Во-первых, выбор метода решения функционального уравнения должен определяться не только его структурой, но и наличием дополнительных условий (непрерывность, дифференцируемость, ограниченность). В учебном процессе необходимо акцентировать внимание студентов на том, что отсутствие таких условий может приводить к существованию нестандартных («экзотических») решений, что связано с использованием аксиомы выбора [3, с. 52].

Во-вторых, эффективность обучения решению функциональных уравнений повышается при использовании системного подхода, предполагающего последовательное применение нескольких методов к одному уравнению. Например, для уравнения Коши метод подстановок позволяет установить свойства функции на множестве рациональных чисел, а метод сведения к дифференциальному уравнению получить явный вид при дополнительных предположениях о гладкости.

В-третьих, важным дидактическим приемом является демонстрация межпредметных связей. Функциональные уравнения возникают при моделировании реальных процессов: уравнение показательного роста описывает динамику численности популяции, радиоактивный распад, непрерывное начисление процентов; уравнение Д'Аламбера связано с волновыми процессами [1, с. 45-50; 4, с. 116-118]. Реализация межпредметных связей способствует повышению мотивации и формированию целостного естественнонаучного мировоззрения.

Сравнительный анализ разработанной классификации с подходами, представленными в литературе [2; 3], показывает, что предложенная систематизация в большей степени ориентирована на практику преподавания, поскольку включает дидактические условия применения и анализ типичных ошибок. Это позволяет использовать ее как основу для проектирования учебных занятий и разработки системы задач.

Функциональные уравнения представляют собой важный раздел курса высшей математики, обладающий значительным развивающим потенциалом. Проведенный анализ позволил систематизировать основные методы их решения (подстановка частных значений, сведение к дифференциальным уравнениям, метод неопределенных коэффициентов, замена переменных) и выделить дидактические условия эффективного применения каждого метода.

Разработанная классификация может служить методической основой для преподавания данной темы, позволяя целенаправленно формировать у студентов навыки выбора адекватного метода решения в зависимости от структуры уравнения и дополнительных условий. Выявленные типичные ошибки (потеря решений, некорректное дифференцирование, неучет области определения) должны стать предметом специального внимания при проектировании учебных занятий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой системы задач, реализующей предложенную классификацию, и экспериментальной проверкой ее эффективности в образовательном процессе педагогического вуза.

Литература

1. Азбелев Н.В., Максимов В.П., Рахматуллина Л.Ф. Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений: методы и приложения. М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 384 с.
2. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу: учебное пособие для вузов. 27-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2025. 624 с.

3. Иванов А.А. Методика формирования эвристических приемов при решении функциональных уравнений в педвузе // Современные проблемы науки и образования. 2024. № 2. С. 45–53.

4. Петрова Е.Н. Функциональные уравнения в задачах межпредметного содержания // Математика в школе. 2023. № 5. С. 21-29.

© Лутфуллина А.В., 2026

Правдивцева А.С.

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина
г. Рязань, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ВЕЩЕСТВЕННЫМ ПАРАМЕТРОМ**

Решается задача квадратичной оптимизации с вещественным параметром t

$$\begin{cases} f(x, t) = x^T A(t)x + b^T(t)x + c(t) \rightarrow \max, \\ x \in X_t \subset R^n: K(t)x \leq l(t), \quad t \in (T_1; T_2), \end{cases} \quad (1)$$

в которой коэффициенты $A(t)$, $b(t)$, $c(t)$, $K(t)$, $l(t)$ являются рациональными функциями параметра t степени не выше S , множество допустимых аргументов X_t ограничено для всех $t \in (T_1; T_2)$. Решением задачи (1) является вектор-функция $\bar{x}(t) = \arg \max_{x_t} f(x, t)$, которая на

множестве допустимых планов существует, поскольку выполняются условия теоремы Вейерштрасса. Так как в общем случае точка экстремума целевой функции $f(x, t)$ не вычисляется с помощью алгоритма и при решении возникают сложности, целесообразно приближенно решить задачу (1) на основе выборки решений при фиксированных значениях параметра $t_p \in (T_1; T_2)$, $p = \overline{1, P}$.

В частности, к задаче (1) сводится задача об оптимизации производства [1, 2]. С экономической точки зрения, в задаче (1) не учитываются чистые риски, то есть сбыт продукции гарантирован [4] и из-за учета параметра времени, возникают потоки производства [5].

Предположим, что $f(x, t_0)$ вогнута, то есть $x^T A(t_0)x < 0$ для всех $x \neq 0_n$, тогда решением задачи (1) является точка, подозрительная на экстремум, $x(t_0) = -0,5A^{-1}(t_0)b(t_0)$, для которой верно условие $K(t)x(t_0) \leq l(t)$ при всех $x \neq 0_n$ и $t \in (a_1; a_2) \subseteq (T_1; T_2)$. Известно, что для вычисления обратной матрицы применяется следующая формула $A^{-1}(t) = \frac{1}{\det(A(t))} \tilde{A}^T(t)$, где

$\tilde{A}(t)$ – ассоциированная для $A(t)$ матрица, то есть матрица, состоящая из алгебраических дополнений. Учитывая, что коэффициенты задачи (1) – рациональные функции параметра t степени не выше S , компоненты вектора $\bar{x}(t)$ – это дробно-рациональные функции с многочленами в числителе и знаменателе степени не выше S^n . Возможен случай, в котором условие $K(t)x(t_0) \leq l(t)$ не выполняется. Тогда решение задачи (1) лежит на границе множества допустимых планов X_t . Этот же вывод справедлив и в случае, когда целевая функция $f(x, t)$ оказывается вогнутой только на части интервала значений параметра $(T_1; T_2)$.

Также величиной $\bar{x}(t) = \arg \max_{x_t} f(x, t)$ может быть граничная точка X_{t_0} , вычисляемая по схеме поиска условного экстремума на основе теоремы Куна – Таккера [2] или на основе геометрического метода [3]. Заметим, что в этом случае множество допустимых планов X_{t_0}

ограничено плоскостями $k_j^T(t)x = l_j(t)$ где $k_j(t)$ – строка j для $m \times n$ -матрицы $K(t)$, $l_j(t)$ – компонента j вектор-функции $l(t)$, $j = \overline{1, m}$, $n < m$. В этом случае воспользуемся критерием крайней точки и для вычисления вектор-функции $\bar{x}(t)$, являющейся решением задачи (1), рассмотрим системы вида

$$\begin{cases} K^{(0)}(t)x = l^{(0)}(t), \\ K^{(1)}(t)x < l^{(1)}(t), \end{cases} \quad (2)$$

в которой:

$K^{(0)}(t)$ – $r \times n$ -матрица из r строк матрицы $K(t)$,

$l^{(0)}(t)$ – вектор, составленный из компонент $l(t)$ с теми же номерами, что и строки матрицы $K(t)$, вошедшие в $K^{(0)}(t)$,

$K^{(1)}(t)$ – $(m-r) \times n$ -матрица из строк $K(t)$, не вошедших в $K^{(0)}(t)$,

$l^{(1)}(t)$ – вектор-столбец из компонент $l(t)$, не вошедших в $l^{(0)}(t)$.

Первое уравнение системы (2) определяет – «носитель» граничной точки $\bar{x}(t)$, очевидно, что «носитель» выбирается неединственным образом. В силу произвольности выбора определённых строк матрицы $K(t)$ и столбцов вектора $l(t)$ может оказаться, что решение первого уравнения системы (2) не удовлетворяет ограничениям из этой же системы. Тогда целесообразно выбрать другие компоненты, определяющие «носитель», то есть другие строки матрицы $K(t)$ и другие столбцы вектора $l(t)$, продолжая эту процедуру, пока решение системы (2) не будет удовлетворять условию $K^{(1)}(t)x < l^{(1)}(t)$. Кроме того, при могут найтись такие значения параметра, что определитель матрицы $K^{(0)}(t)$ обратится в ноль, а значит и система (2) не будет иметь решений, поэтому в этом случае также предлагается выбрать другие компоненты матрицы $K(t)$ и вектора $l(t)$. В случае невырожденности матрицы $K^{(0)}(t)$ найдём решение «носителя», которое имеет вид $x = (K^{(0)}(t))^{-1}l^{(0)}(t)$, где

$$(K^{(0)}(t))^{-1} = \frac{1}{\det((K^{(0)}(t))^{-1})} (\tilde{K}^{(0)}(t))^{-1}, \text{ где } (\tilde{K}^{(0)}(t))^{-1} - \text{ассоциированная для } (K^{(0)}(t))^{-1}$$

матрица, то есть матрица, состоящая из алгебраических дополнений. В силу свойств коэффициентов задачи (1) и формулы для вычисления обратной матрицы, компоненты решения $x = (K^{(0)}(t))^{-1}l^{(0)}(t)$ будут иметь дробно-рациональный вид. Для найденного решения проверим условие $K^{(1)}(t)(K^{(0)}(t))^{-1}l^{(0)}(t) < l^{(1)}(t)$ и, если неравенство верно, то найденная вектор-функция – решение задачи (1) на симплексе $X_t \subset R^n$. Если же неравенство $K^{(1)}(t)(K^{(0)}(t))^{-1}l^{(0)}(t) < l^{(1)}(t)$ не выполняется, то выберем другие строки матрицы $K(t)$ и столбцы вектора $l(t)$ и повторим процедуру. Таким образом, в независимости от выбора строк и столбцов из коэффициентов ограничений задачи (1) оказывается, что компоненты вектор-функции $\bar{x}(t)$ – это дробно-рациональные функции со степенями числителя и знаменателя не выше s^n .

Итак, во всех рассмотренных случаях получили, что решение задачи (1) – вектор-функция, компонентами которой являются дробно-рациональные функции параметра t со степенями многочленов в числителе и знаменателе не выше s^n . Поэтому приближенное решение задачи (1) будем строить в виде $\tilde{x}_i(t, D) = \sum_{v=0}^{s^n} d_{i1v} t^v / \sum_{s=0}^{s^n} d_{i2v} t^v$, в которой d_{ij} – компоненты из набора D неопределённых коэффициентов. Вычисление D реализуется с помощью решения непараметрической задачи вида:

$$\begin{cases} F(D) = \alpha_1 F_1(D) + \alpha_2 F_2(D) \rightarrow \min, \\ \tilde{x}(t_p, D) \in X_{t_p}, \quad p = \overline{1, P}, \end{cases} \quad (3)$$

в которой $F_1(D) = \sum_{p=1}^P (\bar{x}(t_p) - \tilde{x}(t_p, D))^2$, $F_2(D) = \sum_{p=1}^P (f(\bar{x}(t_p), t_p) - f(\tilde{x}(t_p, D), t_p))^2$, $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, $\alpha_1 \geq 0$, $\alpha_2 \geq 0$, то есть невязка $F(D)$ – выпуклая линейная комбинация функций $F_1(D), F_2(D)$. Заметим, что веса квадратичных невязок в задаче (3) в практических вычислениях целесообразно подбирать для снижения минимума.

С практической точки зрения такого рода вычисления эффективно реализуются на компьютере, например, в программе Excel. Это демонстрируют численные эксперименты.

Пример. Рассмотрим задачу (1) со следующими данными: $A = \begin{pmatrix} -0,69650 & 0,0255 \\ 0,00255 & -0,49055 \end{pmatrix}$,

$$b(t) = \begin{pmatrix} 0,250t + 17,95 \\ 26,93 - 0,073t \end{pmatrix}, \quad c(t) = -5 - 0,002t, \quad K = \begin{pmatrix} 0,15 & 0,03 \\ 0,05 & 0,3 \\ 0,1 & 0,06 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad l = \begin{pmatrix} 17,2 \\ 10,6 \\ 11 \\ 10,8 \\ 23,8 \end{pmatrix}, \quad t \in [0; 10].$$

Приближенное решение ищем в виде вектора с компонентами в виде частного многочленов не выше второй степени в числителях и знаменателях. Для составления задачи (3) определяем точное решение при фиксированном параметре $t \in [0; 10]$, а также строим приближенное решение. Решения представлены на рисунке 1.

При решении задачи (1) с помощью аппроксимации решения дробно-рациональной моделью может оказаться, что наиболее точное приближение даёт модель, в которой степени числителя или знаменателя ниже максимального значения (в данном случае ниже, чем 2). Тогда строим модель, в которой один из коэффициентов набора D равен нулю, используя надстройку «Поиск решения», пример задания которой представлен на рисунке 2.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
39	Аппроксимация точки максимума дробно-рациональной моделью и составление целевого критерия для вычисления коэффициентов															
40	Выборки значений $x(t)$ и $f(x,t)$															
41	t_p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
42	$x_1(t_p)$	6,06113317	6,17731008	6,29348652	6,409663587	6,52584	6,64202	6,7582	6,87437	6,990547	7,107	7,2229				
43	$x_2(t_p)$	17,7388669	17,62269	17,5065136	17,39033652	17,2742	17,158	17,042	16,9256	16,80945	16,69	16,5771				
44	$f(x,t_p)$	357,595274	356,265699	354,968304	353,7030901	352,47	351,269	350,1	348,964	347,8597	346,8	345,748				
45	Аппроксимация $x(t_p)$ с помощью дробно-рациональной функции и вычисление приближенного значения прибыли															
46	$-x_1(t_p)$	6,072509409	6,187978887	6,300102478	6,412689059	6,525793	6,6394296	6,75361	6,868326	6,9835971	7,0994	7,215805				
47	$-x_2(t_p)$	17,72749059	17,61202111	17,49767997	17,38411896	17,271	17,157995	17,0448	16,93102	16,816395	16,701	16,58321			Коэффициенты для невязки	
48	$-f(x,t_p)$	344,1699702	343,9674872	343,7373438	343,5251837	343,3266	343,1369	342,951	342,7646	342,5722	342,37	342,1502				
49	Составление целевого критерия														b1	b2
50	$(x_1(t_p) - x_1(t_p))^2$	0,000129419	0,000113823	4,37709E-05	9,15348E-06	2,18E-09	6,692E-06	2,1E-05	3,65E-05	4,83E-05	5E-05	5,03E-05			0	1
51	$(x_2(t_p) - x_2(t_p))^2$	0,000129421	0,000113826	7,80327E-05	3,8658E-05	9,98E-06	1,335E-10	8,8E-06	2,9E-05	4,818E-05	5E-05	3,73E-05	F(D)	0,001	Невязка	
52	$(f(x,t_p) - f(x,t_p))^2$	180,2387876	151,2460012	126,1344637	103,5897801	83,60215	66,134334	51,1136	38,43371	27,958006	19,523	12,94138	F(D)	860,9	F(D)	0,001059

Рис. 1. Пример вычисления в программе Excel выборки точных и приближенных решений задачи (1)

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

☐ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения
Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка Найти решение Закрыть

Рис. 2. Пример решения задачи (3) с помощью надстройки «Поиск решения»

В результате использования надстройки Данные/Поиск решения получаем набор коэффициентов аппроксимационных моделей, представленных на рисунке 3, подставляя

которые в формулу $\tilde{x}_i(t, D) = \sum_{v=0}^n d_{i1v} t^v / \sum_{s=0}^n d_{i2v} t^v$, находим точку максимума задачи (1), удовлетворяющую ограничениям.

	A	B	C	D
43				
44	Неопределённые коэффициенты D			
45	$\sim x_1(t)$	0,0130552	0,819348722	0,044335992
46		-0,0003175	0,134700749	0,007301099
47	$\sim x_2(t)$	-8,634E-05	0	0,175792886
48		-4,861E-06	6,49737E-05	0,0099164

Рис. 3. Пример вычисленного набора коэффициентов D из задачи (3)

Таким образом получаем компоненты приближенного решения задачи (1), представленные на рисунке 4. Данная иллюстрация показывает эффективность и высокую степень точности найденного приближенного решения задачи (1).

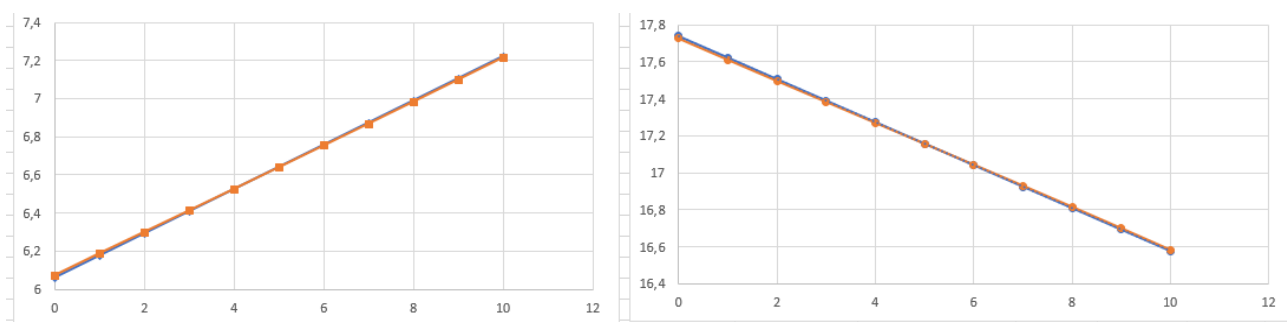


Рис. 4. Примеры диаграмм компонент выборок решений задачи (1) (синий цвет) и приближенных значений компонент вектор-функции точки максимума задачи (1) (оранжевый цвет)

Итак, получен способ приближённого решения задачи (1). Этот результат может быть полезен для поддержки принятия решения об оптимизации: производственного плана с учетом прогнозов цен и квадратичной зависимости затрат от объемов производства, для динамической оптимизации [4] портфеля инвестиций.

Литература

1. Анашкин Н. О. Квадратичная оптимизационная модель производства // Математика и ее приложения в современной науке и практике: сборник научных статей XIV Международной научнопрактической конференции студентов и аспирантов, посвященной 60-летию юбилею ЮЗГУ. Курск : изд-во ЮЗГУ, 2024. С. 164-171.
2. Гавурин М.К., Малоземов В.Н. Экстремальные задачи с линейными ограничениями. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 176 с.
3. Правдивцева А.С. Геометрический метод решения задачи квадратичного программирования с вещественным параметром // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета (г. Нижневартовск, 9–10 апреля 2025 г.) / Под общей ред. Б. Н. Махутова. Ч. 1. Нижневартовск: Издательство НВГУ, 2025. С. 210–215.

4. Шиндина К.П. Применение компьютерных вычислений в игровой динамической модели производства // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. Рязань: РГРТУ им. В.Ф.Уткина, 2024. С. 117-119.

5. Юдин Д.В. Моделирование дискретной динамики производства // XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 5–6 апреля 2022 г.). Ч. 7. Экономика. Менеджмент. Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2022. С. 615-620.

© Правдивцева А.С., 2026

Пыряева В.А.

Самарский государственный педагогический университет
г. Самара, Россия

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Одними из важнейших понятий математического анализа являются дифференциальные и интегральные уравнения. Необходимость их возникновения фактически обусловила необходимость возникновения математического анализа как раздела математики и его возросшей роли в 19 веке.

В трудах Ньютона уже встречаются дифференциальные уравнения, как форма связи между величинами, где производная понимается, как скорость измерения физической величины. Прежде чем переходить к дальнейшему анализу связи данных типов уравнений, дадим ряд соответствующих определений.

Дифференциальным уравнением называют уравнение, в котором неизвестная функция находится под знаком производной или дифференциала.

$$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0 \quad (1)$$

Решить дифференциальное уравнение вида (1) – значит, найти функцию $y = \varphi(x)$, которая при подстановке в дифференциальное уравнение обращает его в верное равенство [1].

Применение дифференциальных уравнений широко распространено в различных областях науки и техники, в частности в моделировании экономических процессов, анализе распространения и развитии популяций, в различных областях физики: например, возникают в процессе изучения динамики жидкостей, колебаний струны, явлений теории относительности. Однако их одних недостаточно для описания математическим языком всех происходящих процессов.

Интегральные уравнения появились позже, в их основе лежали задачи, требующие изучение всего накопленного влияния процесса на некоторый объект. Физики и математики приходят к выводу: так как начальные данные не определяют однозначно будущее состояние, для учета непрерывной последовательности предшествующих состояний необходимо использовать интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, где под знаком интеграла используются функции параметров, характеризующие предыдущие состояния системы по отношению к рассматриваемому моменту.

Интегральным уравнением, называется уравнение, содержащее неизвестную функцию, которую обозначим $y(x)$, под знаком интеграла:

$$\int_a^b F(x, t, y(t)) dt = G(x, y(x)) \quad (2)$$

где F, G – заданные функции. Если функция G в правой части равенства (2) не зависит от $y(x)$, то говорят об интегральном уравнении первого рода, иначе – второго рода.

Область $S = [a, b] \times [a, b]$ изменения переменных x, t в уравнении (2) называют основным квадратом, при этом функция F считается определенной в S . Промежуток $[a, b]$, на котором ищется функция $y(x)$ называется областью определения уравнения (2).

Решением интегрального уравнения (2) на промежутке $[a, b]$ называют функцию $y(x)$, которая при подстановке в это уравнение обращает его в тождество для всех $x \in [a, b]$ [2].

При этом прослеживается явная взаимосвязь между интегральными и дифференциальными уравнениями. Для ее более подробного анализа рассмотрим следующую задачу.

Задача 1. Составить интегральное уравнение, соответствующее дифференциальному уравнению $y'' - y' \sin x + e^x y = x$ и начальным условиям $y(0) = 0, y'(0) = 1$.

Обозначим $\frac{d^2 y}{dx^2} = \varphi(x)$.

Проинтегрируем обе части равенства:

$$\frac{dy}{dx} = \int_0^x \varphi(t) dt + y'(0) = \int_0^x \varphi(t) dt + 1$$

Проинтегрируем полученное равенство повторно:

$$\begin{aligned} y &= \int_0^x \int_0^z \varphi(t) dt dz + x + y(0) = \int_0^x \int_0^z \varphi(t) dt dz + x = \int_0^x \varphi(t) dt \int_t^x dz + x \\ &= \int_0^x (x - t) \varphi(t) dt + x \end{aligned}$$

Подставим в исходное уравнение выражения для y, y', y'' :

$$\begin{aligned} \varphi(x) - \left(\int_0^x \varphi(t) dt + 1 \right) \sin x + e^x \left(\int_0^x (x - t) \varphi(t) dt + x \right) &= x \\ \varphi(x) &= \int_0^x (\sin x - (x - t)e^x) \varphi(t) dt + \sin x + (1 - e^x)x \end{aligned}$$

Ответ: $\varphi(x) = \int_0^x (\sin x - (x - t)e^x) \varphi(t) dt + \sin x + (1 - e^x)x$

Таким образом, дифференциальному уравнению соответствует некоторое интегральное уравнение, что демонстрирует их связь, аналогичную связи операторов интегрирования и дифференцирования. Однако на практике переход от дифференциального уравнения к интегральному выполняют достаточно редко, так как решение дифференциального уравнения сравнительно более простая задача, нежели решение соответствующего ему интегрального уравнения.

Гораздо чаще переход выполняют в обратную сторону: для решения интегрального уравнения сначала находится соответствующее ему дифференциальное уравнение, а затем оно решается. Этот метод, в частности, лежит в основе решения одного из классических типов интегральных уравнений.

Рассмотрим интегральное уравнение Вольтерры 2-го рода:

$$y(x) = \lambda \int_a^x K(x, t) y(t) dt + f(x), x \in [a, b]$$

где $K(x, t)$ – полярное ядро, то есть представимое в виде $K(x, t) = \frac{\Phi(x, t)}{|x - t|^\alpha}$ ($\Phi(x, t)$ – непрерывная функция, $0 < \alpha < n, n$ – размерность пространства переменных)

$f(x)$ – непрерывная функция

Тогда в ряде случаев данное уравнение можно свести к дифференциальному, используя формулу дифференцирования интеграла, зависящего от параметра:

$$\frac{d}{dx} \int_{\varphi(x)}^{\psi(x)} f(x, t) dt = f(x, \psi(x)) \cdot \psi'(x) - f(x, \varphi(x)) \cdot \varphi'(x) + \int_{\varphi(x)}^{\psi(x)} f'_x(x, t) dt \quad [4]$$

Задача 2. Решить интегральное уравнение:

$$y(x) = 2e^x + \int_0^x y(t) dt$$

Подставим в данное уравнение $x = 0$: $y(0) = 2e^0 + \int_0^0 y(t) dt = 2$

Продифференцируем исходное уравнение:

$$y' = 2e^x + y, y(0) = 2$$

Решим полученную задачу Коши. Получившееся дифференциальное уравнение – неоднородное, поэтому на первом этапе составим соответствующее ему однородное дифференциальное уравнение и решим его, разделив переменные:

$$y' - y = 0$$

$$\frac{dy}{dx} = y$$

$$\frac{dy}{y} = dx$$

$$\ln y = x + \ln C$$

$$y = C \cdot e^x$$

Для решения соответствующего неоднородного уравнения воспользуемся методом Лагранжа, представив постоянную, как неизвестную функцию того же аргумента:

$$y = C(x) \cdot e^x$$

Найдем ее производную:

$$y' = C'(x) \cdot e^x + C(x) \cdot e^x$$

Подставим в исходное дифференциальное уравнение:

$$C'(x) \cdot e^x + C(x) \cdot e^x = 2e^x + C(x) \cdot e^x$$

$$C'(x)e^x = 2e^x$$

$$C'(x) = 2$$

$$C(x) = 2x + C_1$$

Тогда решение дифференциального уравнения имеет вид: $y = (2x + C_1) \cdot e^x$

Найдем значение C_1 : $y(0) = C_1 = 2$

Ответ: $y = (2x + 2) \cdot e^x$

Задача 3. Решить уравнение:

$$y(x) = e^{-x} \cos x - \int_0^x \cos x \cdot e^{t-x} y(t) dt$$

Здесь ядро $K(x, t) = e^t \cdot e^{-x} \cdot \cos x$ является вырожденным.

Введем функцию $u(x) = \int_0^x e^t y(t) dt$.

Найдем ее производную: $u'(x) = e^x y(x)$

Заданное уравнение запишется в виде $y(x) = e^{-x} \cos x - \cos x \cdot e^{-x} \cdot u(x)$

Подставим полученное выражение в производную функции $u(x)$

$$u'(x) = \cos x - u(x)\cos x$$
$$u'(x) + u(x)\cos x = \cos x, u(0) = 0$$

Решим полученное дифференциальное уравнение. Данное уравнение также является неоднородным дифференциальным уравнением, поэтому составим и решим сначала соответствующее однородное дифференциальное уравнение

$$u' + u \cos x$$
$$\frac{du}{dx} = -u \cos x$$
$$\frac{du}{u} = -\cos x dx$$
$$\ln u = -\sin x + \ln C$$
$$u = C \cdot e^{-\sin x}$$

Для решения неоднородного уравнения воспользуемся методом Лагранжа:

$$u(x) = C(x) \cdot e^{-\sin x}$$

Найдем производную данной функции:

$$u'(x) = C'(x) \cdot e^{-\sin x} - \cos x \cdot C(x) \cdot e^{-\sin x}$$

Полученные на предыдущем этапе выражения подставим в исходное дифференциальное уравнение:

$$C'(x) \cdot e^{-\sin x} - \cos x C(x) \cdot e^{-\sin x} + \cos x \cdot C(x) \cdot e^{-\sin x} = \cos x$$
$$C'(x)e^{-\sin x} = \cos x$$
$$dC(x) = \cos x \cdot e^{\sin x} dx$$
$$C(x) = e^{\sin x} + C_1$$

Тогда $u(x) = (e^{\sin x} + C_1) \cdot e^{-\sin x}$

$$u(0) = 1 + C_1 = 0$$
$$C_1 = -1$$
$$u(x) = (e^{\sin x} - 1)e^{-\sin x} = 1 - e^{-\sin x}$$
$$u'(x) = \cos x \cdot e^{-\sin x}$$
$$u'(x) = e^x y(x)$$
$$\cos x \cdot e^{-\sin x} = e^x y(x)$$
$$y(x) = \cos x \cdot e^{-x-\sin x}$$

Ответ: $y(x) = \cos x \cdot e^{-x-\sin x}$

Еще одним способом перехода от одного вида уравнения к другому является использование преобразования Лапласа и методов операционного исчисления. В таком случае уравнение сначала сводится к алгебраическому, а затем к дифференциальному или интегральному, при необходимости [3].

Также ярко подтверждает взаимосвязь между интегральными и дифференциальными уравнениями факт существования интегро-дифференциальных уравнений. Со смысловой точки зрения такие уравнения, в которых к неизвестной функции применяются одновременно и операция интегрирования, и операция дифференцирования, представляют собой уравнения,

которые, как описывают причины, легшие в основу протекания некоего процесса, так и рассматривают его характеристики и дальнейшее поведение. В простых случаях при этом методы решения интегро-дифференциальных уравнений схожи с методами решения интегральных уравнений [5].

Таким образом, дифференциальные и интегральные уравнения взаимосвязаны между собой, подобно операторам дифференцирования и интегрирования. При этом их можно рассматривать как различные формы одного и того же уравнения, и в случае необходимости возможно осуществлять перехода от одной формы уравнения к другой, что используется чаще всего для решения интегральных уравнений.

Литература

1. Бибииков Ю.Н., Букаты В.Р. Дифференциальные уравнения. Санкт-Петербург: Лань, 2021.
2. Ловитт У. В. Линейные интегральные уравнения. М.: Едиториал УРСС, 2004. 232 с.
3. Мирошин Н.В., Логинов А.С., Гордеев Ю.Н., Простокишин В.М. Интегральные и дифференциальные операторы и обобщённые функции. М.: НИЯУ МИФИ, 2010.
4. Силаев А.А., Паршикова Г.Ю., Перфильев А.А. О связи линейных интегральных уравнений Вольтерра и Фредгольма с линейными дифференциальными уравнениями // Инновации и инвестиции. 2021.
5. Фалалеев М.В. Интегро-дифференциальные уравнения с фредгольмовым оператором при старшей производной в банаховых пространствах и их приложения // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Математика. 2012. Т. 5, № 2. С. 90-102.

© Пыряева В.А., 2026

Харитонов Л.С.

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Арзамасский политехнический институт
г. Арзамас, Россия

БИОПОДОБНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВУХЗВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Введение. Биоподобные принципы применяются во многих областях науки и техники. Примерами этого являются многочисленные биомиметические инженерные изобретения (самолёт, вертолёт, солнечные панели), а также алгоритмы оптимизации (метод муравьиной колонии, генетические алгоритмы). Несомненным преимуществом применения биоподобных методов в физико-математических и технических науках является возможность решения с их помощью различных нестандартных задач, тем не менее часто встречающихся на практике.

Большая часть методов управления движением для нелинейных систем предполагает достаточно точное описание объекта управления (ОУ). В то же время, модели сложных физических систем, как правило, содержат значительные неопределённости. Поэтому особое значение приобретает применение концепции биоподобия для задачи управления механическим движением в условиях существенной априорной неопределённости, то есть, когда управляющее устройство (УУ) располагает лишь ограниченной информацией об ОУ. В этом случае контроллер может основываться на механизмах адаптации, принципах робастности или их комбинации. Одним из эффективных методов управления нелинейными системами в условиях неопределённости является подход на основе скользящих режимов. Этот метод особенно перспективен для разработки робастных систем управления механическими объектами, в том числе в области мягкой робототехники (англ. *soft robotics*).

Важно, чтобы принцип управления обеспечивал устойчивость к неопределённостям различной природы. Живые организмы успешно решают двигательные задачи в условиях практически полной неопределённости (по сравнению с классическими представлениями робототехники). Лишь некоторые виды неопределённостей, с которыми живые организмы сталкиваются и успешно справляются практически постоянно:

- структурная: точная математическая модель ОУ неизвестна для УУ;
- параметрическая: значения параметров системы (напр., моменты инерции звеньев скелета) неизвестны;
- силовая: возмущающие силы (напр., гравитация, ветер) неизвестны;
- информационная: сенсоры обладают шумами, в системе присутствует запаздывание.

Объект управления, о котором известно лишь то, что его движение является механическими, был назван Е. С. Пятницким чёрным ящиком механической природы [2].

Движение рабочей точки многосвязной системы по заданной траектории – фундаментальная задача теории управления и робототехники. Классическое её решение подразумевает сперва решение обратной кинематической задачи (ОКЗ) для вычисления целевых суставных углов и дальнейшее приведение системы в вычисленное положение при

помощи контроллера [1]. Однако, в условиях параметрической неопределённости решение ОКЗ является в принципе невозможным.

В связи с вышеизложенным тема работы является **актуальной**.

Целью данной работы является применение биоподобного управления для решения задачи отслеживания траектории двухзвенной системой в условиях силовой, параметрической, структурной и информационной неопределённостей.

Научная новизна работы заключается в использовании биоподобного подхода (импульсно-скользящего режима с адаптацией коэффициентов) для управления движением двухзвенного манипулятора в условиях неопределённости.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов для управления системами с ограниченной информацией, неполным описанием, а также в области мягкой робототехники – в частности, для создания роботов, способных безопасно взаимодействовать с человеком.

Постановка задачи отслеживания траектории двухзвенным манипулятором в условиях неопределённости. Требуется, чтобы *рабочая точка* $x = (x_1, x_2)$ двухзвенного манипулятора перемещалась по некоторой заранее неизвестной *целевой траектории*, заданной параметрическими уравнениями в декартовых координатах: $f^*(t) = (x_1^*(t), x_2^*(t))$. То есть требуется рассчитать движение двухзвенной системы таким образом, чтобы её рабочая точка последовательно достигала заданного набора целевых точек.

Будем считать, что ОУ является чёрным ящиком механической природы. Тогда без обратной связи и сравнения текущего состояния с желаемым управление в принципе невозможно. Состояние системы в терминах ошибок управления опишем вектором

$$\Delta S(t) = S(t) - S^*(t) = [x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2]^T - [x_1^*, x_2^*, \dot{x}_1^*, \dot{x}_2^*]^T = [\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta \dot{x}_1, \Delta \dot{x}_2]^T, \quad (1)$$

где S, S^* – текущее и целевое состояния системы в момент времени t , $\Delta x_i = x_i - x_i^*$, $\Delta \dot{x}_i = \dot{x}_i - \dot{x}_i^*$ ($i = 1, 2$) – ошибки движения рабочей точки x по координатам и скоростям соответственно. Тогда для решения задачи требуется устремить все переменные вектора ΔS к нулю.

Требуется решать задачу в условиях практически полной неопределённости:

1. Математическая модель ОУ отсутствует (*структурная* неопределённость), система может быть нелинейной.
2. Параметры системы неизвестны (*параметрическая* неопределённость).
3. Внешние и внутренние возмущающие силы неизвестны (*силовая* неопределённость).
4. Помимо прочего, точное сравнение x_i и x_i^* , а также $\dot{x}_i$ и $\dot{x}_i^*$ невозможно (*информационная* неопределённость). Необходимо формировать управляющие воздействия, опираясь на информацию не количественного типа – *лишь на знаки* ошибок управления, то есть *наблюдаемое состояние* системы в момент времени t формализуется вектором

$$S_{\text{obs}}(t) = \text{sign } \Delta S = [\text{sign } \Delta x_1, \text{sign } \Delta x_2, \text{sign } \Delta \dot{x}_1, \text{sign } \Delta \dot{x}_2]^T. \quad (2)$$

Учитывая наличие стольких априорных неопределённостей, решение задачи классическими методами невозможно.

Описание основного механизма управления. Теоретической основой данного исследования является концепция теоретической биомеханики Е. С. Пятницкого [2]. Учитывая ограниченные возможности мозга животных и человека, успешно справляющихся с двигательными задачами, он доказал, что существует *единственный механизм* формирования управляющего момента, не требующий использования точной количественной информации, то есть принимающий решения на основе лишь наблюдаемого состояния. Этот механизм также обеспечивает *устойчивость* удержания системы на целевой траектории. Кроме того, Е. С. Пятницкий показал, что при описании движения в декартовых координатах рабочей точки нельзя получить механизм управления, использующий только знаки ошибок, однако это возможно в полярных координатах [2]. Механизм формирования управляющих моментов в полярных координатах в зависимости от ошибок управления в прямоугольных координатах рабочей точки имеет вид:

$$\begin{cases} M_1(t) = -a_{11}(t) \operatorname{sign} \Delta x_1 - a_{12}(t) \operatorname{sign} \Delta x_2 - b_{11}(t) \operatorname{sign} \Delta \dot{x}_1 - b_{12}(t) \operatorname{sign} \Delta \dot{x}_2 \\ M_2(t) = -a_{21}(t) \operatorname{sign} \Delta x_1 - a_{22}(t) \operatorname{sign} \Delta x_2 - b_{21}(t) \operatorname{sign} \Delta \dot{x}_1 - b_{22}(t) \operatorname{sign} \Delta \dot{x}_2 \end{cases} \quad (3)$$

где функции-коэффициенты $a_{ij}(t)$, $b_{ij}(t)$ удовлетворяют следующим ограничениям:

$$a_{ij} > b_{ij} + M_i^{\text{ext}} + M_i^{\text{int}} > 2 \cdot (M_i^{\text{ext}} + M_i^{\text{int}}), \quad b_{ij} > M_i^{\text{ext}} + M_i^{\text{int}}, \quad a_{ij} + b_{ij} \leq H_i, \quad (4)$$

где $i = 1, 2$ – номер звена; $j = 1, 2$ – номер координаты; $M_i^{\text{ext}} \geq 0$ – максимальный момент внешних возмущающих сил, действующих на i -е звено; $M_i^{\text{int}} \geq 0$ – максимальное значение целевого управляющего момента для i -го звена; $H_i > 0$ – максимально возможная величина управляющего ресурса для i -го звена.

Данный механизм является нестационарным: функции-коэффициенты $a_{ij}(t)$, $b_{ij}(t)$ изменяются по принципу «мгновенный скачок – монотонное убывание»:

$$a_{ij}(t): \begin{cases} \text{возрастает скачком,} & \Delta x_j = 0 \\ \text{монотонно убывает,} & \Delta x_j \neq 0 \end{cases}, \quad b_{ij}(t): \begin{cases} \text{возрастает скачком,} & \Delta \dot{x}_j = 0 \\ \text{монотонно убывает,} & \Delta \dot{x}_j \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Формула (5) показывает, что коэффициент должен возрасти скачком, когда соответствующая ему ошибка в уравнении (3) равна нулю, а иначе монотонно убывать. Таким образом, параметрами, которые можно варьировать для настройки регулятора, являются величина скачка (импульса) и скорость монотонного убывания (адаптации, релаксации). При этом величины скачков коэффициентов достаточно выбрать один раз, а закон их убывания не имеет принципиального значения. Поскольку считаем, что УУ не может осуществлять проверку на точное равенство, скачок коэффициента в формуле (5) на практике должен происходить при смене знака соответствующей ошибки управления.

Таким образом, механизм (3–5) описывает кусочно-непрерывное импульсно-скользящее управление. Несмотря на то, что в неживой природе разрывные системы встречаются нечасто [3], оказывается, что именно такой принцип лежит в концепции управления движением живых организмов с помощью мышц.

Описание физической системы. Хотя УУ не обладает информацией о математической модели системы, для понимания дальнейшего изложения приведём краткое описание её

физической модели. Система представляет собой двухзвенный физический маятник, состоящий из «плечевого» и «локтевого» звеньев. Плечевое звено закреплено в неподвижной точке с помощью цилиндрического шарнира, а локтевое звено прикреплено ко второму концу плечевого звена также с помощью цилиндрического шарнира. На свободном конце локтевого звена расположена рабочая точка. Каждый сустав приводится в движение парой актуаторов (двигателей), совершающих усилия в противоположных направлениях, аналогично мышцам живых организмов. Для обеспечения *единственности* решения, необходимо, чтобы движение в локтевом суставе было ограничено одним направлением: $\phi_2 \in [0, \pi]$ или $\phi_2 \in [-\pi, 0]$. Стоит отметить, что такое ограничение характерно и для многих биологических суставов, расположенных между звеньями скелета приблизительно одинаковой длины. На систему могут действовать внешние силы, включая нелинейные возмущения и сопротивление среды. Кинематическая схема модели представлена на рисунке 1. Параметры системы не раскрываются, так как она рассматривается как «чёрный ящик».

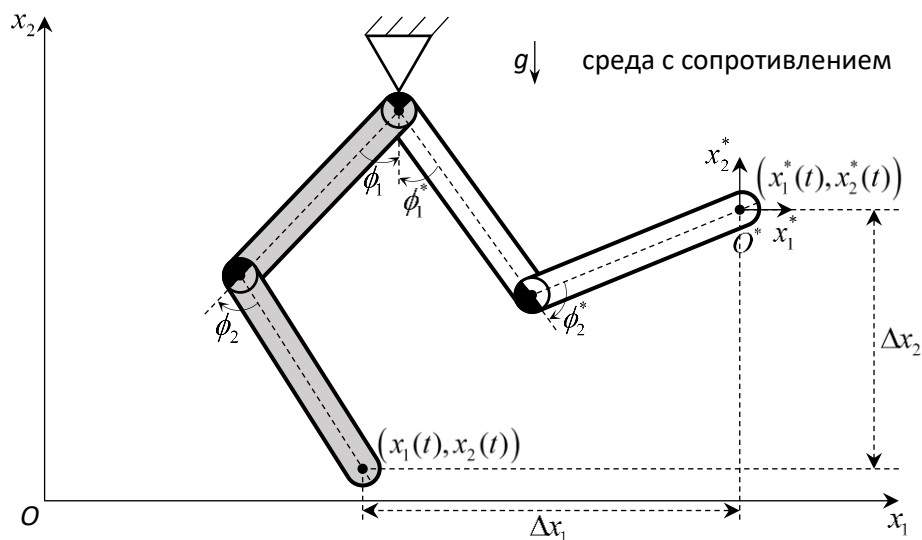


Рис. 1. Кинематическая схема модели (составлено автором)

Итак, цель управления состоит в минимизации вектора ошибок ($\Delta S \rightarrow 0$) при условии, что доступна лишь информация о знаках этих ошибок ($S_{\text{obs}} = \text{sign } \Delta S$). Для этого к звеньям системы необходимо приложить такие управляющие моменты, чтобы обеспечить сходимость суставных углов к их целевым значениям: $\phi_1 \rightarrow \phi_1^*$, $\phi_2 \rightarrow \phi_2^*$ ($\Delta \phi_i \rightarrow 0$), что, в свою очередь, гарантирует достижение рабочей точкой целевых координат: $x_1 \rightarrow x_1^*$, $x_2 \rightarrow x_2^*$ ($\Delta x_i \rightarrow 0$).

Имитационное моделирование. Проиллюстрируем механический манипулятор с двумя степенями свободы для задачи слежения эталонной траектории на вычислительных примерах.

В ходе имитационного моделирования использовалось свободное программное обеспечение: среда виртуального физического моделирования MuJoCo (Multi-Joint dynamics with Contact) и высокоуровневый язык программирования Python. Специализированные библиотеки не использовались, предложенный подход может быть реализован с помощью любого языка программирования и физического симулятора.

Для численного моделирования и векторизации вычислений механизм (3) можно записать в векторно-матричной форме:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & b_{11} & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} & b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \cdot \text{sign} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta \dot{x}_1 \\ \Delta \dot{x}_2 \end{bmatrix} = -[\mathbf{A} \quad \mathbf{B}] \cdot \text{sign} \Delta \mathbf{S} = -\mathbf{K} \cdot \mathbf{S}_{\text{obs}}, \quad (6)$$

или, в более компактном виде:

$$\mathbf{M}_{n \times 1} = -\mathbf{K}_{n \times 2n} \cdot \text{sign} \Delta \mathbf{S}, \quad n = 2. \quad (7)$$

Значения величин скачков и скоростей убывания для коэффициентов a_{ij} , b_{ij} матрицы $\mathbf{K}$ подбирались эмпирически. Конкретный вид монотонного убывания, упомянутого в уравнении (5), реализован с использованием экспоненциального закона.

Рассмотрим слежение системой следующих гладких и ломаных траекторий различной сложности: эллипс, кардиоида, лемниската Бернулли, треугольник, четырёхугольник, пятиконечная звезда.

На основе кинематической схемы (рис. 1) были разработаны XML-модели для трёх сценариев. Далее представлены результаты моделирования для каждого из них.

1. Идеализированные условия: внешние возмущения отсутствуют, актуаторы обладают линейной динамикой. Скриншот MuJoCo-модели и результаты моделирования для данного случая представлены на рисунке 2.

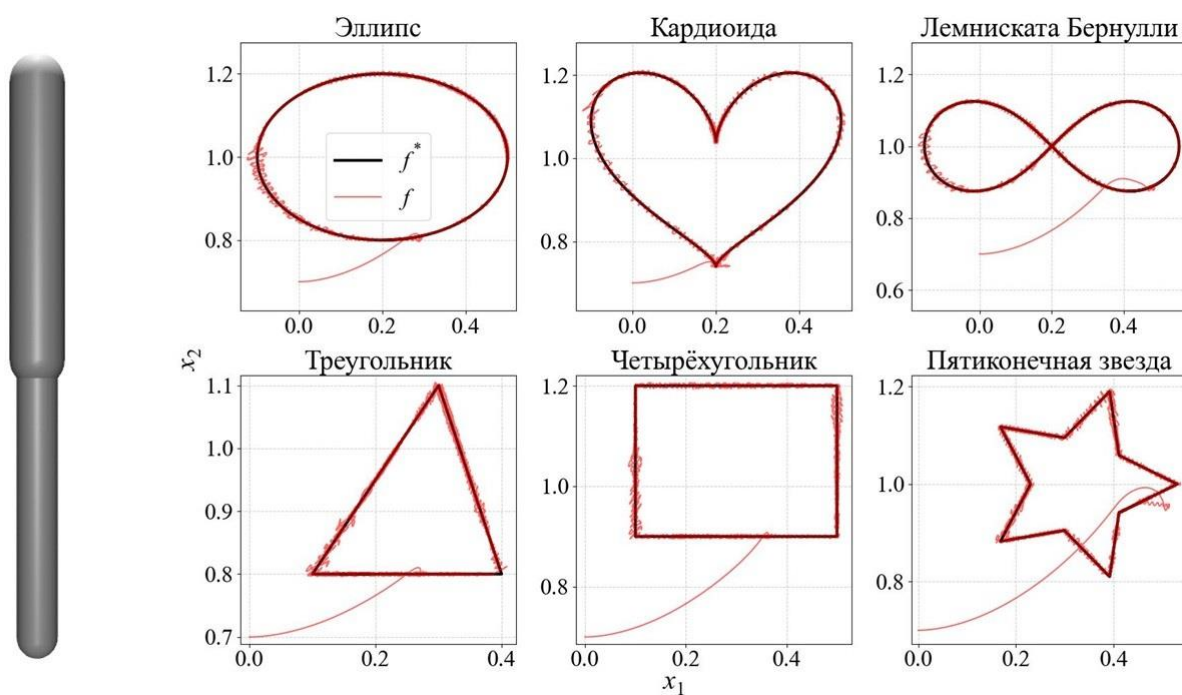


Рис. 2. Скриншот модели и графики траектории рабочей точки в идеализированных условиях (составлено автором)

2. Рассмотрим динамику системы в условиях, близких к земным: в модели MuJoCo учитываются гравитация, вязкое сопротивление среды и воздействие ветра. Актуаторы имеют линейную динамику. Скриншот модели и результаты моделирования представлены на рис. 3.

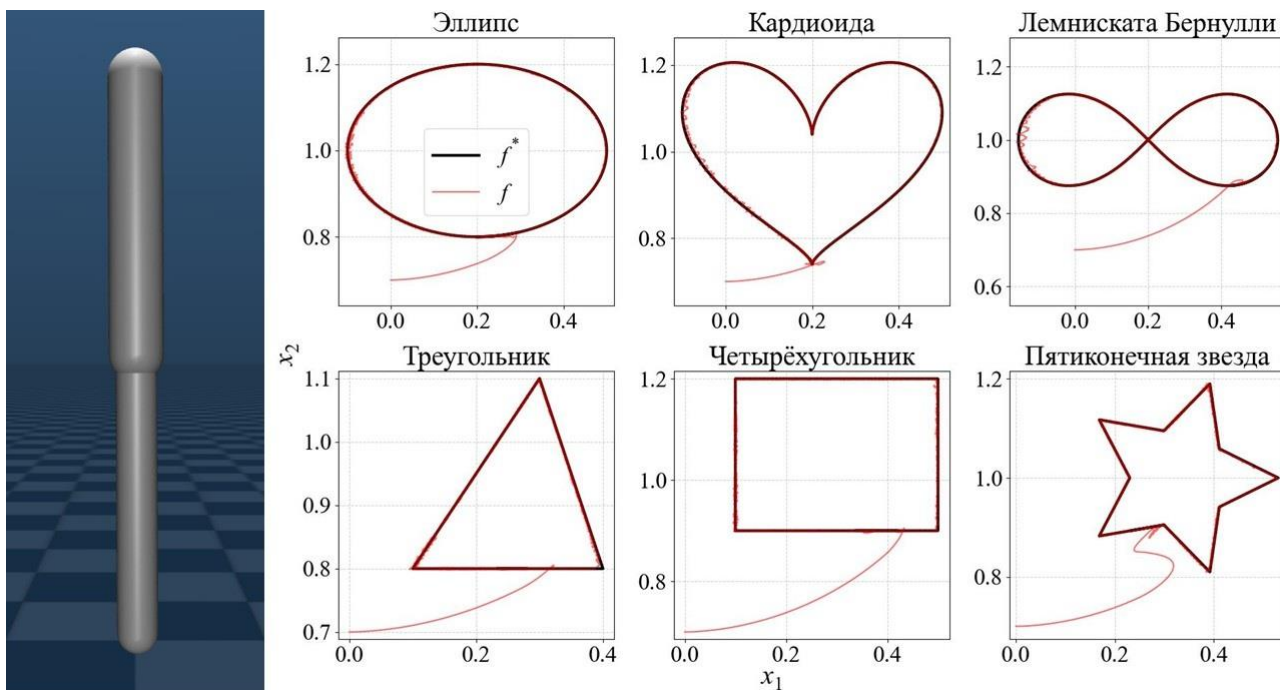


Рис. 3. Скриншот модели и графики траектории рабочей точки в условиях, близких к земным (составлено автором)

3. Промоделируем систему в случае, когда дополнительно к земным условиям (гравитация, среда с сопротивлением), актуаторы обладают нелинейной динамикой. Для этого использовались актуаторы типа *muscle-tendon*, которые имитируют мышцы живых организмов (их динамика описывается моделью Хилла). Скриншот соответствующей MuJoCo-модели и результаты моделирования представлены на рис. 4.

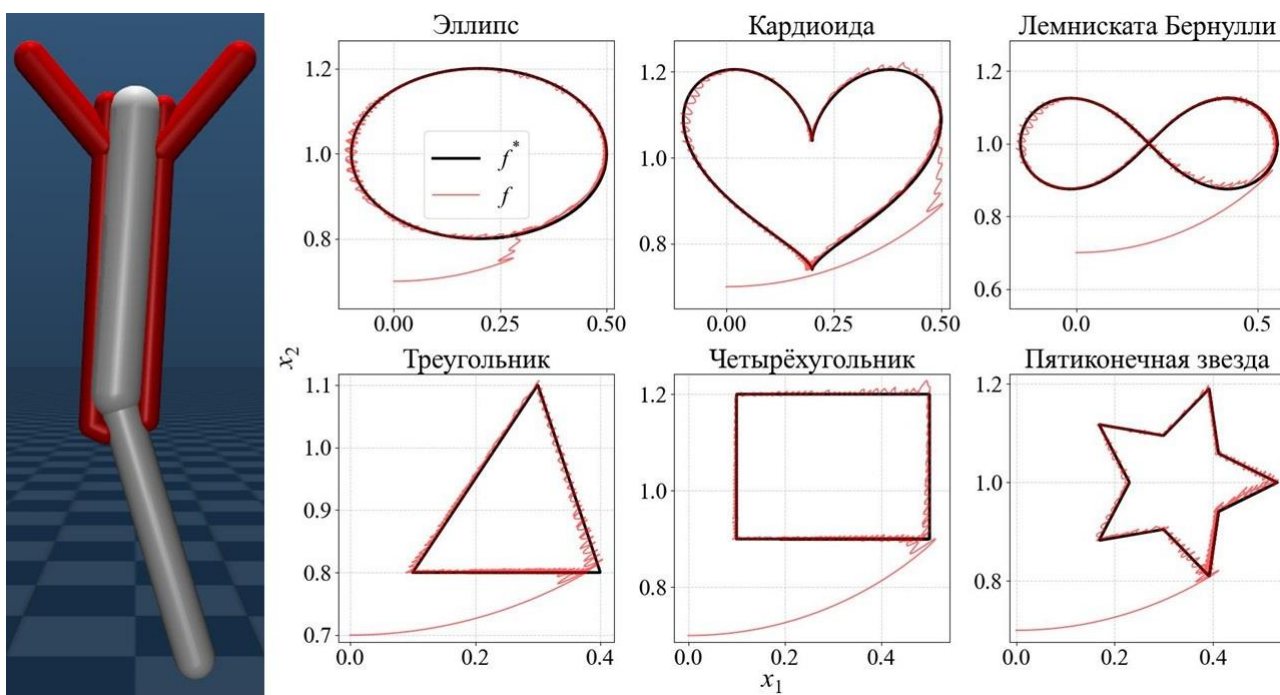


Рис. 4. Скриншот модели с актуаторами-мышцами и графики траектории рабочей точки в земных условиях (составлено автором)

Обсуждение результатов моделирования. В результате моделирования было подтверждено, что механизм управления (3–5) способен повторять задаваемую траекторию, последовательно перемещая по ней рабочую точку. Система может быть нелинейной, подвергаться воздействию сопротивления и шумов. Как видно из графиков (рис. 2–4), система функционирует в скользящем режиме и демонстрирует робастность к неопределённостям, поскольку единственная информация, на которую опирается УУ – наблюдаемое состояние (2), т. е. лишь знаки ошибок управления.

Настройка величин скачков и скоростей убывания для коэффициентов a_{ij} , b_{ij} производится для крайних точек области достижимости – на границах рабочего диапазона. Это обеспечивает работоспособность механизма во всём рабочем диапазоне. Единовременный подбор параметров позволяет достичь любой точки в пределах рабочей области и, следовательно, воспроизвести любую траекторию, лежащую в этих границах.

Очевидно, что вычислительная производительность формулы (6) гораздо выше решения системы дифференциальных уравнений и обращения якобиана для ОКЗ.

Скользящий режим предполагает достижение многообразия скольжения и дальнейшее удержание на нём. Система успешно воспроизводит требуемое движение, однако в процессе выполнения наблюдаются непроизвольные колебания (тремор). Импульсное управление, в частности скользящий режим, делает систему робастной к различного рода шумам и неопределённостям. Однако его применение сопряжено с появлением неизбежного побочного эффекта – дрожания. Это явление свойственно и живым организмам: даже у здоровых особей наблюдается физиологический тремор, который, как правило, незаметен невооружённым глазом из-за низкой амплитуды и высокой частоты. Даже при оптимальной настройке параметров, обеспечивающей наискорейшее достижение многообразия скольжения и устойчивое удержание на нём, полностью устранить тремор и добиться идеально гладких траекторий невозможно. Однако важно учитывать, условиях скольких априорных неопределённостей решается задача – сам факт работоспособности системы в таких условиях уже является весьма интересным.

При управлении идеализированной системой, на которую не действуют внешние силы, а актуаторы обладают линейной динамикой, не возникает труда подобрать параметры скачков и затуханий для коэффициентов матрицы $\mathbf{K}$ в (7) эмпирическим путём. Однако при усложнении системы – добавлении внешних сил и нелинейности актуаторов – ручной подбор параметров усложняется: зависимость между ними и реакцией системы становится менее очевидной.

Важно отметить *универсальность* единовременно подобранных параметров: найденные для управления системой с внешними возмущениями, они сохраняют работоспособность и в их отсутствие. Аналогично, параметры, подобранные для системы с нелинейными актуаторами, остаются эффективными и в случае их линейной динамики.

Заключение. Таким образом, для решения задачи отслеживания траектории двухзвенной системой в условиях параметрической, информационной, структурной и силовой неопределённостей был применён биоподобный механизм управления на основе импульсно-

скользящего режима с адаптацией коэффициентов. Примечательно, что единственной информацией, которой при этом располагает УУ, являются лишь знаки ошибок управления.

Промоделировано управление несколькими MuJoCo-моделями в различных условиях: идеализированных, близких к земным и с нелинейными актуаторами-мышцами. Система успешно отслеживает как гладкие, так и ломаные траектории. Единовременная настройка параметров позволяет системе воспроизводить любую траекторию – как в условиях с возмущениями и нелинейностями, так и в их упрощённых вариантах.

В перспективе планируется автоматизация подбора параметров механизма (3–5), включая онлайн-настройку, а также минимизация тремора, исследование систем с большим числом степеней свободы (в том числе, когда их количество избыточно), сферических суставов, систем с запаздыванием и нейроморфного управления.

Литература

1. Захаров Д.Н., Куровский Д.М., Ракшин Е.А., Борисов О.И., Громов В.С., Колюбин С.А. Моделирование и управление движением роботов. СПб.: Университет ИТМО, 2023. 84 с.
2. Пятницкий Е.С. Избранные труды: в 3 т. Т. 3. Теоретическая биомеханика. Концепция управления движением в условиях неопределенности. М.: Издательство физико-математической литературы, 2006. 448 с.
3. Финогенко И.А. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью. Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2013. 82 с.

© Харитонов Л.С., 2026

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ

Рассматривается антагонистическая игра двух лиц, где матрица выигрышей $A(t) = (a_{ij}(t))$ размерности $n \times m$ зависит от времени $t \in [0; T]$, а ее элементы $a_{ij}(t)$ являются полиномами степеней не выше w

Задача: требуется найти смешанные стратегии игроков в параметрической матричной игре.

Если матрица выигрышей не зависит от параметра, традиционный подход к решению основывается на переходе к задачам линейного программирования [1, с.88]. В отличие от этого классического случая, в исследуемой постановке задачи линейного программирования включен параметр. При этом в научной литературе детально проработан лишь частный вариант, когда коэффициенты связаны с параметром линейно. Альтернативный подход к решению поставленной игровой задачи [5, с. 221–226] основан на вычислении седловой точки функции среднего выигрыша в смешанных стратегиях. Для полученной таким образом пары смешанных стратегий в виде векторных функций параметра требуется проверить условия допустимости. Эта проверка сводится к решению системы неравенств для параметра. Оба подхода связаны со значительными вычислительными трудностями и не обеспечивают устойчивой алгоритмической базы для компьютерной реализации [4]. Поэтому целесообразно использовать **алгоритм приближенного решения игры**.

1. Составляются K двойственных непараметрических задач:

$$\begin{cases} f(p) = \sum_{i=1}^n p_i \rightarrow \min, \\ B(t_k)^T p \geq E_m, p_i \geq 0, i = \overline{1, n}; \end{cases} \quad \begin{cases} g(q) = \sum_{j=1}^m q_j \rightarrow \max, \\ B(t_k)q \leq E_n, q_j \geq 0, j = \overline{1, m}, \end{cases} \quad (1)$$

в которых: $t_k \in [0; T]$, $k = \overline{1, K}$ – выборка значений моментов времени; $B(t) = (b_{ij}(t))$,

$b_{ij}(t) = a_{ij}(t) + 2 \max_{1 \leq i \leq n} \left| \min_{[0; T]} a_{ij}(t) \right|$ – вспомогательная матрица выигрышей (матрица с

положительной нижней ценой игры); E_m и E_n – столбцы из n и из m единиц соответственно,

2. Вычисляются выборки значений оптимальных смешанных стратегий: для игрока 1 –

$$x(t_k) = \frac{1}{f(p^{(k)})} p^{(k)}, \text{ для игрока 2 – } y(t_k) = \frac{1}{g(q^{(k)})} q^{(k)},$$

где векторы $p^{(k)}$, $q^{(k)}$ представляют собой решения задач (1). В соответствии теории двойственности для них справедливы соотношения $f(p^{(k)}) = g(q^{(k)})$, $k = \overline{1, K}$.

3. С целью нахождения значений вектор-функций $x(t)$ и $y(t)$, соответствующих оптимальному поведению игроков, вводятся их приближенные представления $\tilde{x}(t, a)$ и $\tilde{y}(t, b)$ которые зависят от наборов коэффициентов a и b , подлежащих дальнейшему определению. Для вычисления этих коэффициентов используется целевой критерий

$$S(a, b) = \alpha_1 \cdot H(a) + \alpha_2 \cdot G(b) + \alpha_3 \cdot F(a, b) \rightarrow \min \quad (2)$$

в виде выпуклой линейной комбинации квадратичных невязок $H(a) = \sum_{k=1}^K (x(t_k) - \tilde{x}(t_k, a))^2$, $G(b) = \sum_{k=1}^K (y(t_k) - \tilde{y}(t_k, b))^2$, $F(a, b) = \sum_{k=1}^K \left(x^T(t_k) A(t_k) y(t_k) - \tilde{x}^T(t_k, a) A(t_k) \tilde{y}(t_k, b) \right)^2$, где квадраты являются скалярными. При этом дополнительно целесообразно произвести варьирование весов невязок в критерии (2).

Подход к выбору аппроксимирующих моделей базируется на следующих положениях. С учетом условия нормировки $\sum_{i=1}^n x_i = 1$, $\sum_{j=1}^m y_j = 1$ векторов смешанных стратегий $x = (x_1, \dots, x_n)^T$

, $y = (y_1, \dots, y_m)^T$ для функции среднего выигрыша $f(x, y, t) = x^T A(t) y$ запишем необходимые

условия экстремума $\begin{cases} f'_x = 0_n, \\ f'_y = 0_m. \end{cases}$ Так как любая матричная игра имеет решение в смешанных

стратегиях, то из необходимых условий без дополнительного учета ограничений удастся получить компоненты седловой точки в виде отношений многочленов степеней не выше $u = w(\max(n, m) - 1)$. Следует принять во внимание, что для функций одной переменной

эффективна Паде-аппроксимация при достаточно больших показателях степеней числителя и знаменателя. Поэтому для целевой функции в критерии (2) представляется обоснованным использовать модели смешанных стратегий в виде вектор-функций $\tilde{x}(t, a)$ и $\tilde{y}(t, b)$, которые

имеют дробно-рациональные компоненты $\tilde{x}_i(t, a) = \sum_{s=0}^u a_{i1s} t^s / \sum_{s=0}^u a_{i2s} t^s$,

$$\tilde{y}_j(t, b) = \sum_{s=0}^u b_{j1s} t^s / \sum_{s=0}^u b_{j2s} t^s.$$

Результатом применения данного алгоритма для решения поставленной задачи являются приближенные значения $\tilde{x}(t, a)$ и $\tilde{y}(t, b)$ оптимальных стратегий игроков и оптимальной средней цены игры $\tilde{x}^T(t, a) A(t) \tilde{y}(t, b)$.

Следует отметить, что задачи (1) и (2) могут быть эффективно реализованы с использованием стандартного программного обеспечения, например, Excel. Это показали проведенные численные эксперименты.

Пример. Пусть $A(t) = \begin{pmatrix} 1615-57t & 315-55t & 310-59.9t \\ 1620-48t & 1620-48t & 1215-48.9t \\ 936-53t & 1136-51.5t & 1656-56t \end{pmatrix}$ – матрица выигрышей,

$t \in [0; 10]$. Увеличив все коэффициенты A на $h = 620$, получим вспомогательную матрицу

$$B(t) = \begin{pmatrix} 2235 - 57t & 935 - 55t & 930 - 59.9t \\ 2240 - 48t & 2240 - 48t & 1835 - 48.9t \\ 1556 - 53t & 1756 - 51.5t & 2276 - 56t \end{pmatrix} \text{ с положительной нижней ценой игры. При таком}$$

линейном преобразовании смешанные стратегии инвариантны, их вычисление сводится к решению задачи (1). Практическая реализация данного подхода осуществлялась в среде Excel. На отрезке $[0; 10]$ были зафиксированы целочисленные моменты времени t , для которых последовательно определялись оптимальные смешанные стратегии. Фрагмент расчета стратегии первого игрока для фиксированного значения параметра $t = 10$ (соответствующего рис. 1) иллюстрирует решение прямой задачи линейного программирования из системы (1).

Отыскание смешанной стратегии игрока 1			
Вектор 1 вспомогательных переменных P			
	0,000121426	0,00021258	0,00025604
Произведения столбцов матрицы выигрышей на вектор 1 вспомогательных переменных B·P			
	1,018415872	1,03931789	1,08575721
Минимум вспомогательной функции - m (суммы вспомогательных переменных 1: P1+P2+P3)			
	0,000590046		
Оптимальная смешанная стратегия игрока 1 - X1=P/m			0,205790658
(вероятности применения игроком 1 своих чистых стратегий			0,360275978
для достижения максимума выигрыша)			0,433933364

Рис. 1. Определение оптимальной стратегии игрока 1 методом линейного программирования в Excel

Анализ полученных дискретных значений стратегий показал, что наиболее адекватное описание достигается при использовании дробно-рациональных аппроксимаций порядка не выше второго. Варьирование учитываемых степеней многочленов и весов в (2) подтвердило целесообразность выбора в качестве модели смешанной стратегии игрока 1 функцию с

компонентами вида $\tilde{x}_i(t, a) = \frac{a_{i12}^2 t + a_{i11} t + a_{i10}}{a_{i21} t + a_{i20}}$ (аналогично и для игрока 2). Оценка

параметров моделей выполнялась методом наименьших квадратов средствами надстройки «Поиск решения». Соответствующие результаты для первого игрока отражены на рисунках 2 и 3. Визуальное сопоставление исходных данных и подобранных моделей представлено на рисунке 4. Аналогичная процедура идентификации параметров проведена для смешанной стратегии второго игрока.

t	0	1	2	3	4	5	
Оптимальные смешанные стратегии игрока 1							
$x_1(t)$	0,24600939	0,24135931	0,23686362	0,23251628	0,22831156	0,22424401	0,22030
$x_2(t)$	0,42253521	0,41606757	0,4096573	0,40330291	0,39700301	0,39075623	0,38456
$x_3(t)$	0,3314554	0,34257312	0,35347908	0,3641808	0,37468543	0,38499976	0,39513
Модели оптимальных смешанных стратегий игрока 1							
$x^{*1}(t)$	0,24606919	0,24063863	0,23653867	0,2325607	0,22861968	0,2246947	0,22077
$x^{*2}(t)$	0,42265829	0,41605431	0,40963923	0,40332286	0,39706456	0,39084329	0,3846
$x^{*3}(t)$	0,33127252	0,34330706	0,35382211	0,36411643	0,37431576	0,384462	0,39457
Квадрат отклонения							
$(x_1(t)-x^{*1}(t))^2$	3,5759E-09	5,1938E-07	1,056E-07	1,9732E-09	9,4937E-08	2,0312E-07	2,2061E
$(x_2(t)-x^{*2}(t))^2$	1,5149E-08	1,758E-10	3,2663E-10	3,9782E-10	3,7885E-09	7,5807E-09	7,3644E
$(x_3(t)-x^{*3}(t))^2$	3,3445E-08	5,3867E-07	1,1767E-07	4,143E-09	1,3666E-07	2,8919E-07	3,0859E

Рис. 2. Пример вычисления параметров модели смешанной стратегии игрока 1

Коэффициенты дробно-рациональной модели			
$x^*i(t) = (ai12*t^2 + ai11*t + ai10)/(ai21*t + ai20)$			
$x^{*1}(t)$			
$a11j$	-0,001273408	0,0793388	0,024341167
$a12j$	0	0,32664156	0,098920013
$x^{*2}(t)$			
$a21j$	-0,00027315	0,01791815	0,062109159
$b22j$	0	0,04474284	0,14694887
$\sum (x_1(t)-x^{*1}(t))^2$			
1,7563E-06			
$\sum (x_2(t)-x^{*2}(t))^2$			
1,304E-07			
$\sum (x_3(t)-x^{*3}(t))^2$			
2,5686E-06			
$H(a)=\sum (x(t)-x^*(t))^2$			
4,4553E-06			

Рис. 3. Оценка параметров дробно-рациональной модели стратегии первого игрока

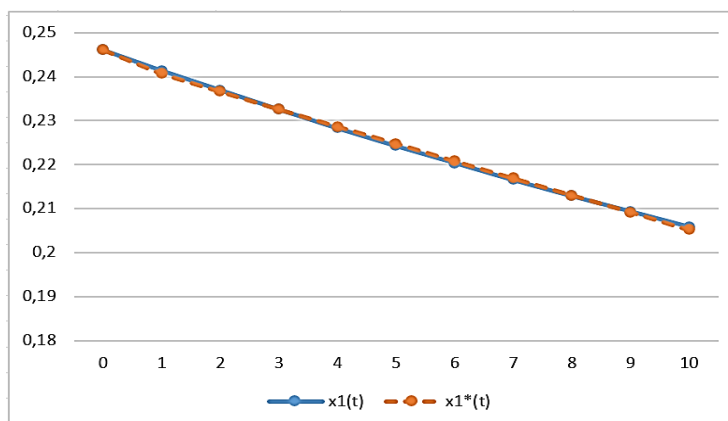


Рис. 4. Сравнение эмпирических данных (синяя линия) и модельных кривых (оранжевый штрих) для стратегии первого игрока

Далее на рисунке 5 представлены точные и модельные значения выигрыша, рассчитанные с использованием аппроксимаций смешанных стратегий [2; 3]. Также на рисунке 6 показан поиск минимума критерия точности (2), учитывающего отклонения смешанных стратегий с весовыми коэффициентами, в процессе расчета которого определяются коэффициенты моделей смешанных стратегий игроков.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
137	t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
138	Выигрыш										
139	f(t)	871,2094	862,4652	853,8586	845,3919	837,0673	828,8865	820,8507	812,9611	805,2184	797,6
140	Модель выигрыша										
141	f*(t)	871,3251	861,8901	853,5225	845,3613	837,2987	829,2913	821,316	813,3592	805,412	797,4
142	Квадрат отклонения										
143	(f(t)-f*(t))²	0,013403	0,330832	0,112976	0,00094	0,053521	0,163844	0,216492	0,158474	0,03747	0,023
144											
145	$F(a,b) = \sum (f(t) - f^*(t))^2$			$S(a,b) = \alpha_1 * H(a) + \alpha_2 * G(b) + \alpha_3 * F(a,b)$				где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - "приоритеты"			
146	1,536250116							α_1	α_2	α_3	
147				$S(a,b) =$		2,54E-06		0,5	0,5	0	

Рис. 5. Вычисление точных и модельных значений выигрыша игрока 1

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию: ↑

До:
 ☐ Максимум
 ☒ Минимум
 ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:
 ↑

В соответствии с ограничениями:

$\begin{aligned} &\$C\$123 = 0 \\ &\$C\$127 = 0 \\ &\$C\$88 = 0 \\ &\$C\$92 = 0 \\ &\$K\$147 \leq 0,5 \\ &\$K\$147 \geq 0 \end{aligned}$

Добавить

Изменить

Удалить

Сбросить

Загрузить/сохранить

☐ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения: ↓

Параметры

Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

[Справка]
Найти решение
[Закрыть]

Рис. 6. Настройка «Поиска решения» для подбора коэффициентов моделей стратегий игроков

На рисунке 7 показана иллюстрация аппроксимации функции оптимальной средней цены игры.

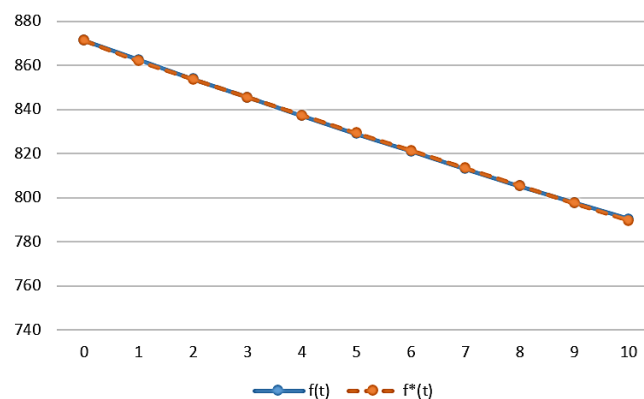


Рис. 7. Сравнение эмпирических данных (синяя линия) и модельных кривых (оранжевый штрих) для оптимального выигрыша первого игрока

Итак, предложенный приближенный способ решения параметрической матричной игры демонстрирует вычислительную эффективность. Полученные результаты могут быть полезны для построения динамической игровой модели оптимизации производственного плана в условиях неопределенного спроса.

Литература

1. Абрамов В.В., Мамонов С.С., Мишакова Н.А., Эфендиев У.Н. Теория игр. Рязань: РГУ им. С.А. Есенина, 2016. 88 с.
2. Лыкова Е.А., Лыкова Е.С. Применение метода наименьших квадратов для нахождения прогнозируемых значений // Современные инновации, системы и технологии – Modern Innovations, Systems and Technologies. 2024. 4(4). С. 0426–0435. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-4-0213-0222>
3. Новикова Н.М., Пospelова И.И. Задача конечной аппроксимации равновесного множества для многокритериальных биматричных игр // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2025. № 4. С. 53-67. <https://doi.org/10.55959/MSU/0137-0782-15-2025-49-4-53-67>
4. Смагин Б.И. Решение матричной игры двух лиц с нулевой суммой (с использованием системы Maple) // Наука и образование. 2023. Т. 6. № 2. URL: <https://clck.ru/3Thizo>
5. Шиндина К.П. Игровая модель сбыта // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета (Нижневартовск, 9–10 апреля 2025 г.). Ч. 1. Естественные и точные науки. Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2025. С. 221-226.

© Шиндина К.П., 2026

Юсупова Е.Р.

Сургутский государственный педагогический университет
г. Сургут, Россия

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕШЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В КУРСЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Изучение экстремальных задач занимает особое место в структуре математического образования, поскольку именно этот раздел наиболее рельефно демонстрирует связь абстрактных математических построений с потребностями практической деятельности. Феномен экстремальной задачи заключается в том, что, оставаясь в рамках строгой математической теории, она требует от обучающегося не только владения вычислительным аппаратом, но и способности к содержательной интерпретации получаемых результатов [3, с. 110]. Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью преодоления разрыва между формальным изучением техники дифференцирования и пониманием тех реальных оптимизационных процессов, которые описываются с ее помощью в различных сферах человеческой деятельности.

Теоретическим фундаментом исследования выступают классические положения математического анализа, согласно которым экстремум функции определяется как наибольшее или наименьшее ее значение в некоторой области. Принципиальное значение для методики обучения имеет различие локального и глобального экстремумов, поскольку при решении прикладных задач, как правило, речь идет именно о нахождении глобального экстремума на заданном промежутке с учетом естественных ограничений, вытекающих из условия задачи [5, с. 64]. Аппарат дифференциального исчисления, включающий необходимое условие экстремума и достаточные условия, основанные на анализе знака первой или второй производной, представляет собой универсальный инструмент, применимость которого простирается далеко за пределы собственно математики.

В дидактике высшей школы сложилось понимание того, что эффективное обучение решению экстремальных задач невозможно без их предварительной типологизации. Представляется целесообразным выделять задачи безусловной оптимизации, где исследование функции проводится на всей области ее определения; задачи условной оптимизации на замкнутом промежутке, требующие сопоставления значений функции в критических точках и на границах интервала; а также прикладные задачи, исходная формулировка которых принадлежит иным предметным областям и требует перевода на язык математических отношений [4, с. 112]. Такая классификация позволяет выстроить логически последовательную траекторию освоения учебного материала и обеспечить преемственность формируемых навыков.

Специфика геометрических экстремальных задач определяется характером связей между переменными, которые задаются неявно через фундаментальные геометрические соотношения: теорему Пифагора, подобие треугольников, свойства вписанных фигур. Целевая функция здесь часто приобретает дробно-рациональный или иррациональный характер, причем основная дидактическая трудность заключается не столько в технике

дифференцирования, сколько в корректном составлении уравнения связи. Преодоление этой трудности требует развития пространственного воображения и устойчивых навыков работы с чертежом как с особым семиотическим средством математической деятельности.

Экономические экстремальные задачи характеризуются тем, что ограничения здесь носят преимущественно естественный характер и выражаются в форме неравенств, отражающих неотрицательность объемов производства или наличие бюджетных ограничений. Целевые функции прибыли, издержек или спроса, как правило, являются полиномиальными, причем точка экстремума, найденная формально-математическими средствами, может оказаться экономически несостоятельной, что требует от исследователя дополнительного анализа. Методически значимым представляется акцент на интерпретации математического результата в категориях экономической целесообразности, включая анализ рентабельности и определение пороговых значений [2, с. 80].

Физические экстремальные задачи отличаются тем, что переменные в них связаны объективными законами природы, которые задают не только функциональную зависимость, но и границы существования исследуемого процесса. Включение тригонометрических, показательных или логарифмических компонентов в состав целевой функции требует от обучающегося свободного владения всем арсеналом математических средств. Особую методическую ценность представляет возможность продемонстрировать единство формально-математического подхода и физической интуиции, что способствует формированию целостного естественнонаучного мировоззрения.

Формируемые в процессе решения экстремальных задач компетенции носят интегративный характер и выходят далеко за рамки собственно математической подготовки. Учебно-познавательная компетенция проявляется в способности планировать последовательность действий и осуществлять перенос знаний из одной предметной области в другую. Аналитическая компетенция реализуется в умении абстрагироваться от конкретного содержания задачи и выделять ее существенные математические характеристики. Исследовательская компетенция формируется через освоение логики научного поиска: выдвижение гипотезы о положении экстремума, ее проверку с использованием достаточных условий и последующую верификацию полученного результата. Наконец, профессионально-прикладная компетенция обеспечивает понимание того, каким образом математические модели оптимизации соотносятся с реальными процессами в будущей профессиональной деятельности [1, с. 115].

Обобщение практического опыта преподавания позволяет предложить универсальный алгоритм решения экстремальных задач, который может служить методической основой для организации учебного процесса. Начальный этап предполагает формализацию исходной ситуации и построение математической модели: необходимо идентифицировать величину, подлежащую оптимизации, ввести переменные, сконструировать целевую функцию и, в случае наличия нескольких переменных, установить уравнение связи. Второй этап включает собственно математическое исследование: вычисление производной, определение критических точек, анализ их характера с помощью достаточных условий и установление

границ изменения независимой переменной, диктуемых условием задачи. Завершающий этап заключается в интерпретации полученных результатов: вычисление искомой величины в оптимальной точке, выбор наилучшего варианта, формулировка ответа в терминах исходной задачи и критическая оценка реалистичности полученного решения.

Эффективность предложенного алгоритма может быть проиллюстрирована на конкретных примерах из различных предметных областей. Рассмотрим геометрическую задачу об оптимизации формы балки прямоугольного сечения, вырезаемой из круглого бревна радиуса R . Согласно положениям сопротивления материалов, прочность балки на изгиб пропорциональна произведению ширины сечения на квадрат его высоты. Обозначив полуширину и полувысоту сечения через x и y соответственно и воспользовавшись уравнением окружности $x^2 + y^2 = R^2$, получаем целевую функцию $P(x) = 8x(R^2 - x^2)$, определенную на интервале $(0; R)$. Исследование функции с помощью производной $P'(x) = 8R^2 - 24x^2$ приводит к критической точке $x = \frac{R}{\sqrt{3}}$. Отрицательность второй производной $P''(x) = -48x$ на всей области определения подтверждает, что найденная точка доставляет максимум целевой функции. Соответствующие оптимальные размеры сечения: ширина $\frac{2R}{\sqrt{3}}$ и высота $2R\sqrt{\frac{2}{3}}$, что дает отношение высоты к ширине, равное $\sqrt{2}$.

Обратимся к экономической задаче об оптимальном объеме производства. Пусть функция издержек предприятия имеет вид $C(x) = 0,5x^3 - 6x^2 + 25x + 150$ денежных единиц, а цена единицы продукции фиксирована и составляет 25 денежных единиц. Функция прибыли, определяемая как разность дохода и издержек, принимает вид $\Pi(x) = -0,5x^3 + 6x^2 - 150$. Исследование этой функции на экстремум дает производную $\Pi'(x) = -1,5x^2 + 12x = -1,5x(x - 8)$, обращающуюся в ноль в точках $x = 0$ и $x = 8$. Анализ знака производной показывает, что на интервале $(0; 8)$ функция прибыли возрастает, а при $x > 8$ убывает, следовательно, точка $x = 8$ является точкой максимума. Вычисление значения функции в этой точке дает $\Pi(8) = -22$ денежных единицы. Отрицательное значение прибыли при оптимальном объеме производства имеет важное дидактическое значение, поскольку демонстрирует необходимость содержательной интерпретации формального математического результата и указывает на наличие проблемы постоянных издержек, не позволяющих предприятию выйти на безубыточность даже при оптимальной организации производства.

Рассмотрим физическую задачу о максимизации дальности полета тела, брошенного под углом к горизонту. При начальной скорости 20 м/с и ускорении свободного падения 10 м/с² дальность полета описывается функцией $L(\alpha) = 40 \cdot \sin 2\alpha$, где α – угол бросания, принимающий значения в интервале $(0; \pi/2)$. Функция $\sin 2\alpha$ достигает своего наибольшего значения, равного единице, при $2\alpha = \pi/2$, что соответствует углу $\alpha = 45^\circ$. Полученный результат хорошо согласуется с известным из курса физики положением о том, что максимальная дальность полета в отсутствие сопротивления воздуха достигается именно при таком угле бросания, что служит наглядной иллюстрацией единства математического и физического подходов к исследованию природных явлений.

Особого внимания в методике преподавания заслуживают комбинированные экстремальные задачи, интегрирующие знания из двух и более предметных областей. В отличие от монодисциплинарных задач, комбинированные требуют от обучающегося не только владения математическим аппаратом, но и понимания специфических закономерностей других наук, а также умения устанавливать содержательные связи между ними. Показательным примером выступает задача об оптимизации размеров складского помещения прямоугольной формы, примыкающего одной стеной к существующему зданию. В этой задаче геометрический этап органически соединен с экономическим расчетом стоимости материалов, причем наличие «бесплатной» стены создает асимметрию, делающую решение неочевидным. Другой содержательный пример представляет задача из области ландшафтного дизайна: «При создании городского парка необходимо разбить прямоугольную клумбу площадью $S \text{ м}^2$, окруженную дорожкой постоянной ширины. Ширина дорожки должна быть не менее $k \text{ м}$ для комфортного прохода. Стоимость озеленения клумбы составляет $r \text{ руб./м}^2$, стоимость мощения дорожки – $C \text{ руб./м}^2$. Каковы оптимальные размеры клумбы, минимизирующие общую стоимость строительства, если внешний периметр участка, отведенного под клумбу с дорожкой, фиксирован и равен $a \text{ м}$?». Здесь геометрические соотношения между размерами клумбы, шириной дорожки и внешним периметром непосредственно определяют экономическую эффективность проекта, а требование минимальной ширины дорожки выступает социально значимым ограничением. Такие задачи наиболее адекватно отражают реальные профессиональные ситуации, где инженерные, экономические, экологические и социальные факторы существуют не изолированно, а в сложном взаимодействии. Решение комбинированных задач способствует формированию целостного научного мировоззрения, развитию системного мышления и подготовке будущего специалиста к комплексному анализу многокритериальных ситуаций. Методически ценно, что такие задачи естественным образом мотивируют студентов к изучению математического аппарата, демонстрируя его универсальность и практическую значимость за пределами собственно математики. Кроме того, работа с комбинированными задачами создает благоприятные условия для реализации исследовательского подхода в обучении, поскольку требует от студента не просто применения готового алгоритма, а содержательной интерпретации промежуточных и итоговых результатов с позиций различных наук [1, с. 115].

Представленные примеры убедительно свидетельствуют о том, что решение экстремальных задач выступает действенным инструментом формирования профессиональных компетенций будущих специалистов. Применение единого математического аппарата к анализу качественно разнородных процессов (геометрических, экономических и физических) раскрывает универсальность методов математического анализа и способствует укреплению межпредметных связей в образовательном процессе. Предложенный в работе алгоритм может быть положен в основу методического обеспечения практических занятий по соответствующей теме, обеспечивая системность и последовательность в формировании у обучающихся навыков решения оптимизационных задач.

Литература

1. Байзулаев С.А., Гергова З.Х., Гузиева Л.М., Ягумова З.Н. Влияние модификации промышленного производства на пространственное развитие региона в условиях нового технологического уклада. Нальчик, 2022. 107 с.
2. Галынчик Т.А., Данилова С.В., Бондаренко А.Н. Теоретические основы оценки финансовых рисков при совершенствовании финансового состояния предприятия // Региональные проблемы преобразования экономики. 2023. № 11(157). С. 77-83.
3. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах: учеб. пособие для вузов: в 2 ч. Ч. 1. 8-е изд., стер. М.: Издательство Юрайт, 2022. 416 с.
4. Середовских Б.А., Соколов С.Н., Козелкова Е.Н., Дерябина В.В. Повышение профессиональной подготовки студентов через участие в научно-исследовательских проектах прикладного характера // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы X Международной научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 10-11 ноября 2022). Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2022. С. 209-217. <https://doi.org/10.36906/KSP-2022/29>
5. Современный словарь по математике / В.К. Егерев, В.В. Зайцев, Б.А. Кордемский [и др.]; под ред. М.И. Сканави. М.: АСТ, 2021. 256 с.

© Юсупова Е.Р., 2026

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Батракова А.А., Мазур К.Д., Герасимова П.А.

Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА КАК ТОПЛИВА ДЛЯ ПАРОВАЗОВЫХ УСТАНОВОК: ПРЕИМУЩЕСТВА, ОГРАНИЧЕНИЯ И МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ

Ежегодно большое количество попутного нефтяного газа (ПНГ) сжигается в факелах, что вызывает экономические потери и вред окружающей среде. Выбросы CO_2 , метана, сажи и оксидов серы и азота ухудшают здоровье и ускоряют таяние ледников.

Парогазовые установки (ПГУ) с КПД выше 60 % – эффективное решение для утилизации ПНГ, позволяя получать тепло и электроэнергию. Они подходят регионам с богатым газовым ресурсом и развитой инфраструктурой, обеспечивая высокую энергоэффективность без строительства газопроводов [3; 7].

Однако использование ПНГ в парогазовых циклах осложнено нестабильностью состава: колебания метана, тяжелых углеводородов, азота и сероводорода, а также теплотворной способности (20–50 МДж/м³) вызывают пульсации пламени, снижение мощности, повреждение оборудования и усложняют управление турбиной [4;5].

Месторождения и оборудование требуют индивидуальных решений. Цель исследования – разработать методологию оценки и оптимизации использования ПНГ в парогазовых установках на основе его характеристик, систематизировать свойства, выявить преимущества и ограничения, создать модель для повышения эффективности и стабильности работы.

В ХМАО состав ПНГ сильно варьируется в зависимости от месторождения, глубины и типа нефти, что обусловлено геологией. Основные компоненты: метан (до 85%), этан, пропан и тяжелые углеводороды (до 5–15%), а также азот (0,1–10%) и CO_2 (0,5–5%). В примеси входят сероводород и меркаптаны [2; 5]. Таблица 1 содержит усреднённые диапазоны состава; точное определение необходимо для каждого участка.

Таблица 1

Сводная таблица для сравнения

Тип месторождения / Газ	CH_4 , % об.	C_2H_6 , % об.	$\text{C}_3\text{-C}_4$, % об.	C_5+ , % об.	N_2+CO_2 , % об.	Q_{H}^{p} , МДж/м ³	Ключевая проблема для ПГУ
1. Крупное, зрелое (Самотлор)	50–70	10–20	12–25	3–8	2–8	40–48	Конденсация, коксование, высокое $T_{\text{ух}}$.
2. С газовой шапкой (Зап.-Салым)	65–85	8–15	6–17	2–7	1–6	35–42	Наименьшая, наиболее стабильное топливо.
3. С выс. балластом (нек-е уч-ки)	40–60	5–15	5–15	1–5	15–35	25–32	Низкое число Воббе, риск срыва пламени.
4. После УКПГ (товарный)	80–95	5–15	< 2	следы	2–6	33–38	Сниженная мощность ГТУ из-за меньшей Q_{H}^{p} .

При анализе ПНГ в ХМАО можно сделать выводы для эффективной работы ПГУ:

- Проектировать ПГУ по среднестатистическому составу ПНГ неправильно: нужен хотя бы год мониторинга состава газа на конкретном месторождении для точных данных.
- В проектировании важная задача: борьба с конденсацией (подогрев), предотвращение коксования (удаление C5+), стабилизация числа Воббе через усреднение и коррекцию.
- Типичный состав ПНГ – «жирный» газ, требующий стандартной подготовки (сепаратор, подогреватель, адсорбер).
- При содержании азота выше 3 % экономика падает, что требует его удаления или смешивания с более калорийным газом.

Для правильного проектирования и оптимизации необходимы точные данные: хроматография, измерения давления и температуры, а также графики изменений. Это сложно и дорого в реальном времени.

Важно учитывать преимущества, ограничения и технологические сложности при создании ПГУ на ПНГ. В таблице 2 – дополнительные сведения по этим аспектам.

Таблица 2

Преимущества и ограничения применения попутного нефтяного газа в качестве топлива для парогазовых установок

Преимущества	Ограничения и технологические вызовы
Энергетическая и экологическая эффективность	Зависимость от нестабильных параметров топлива
Экономические и ресурсные выгоды	Высокие требования к системе топливоподготовки
Технологическая гибкость и надежность	Риски для основного оборудования ПГУ
Стратегическое и регуляторное соответствие	Логистическая и инфраструктурная сложность

Следовательно, использование ПНГ в парогазовом цикле представляет собой оптимальное, но высокотехнологичное и капиталоемкое решение. Оно превращает экологическую проблему в коммерческое преимущество только при условии преодоления фундаментального противоречия между нестабильным, низкосортным сырьем ПНГ и требовательной к постоянным параметрам высокоэффективной технологией ПГУ. Успех проекта определяется качеством предпроектного анализа, разработкой адекватной системы топливоподготовки и экономическим обоснованием, учитывающим весь жизненный цикл месторождения.

Математическая модель для анализа и оптимизации режимов ПГУ на ПНГ

1. Концепция и границы модели

Модель представляет собой стационарную термодинамическую модель замкнутой системы (установившегося режима), предназначенную для анализа чувствительности и оптимизации ключевых параметров ПГУ при работе на ПНГ переменного состава [2; 6].

Контрольный объем: в модель включены основные аппараты парогазового цикла [6]:

- Газовая турбина (ГТУ): осевой компрессор, камера сгорания (КС), газовая турбина.
- Котел-утилизатор (КУ): зоны: экономайзер, испаритель, пароперегреватель.

– Паротурбинный контур (ПТУ): Паровая турбина (ЦВД, ЦСД, ЦНД), конденсатор, система регенерации (простейшая схема с деаэратором), питательные насосы.

Ключевые упрощающие допущения: установившийся режим работы; тепловые и гидравлические потери в газо- и паропроводах, а также в окружающую среду задаются постоянными относительными коэффициентами; состав ПНГ постоянен в течение расчетного шага (квазистационарность); продукты сгорания рассматриваются как идеальная газовая смесь с переменной теплоемкостью; коэффициенты полезного действия компрессора и турбин (изоэнтروпический КПД) задаются в виде полиномиальных зависимостей от степени сжатия/расширения и расхода; в котле-утилизаторе не моделируется геометрия, используется метод «секционирования» по температуре [6].

2. Основные уравнения модели

2.1. Термодинамика ГТУ

Расчет свойств топлива и воздуха:

$$Q_H^p = f(\text{компонентный состав ПНГ}),$$

$$W = \frac{Q_H^p}{\sqrt{\rho}}$$

где Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания, W – индекс Воббе, ρ – относительная плотность газа по воздуху.

Удельные теплоемкости компонентов рассчитываются по полиномам.

Компрессор:

- Степень повышения давления: $\pi_k = \text{задано}$;
- Работа сжатия L_k (с учетом изоэнтропического КПД (η_k)):

$$L_k = \frac{(h(T_{\text{вых},s}) - h(T_{\text{вх}}))}{\eta_k},$$

где $h(T_{\text{вых},s})$ – энтальпия газа в конечной точке идеального (изоэнтропного) процесса сжатия, $h(T_{\text{вх}})$ – энтальпия газа на входе в компрессор при начальных температуре и давлении.

– выразим зависимость конечной температуры газа (T_2) от двух его параметров состояния в выходном сечении компрессора: давления (P_2) и энтальпии (h_2):

$$T_2 = f(P_2, h_2),$$

где $h_2 = h_1 + L_k$ – относительная плотность газа по воздуху (h_1 – начальная удельная энергия (энтальпия) газа на входе).

Камера сгорания:

- Уравнение энергетического баланса:

$$G_{\text{воз}} h_{\text{воз}}(T_2) + G_{\text{топ}} Q_H^p \eta_{\text{кс}} = (G_{\text{воз}} + G_{\text{топ}}) h_{\text{т}}(T_3),$$

где $G_{\text{воз}}$, $G_{\text{топ}}$ – расход воздуха и топлива, $h_{\text{воз}}(T_2)$, $h_{\text{т}}(T_3)$ – энтальпия при температуре воздуха T_2 и энтальпия продуктов сгорания (газа) при температуре T_3 (перед турбиной), $\eta_{\text{кс}}$ – коэффициент полноты сгорания (КПД камеры сгорания), учитывающий, что не всё топливо сгорает идеально.

– Ключевая зависимость: Температура газов перед турбиной T_3 определяется из баланса и является либо заданным пределом, либо результатом при фиксированном расходе топлива. Состав продуктов сгорания рассчитывается по стехиометрии с учетом полноты сгорания.

Газовая турбина:

– Степень расширения: $\pi_T = P_3/P_4$ (с учетом потерь давления в КС и тракте, где P_3 – полное давление газа на входе в турбину (после камеры сгорания), P_4 – полное давление газа на выходе из турбины).

– Работа расширения:

$$L_T = (h(T_3) - h(T_{4s}))\eta_T,$$

где $h(T_3)$ – удельная энтальпия рабочего тела на входе в турбину (в точке 3 теплового цикла), T_{4s} – температура изэнтропического расширения, η_T – внутренний относительный КПД турбины.

– Мощность ГТУ:

$$N_{ГТУ} = (G_{воз} + G_{топ})L_T - G_{воз}L_K.$$

2.2. Тепловой баланс котла-утилизатора (КУ)

Входные данные: Расход и параметры газов на входе в КУ (G_T , T_4 , состав).

Секционирование (для 3-х ступеней):

– Пароперегреватель:

$$Q_{пп} = G_T (h_T(T_4) - h_T(T_{г,вх,исп})) = G_{п} (h_{пп} - h_{нп}),$$

где $h_T(T_4)$ – удельная энтальпия газов на входе в пароперегреватель (при температуре T_4 , обычно на выходе из турбины), $h_T(T_{г,вх,исп})$ – удельная энтальпия газов на выходе из пароперегревателя (что соответствует входу в испаритель), $G_{п}$ – массовый расход пара, $h_{пп}$ – удельная энтальпия перегретого пара (на выходе из устройства), $h_{нп}$ – удельная энтальпия насыщенного пара (на входе в перегреватель).

– Испаритель:

$$Q_{исп} = G_T (h_T(T_{г,вх,исп}) - h_T(T_{г,вх,эк})) = G_{п} (h' - h_{пв}),$$

где $h_T(T_{г,вх,исп})$ – удельная энтальпия газов на входе в испаритель, $h_T(T_{г,вх,эк})$ – удельная энтальпия газов на выходе из испарителя (которая является входной для экономайзера). h' – удельная энтальпия кипящей воды (насыщенной жидкости) при давлении в барабане, $h_{пв}$ – удельная энтальпия питательной воды на входе в испарительный контур (после экономайзера).

– Экономайзер:

$$Q_{эк} = G_T (h_T(T_{г,вх,эк}) - h_T(T_{г,ух})) = G_{п} (h_{пв} - h_{пв,вх}),$$

где $h_T(T_{г,вх,эк})$ – удельная энтальпия газов на входе в экономайзер, $h_T(T_{г,ух})$ – удельная энтальпия уходящих газов на выходе из котла (после экономайзера), $h_{пв}$ – удельная энтальпия питательной воды на выходе из экономайзера (перед подачей в испарительный контур), $h_{пв,вх}$ – удельная энтальпия воды на входе в экономайзер (после деаэратора или питательного насоса).

Температура уходящих газов ($T_{ух}$) определяется из баланса экономайзера при условии соблюдения минимального температурного напора на «бутылочном горлышке» (испарителе).

Выходные параметры пара: давление и температура свежего пара (P_n, T_n) могут быть как заданы, так и оптимизированы.

2.3. Паровой цикл

Расширение в паровой турбине: Моделируется как изоэнтропический процесс с последующим учетом внутреннего относительного КПД (η_{oi}) для каждой цилиндрической секции.

$$N_{ПТУ} = G_n \sum (L_i \eta_{oi,i}),$$

где L_i – работа расширения на i -й ступени.

Конденсатор: Задается давлением конденсации P_k . Энтальпия конденсата принимается равной энтальпии кипящей воды при P_k .

Система регенерации: Упрощенно может быть задана доля отбора пара α на деаэратор. Энтальпия питательной воды после деаэратора рассчитывается из баланса смешения.

2.4. Интегральные показатели

Электрическая мощность ПГУ:

$$N_{ПГУ} = N_{ГТУ} + N_{ПТУ} - N_{сн},$$

где $N_{сн}$ – мощность на собственные нужды (~2-3 %).

Интегральный электрический КПД:

$$\eta_{ПГУ} = \frac{N_{ПГУ}}{G_{топ} Q_H^p}$$

Удельный расход топлива (на электроэнергию), г у.т./кВт·ч:

$$b_e = \frac{3600}{\eta_{ПГУ} Q_H^p}.$$

Удельный расход ПНГ (кг/кВт·ч):

$$B_{ПНГ} = \frac{3600 G_{топ}}{N_{ПГУ}}.$$

3. Входные и выходные параметры модели представлены в таблице 3

Таблица 3

Входные и выходные параметры модели

Группа	Входные параметры	Выходные параметры
Топливо (ПНГ)	1. Мольный/массовый состав ($CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4^+, N_2, CO_2, H_2S, H_2O$). 2. Давление на входе в систему. 3. Температура. 4. Расход.	1. Расчетные свойства: Q_H^p , число Воббе, плотность, точка росы.
Оборудование и режим	Параметры настройки ГТУ: степень сжатия (π_k), температура газов перед турбиной (T_3), изоэнтропические КПД. 2. Параметры парового цикла: давление и температура свежего пара, давление в конденсаторе. 3. Параметры КУ: минимальный температурный напор, точка недогрева. 4. Климатические условия: температура и влажность атмосферного воздуха.	1. Мощности: $N_{ГТУ}, N_{ПТУ}, N_{ПГУ}, N_{сн}$, (МВт). 2. Эффективность: $\eta_{ГТУ}, \eta_{ПГУ}, b_e$. 3. Температуры: T_4 (после ГТ), $T_{ух}$ (после КУ), T_n (пара). 4. Расходы: воздуха, газов, пара, топлива. 5. Тепловые балансы узлов.

4. Алгоритм оптимизации

– Формулировка целевой функции (F_{obj}) [1]:

Основная: Максимизация интегрального электрического КПД:

$$F_{obj} = \max(\eta_{пгу}).$$

Альтернативные: Максимизация мощности ($N_{пгу}$) или минимизация удельного расхода топлива (b_e). Возможна многокритериальная оптимизация с весовыми коэффициентами.

– Выбор варьируемых (управляемых) параметров (X): $T_{вз}$ – температура предподогрева воздуха перед компрессором (зависит от климата и рекуператора); π_k – степень сжатия в компрессоре (для анализа различных моделей ГТУ или режимов); T_3 – температура газов перед турбиной (варьируется в пределах технического предела материала); P_n – давление пара перед паровой турбиной; r – степень рециркуляции дымовых газов (для снижения NO_x , но влияет на состав и температуру).

– Ограничения:

Технические: $T_3 \leq T_{3max}$, $\pi_{k,min} \leq \pi_k \leq \pi_{k,max}$, $V_{выхлопа, ГТУ} \leq V_{ном}$.

Экологические: NO_x , $CO \leq [NO_x, CO]_{lim}$ (связываются с T_3 и r через эмпирические корреляции).

Топливные: $W_{min} \leq W \leq W_{max}$, $T_{топл} \geq T_{точки, росы} + \Delta T$.

Технологические: $\Delta T_{тз} \geq \Delta T_{min}$ (в КУ, где $\Delta T_{тз}$ – температурный напор в «точке заземления» (обычно на выходе газов из испарителя). Это минимальная разность температур между греющим газом и кипящей водой, ΔT_{min} – минимально допустимое значение этого напора, задаваемое проектировщиком для современных ПГУ), степень осушки пара на выходе ЦНД $\geq 0,88$.

Для задач с плавными зависимостями используют метод градиентного спуска или его модификации. При наличии дискретных переменных (выбор типа ГТУ) или негладких ограничениях – методы случайного поиска, роя частиц или генетические алгоритмы. В решении: модель рассчитывает цикл по заданному составу ПНГ, оптимизатор итеративно меняет параметры, перезапускает модель, оценивает F_{obj} и ограничения для поиска экстремума. Модель позволяет оценивать эффективность и проводить сценарный анализ для поиска оптимальной конфигурации и режима работы ПГУ.

Анализ чувствительности:

Модель подтвердила, что показатели ПГУ сильно зависят от состава ПНГ.

- Метан (CH_4): при увеличении от 40% до 80% мощность и КПД растут нелинейно из-за повышения теплоты сгорания и температуры газов перед турбиной. В области ниже 50% содержания – наблюдается резкое снижение КПД из-за сложностей с горением.

- Тяжёлые углеводороды: увеличение C_2H_6 и более тяжелых приводит к росту мощности и КПД до уровня 25%, дальше – снижение из-за потерь при неполном сгорании и загрязнения.

- Диоксид углерода (CO_2): негативно влияет – снижает мощность и КПД примерно на 0,5–0,7% на 1 % содержания, уменьшает температуру газов, снижая эффективность.

Вывод: CH_4 – ключ к эффективности, тяжелые углеводороды требуют баланса, CO_2 – минимизации.

Рассмотрено пять сценариев, результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение пяти различных сценариев по работе ПГУ при разном химическом составе ПНГ

Параметр /Сценарий	Эталон (Природный газ, ~98 % CH_4)	ПНГ-1 (Богатый, 60 % CH_4 , 20 % C_2H_6 , 10 % C_3^+ , 10 % N_2)	ПНГ-2 (Обедненный, 75 % CH_4 , 10 % C_2H_6 , 5 % C_3^+ , 10 % CO_2)	ПНГ-3 (После УКИП, 85 % CH_4 , 10 % N_2 , 5 % C_2)	ПНГ-4 (Кислый, 65 % CH_4 , 20 % C_2H_6 , 10 % CO_2 , 0,5 % H_2S^*)
$N_{\text{ПГУ}}$, МВт	300,0	312,5	274,5	285,0	309,0
$\eta_{\text{ПГУ}}$, %	60,2	58,1	52,8	57,0	57,5**
T_3 , °C	1350	1350 (ограничение)	1285	1320	1340
$T_{\text{ух}}$ из КУ, °C	90	105	78	95	110
Ключевая проблема	–	Риск коксования, высокое $T_{\text{ух}}$	Низкая температура горения, коррозия	Сниженная калорийность	Коррозия, необходимость очистки

* – Перед подачей в ГТУ требуется очистка до $<5 \text{ мг/м}^3$.

** – КПД указан без учета затрат на очистку от H_2S .

Анализ показывает, что:

- ПНГ-1 с высоким содержанием метана даёт большую мощность благодаря высокой теплотворности, но КПД ниже из-за потерь при неполном сгорании и температуре газов.
- ПНГ-2 с меньшим содержанием CO_2 показывает снижение эффективности на 7,4 п.п. из-за инертных веществ.
- ПНГ-3 после предварительной обработки приближается к исходной эффективности, но мощность ниже, так как снизилась теплотворность. Более стабильное, но менее энергосберегающее.
- ПНГ-4 с кислотными компонентами требует значительных затрат на очистку, что ухудшает экономику, несмотря на хорошие энергетические показатели.

Карта режимов работы:

- Зеленая зона (эффективность $> 57\%$): CH_4 65–80%, C_2H_6 8–18%. Баланс эффективности и качества.
- Жёлтая зона (эффективность 54–57%): C_2H_6 20% или $\text{CH}_4 < 60\%$. Требуется контроль.
- Красные зоны (некорректная): нестабильное горение ($< 50\%$ CH_4), коксование ($> 25\%$ C_2H_6), перегрев.

Для стабильной работы важно управлять составом ПНГ.

Системы подготовки:

- Базовая: сепарация + подогрев – КПД 54–56%, высокие расходы.
- Оптимальная: очистка от C_5^+ и осушка – КПД 57–58%, лучший баланс.
- Глубокая очистка: КПД 58–59%, оправдано при больших объёмах или строгих экологических требованиях.

Вывод: Работа газовых установок с ПНГ возможна до 58-60 %, но требует грамотной системы подготовки и контроля, чтобы преодолеть химическую неоднородность и нестабильность сырья.

Литература

1. Аракелян Э.К., Андриюшин А.В., Бурцев С.Ю., Андриюшин К.А., Хуршудян С.Р. Методические положения учета особенностей ПГУ при оптимальном распределении тепловой и электрической нагрузки на ТЭЦ со сложным составом оборудования // Теплоэнергетика. 2015. № 5. С. 27.
2. Енсепов Б.Д., Амангельдыулы С.Б., Китаев С.В. Методы повышения энергетической эффективности газотурбинных электростанций // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2022. № 3-4. С. 61-66.
3. Пермяков А.А. Применение попутного нефтяного газа с практической и экономической выгодой // Инновации в обществе: современные вызовы и перспективы: Всероссийская научно-практическая студенческая конференция (Москва, 16–17 мая 2022). 2022. С. 231-233.
4. Шипов А.В., Шипова Д.А. Нормативно-правовое обеспечение рационального использования попутного нефтяного газа в РФ // Вестник ТвГТУ. Серия «Науки об обществе и гуманитарные науки». 2021. №. 4. С. 27.
5. Batrakov P.A., Ryzhnikova E.A., Batrakova A.A. The Use of Associated Petroleum Gas by Burning it in a Mixture with Natural Gas in a Combined Cycle Gas Plant to Generate Mechanical Energy and Electricity // 2024 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). IEEE, 2024. С. 1-8.
6. Hassan T.N., Manji S.T. Simulating combined cycle and gas turbine power plant under design condition using open-source software dwsim: A comparative study // ARO-The Scientific Journal of Koya University. 2023. Т. 11. №. 1. С. 60-71.
7. Madhlopa A., Nkhoma R. Gas turbine fuels and fuel systems // Principles of Solar Gas Turbines for Generating Electricity. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. P. 45-70.

© Батракова А.А., Мазур К.Д., Герасимова П.А., 2026

Борожапов С.С., Никончук И.Н., Шаклеин А.Г.

Российский университет транспорта
г. Москва, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА КОНЕЧНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЯХ ВСМ ЗА СЧЕТ ИНТЕГРАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОДПЛАТФОРМЕННОГО ПРОСТРАНСТВА И ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ

Введение. Динамичное развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения актуализирует поиск перспективных решений в области эксплуатационного обслуживания. На конечных пунктах маршрута ВСПС особенно остро стоит дилемма между необходимостью обеспечения полного цикла подготовительных операций и жестким требованием минимизации времени простоя дорогостоящего высокоскоростного электроподвижного состава (ЭВС). Современные тенденции развития пассажирских перевозок диктуют необходимость сокращения интервалов движения и повышения коэффициента полезного использования подвижного состава, что делает фактор времени оборота критическим параметром эффективности всей системы ВСМ.

Ключевой задачей исследования является минимизация времени оборота ЭВС на конечных пассажирских станциях при обеспечении полного комплекса технологических операций по его обслуживанию. Традиционные подходы, основанные на использовании передвижных мобильных комплексов и разрозненных сервисных точек, все чаще демонстрируют свою ограниченность в функциональности, становясь фактором логистических рисков и операционных издержек, особенно в период, когда время, необходимое для проведения операций по обслуживанию находится в жестких рамках и не может являть фактором в задержке ЭВС по отправлению.

Целью проводимого исследования является разработка концепции совершенствования технологии обслуживания ВСПС за счет комплексного использования подплатформенного пространства и внедрения цифровых методов предиктивной диагностики.

Научная новизна заключается в синтезе решений по инженерной инфраструктуре, адаптации передового зарубежного опыта в России и интеграции систем предиктивной аналитики, получаемых в процессе движения ЭВС на ВСМ данных на основе компьютерного зрения. В комплексе набор этих данных позволит формировать объективную картину необходимых технических операций по обслуживанию по мере совершения каждого рейса ЭВС в течении суток, создавая предпосылки для динамического планирования ремонтных операций.

Инфраструктура подплатформенного пространства: концепция и глобальный контекст.

Подплатформенное пространство современной начальной/конечной станции ВСМ перестает быть лишь конструктивным элементом, и может быть полезно использовано как высокотехнологичный сервисный тоннель, для необходимых технологических операций. В мировой практике проектирования высокоскоростных магистралей наблюдается устойчивый тренд к заглублению инженерных коммуникаций и сервисного оборудования с целью

высвобождения поверхности для пассажирских потоков и повышения компактности станционных комплексов.

Его рациональное оснащение создает основу для непрерывного и безопасного сервисного процесса обслуживания ЭВС. Перспективным направлением использования этого пространства является комплексное размещение в нём инженерных сетей, включающих системы централизованного водоснабжения, санитарного слива и заправки.

Точки подключения технологических присоединений, которые выводятся непосредственно в зону нахождения составов ЭВС на начальных/конечных станциях ВСМ, позволяют осуществлять одновременную заправку питьевой водой нескольких единиц ЭВС силами одного оператора, работающего с уровня платформы. При этом важно отметить, что современные системы позволяют контролировать параметры заправки: объем поданной воды, скорость наполнения, давление в магистрали, что исключает риск повреждений внутренних систем поезда.

Параллельно, через приемные устройства, интегрированные в путь, производится оперативная откачка хозяйственно–бытовых стоков в централизованную канализационную сеть или накопительные емкости. Данный подход кардинально исключает зависимость от графика ассенизационных вагонов, которые традиционно являются критическим элементом, лимитирующим скорость оборота состава. Расчеты показывают, что использование стационарных систем вакуумной откачки позволяет сократить время выполнения санитарных операций с 20–30 минут (при использовании передвижных средств) до 5–7 минут, причем это время полностью перекрывается посадкой-высадкой пассажиров.

Преимущества такого подхода носят многогранный характер. Наиболее значимым является качественное сокращение технологического окна за счет параллельного выполнения операций, осуществляемых непосредственно на пути приёма/отправления ЭВС и за счёт этого исключения необходимости проведения маневровой работы по станции. Следует также отметить, что централизация систем экипировки позволяет существенно повысить надежность их функционирования за счет резервирования ключевых узлов и возможности проведения профилактических работ без нарушения графика движения.

Соответственно сокращается и потенциальное количество тракционных путей, необходимых ранее для проведения этих технологических работ на станции, а следовательно, и стоимость их возведения. Поэтому даже сокращение потребности в 1–2 путях дает значительный экономический эффект для проекта ВСМ в целом. Существенно повышается уровень безопасности как для пассажиров, так и для обслуживающего персонала, поскольку сокращается его количество и единицы оборудования, необходимые на открытой части перрона.

Экологический аспект проявляется в предотвращении случайных разливов в процессе обслуживания и гарантированно контролируемом сборе отходов. Современные системы мониторинга позволяют в реальном времени отслеживать уровень наполнения накопительных емкостей и своевременно организовывать вывоз стоков, исключая риск их переполнения и аварийных сбросов. В конечном счете, консолидация сервисных функций в едином скрытом

пространстве ведет к осязательному снижению прямых эксплуатационных расходов и повышению общей культуры по технологии обслуживания.

Мировой опыт, в частности практика Германии, Франции и Китая, служит убедительным подтверждением жизнеспособности предлагаемой концепции на ВСМ. На таких транспортно-пересадочных узлах, как Франкфурт-на-Майне или Шанхай-Хунцяо, системы подплатформенной экипировки уже перешли из разряда новшеств в категорию стандартной инженерной практики, обеспечивая высокий темп технологического обслуживания поездов. Особого внимания заслуживает опыт немецких железных дорог (DB), где на вокзале Франкфурт-на-Майне внедрена полностью автоматизированная система подключения поездов к коммуникациям, управляемая из единого диспетчерского центра.

Адаптация зарубежных практик: опыт зимней эксплуатации в Японии.

Отдельного рассмотрения в плане технологического обслуживания заслуживает эксплуатация ВСПС в сложных климатических условиях, особенно в зимний время, которое сталкивается с рядом серьезных задач. Обледенение ходовых частей и токоприемников может привести к критическим последствиям: отказу тормозной системы, повреждению контактной сети из-за обледенения токоприемников, ухудшению динамических характеристик экипажной части. Блестящим примером системного решения данных вопросов служит передовой опыт японских железных дорог (JR East), эксплуатирующих линии ВСМ в регионах с частыми обильными продолжительными снегопадами.

Для начальных/конечных станций таких магистралей особенно актуальна технология стационарной антиобледенительной обработки. Ее суть заключается в оборудовании главных путей горловины станций в зону обслуживания специальными порталами или системами скрытых форсунок, находящихся на инфраструктуре.

Проезжающий такие зоны состав ЭВС с небольшой скоростью (10...15 км/ч) подвергается орошению реагентами на основе пропиленгликоля. Выбор пропиленгликоля обусловлен его экологической безопасностью и низкой коррозионной активностью по отношению к металлоконструкциям и электрооборудованию. Японские железные дороги используют несколько режимов распыления в зависимости от интенсивности осадков и температуры воздуха: от мелкодисперсного тумана для профилактической обработки до направленных струй для удаления уже образовавшегося снежного наката. Эта обработка эффективно предотвращает налипание снега и образование льда на критически важных узлах ЭВС: токоприемниках, элементах тормозной системы, ходовых частях и сцепных устройствах. Особую важность данная технология приобретает для высокоскоростных поездов, поскольку на скорости свыше 200 км/ч даже незначительные снежные отложения могут привести к образованию ледяных наростов, представляющих опасность для инфраструктуры и следующего подвижного состава.

Интеграция подобной системы в технологическую карту конечной станции – например, на пути следования состава от места посадки пассажиров к месту отстоя – обеспечивает гарантированную защиту от обледенения в пути следования при плохих погодных условиях зимой. Оптимальным местом размещения такой системы является участок пути перед въездом

на пассажирские платформы, что позволяет обрабатывать прибывающие составы сразу после завершения рейса, пока корпуса узлов поезда еще сохраняют остаточное тепло, повышающее эффективность реагента. В результате устраняется необходимость в трудоемкой и потенциально опасной ручной обработке, а также сводятся к минимуму риски возникновения отказов оборудования в будущей поездке. Кроме того, применение стационарных систем позволяет точно дозировать реагент, сокращая его расход и снижая нагрузку на окружающую среду по сравнению с ручным распылением. Таким образом, японский опыт демонстрирует, что даже в суровых зимних условиях можно поддерживать установленную графиком движения регулярность без ущерба для времени оборота составов. Для российских условий, характеризующихся более продолжительным зимним периодом и более низкими температурами, требуется адаптация японских решений с применением реагентов, сохраняющих текучесть при температурах до -30°C и ниже, а также систем подогрева форсунок и трубопроводов для исключения их замерзания в периоды между обработками.

Цифровая диагностика как основа предиктивного обслуживания.

Следующим логическим шагом в эволюции технологии обслуживания становится переход от планово-предупредительной системы ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию. Современные реалии эксплуатации высокоскоростного подвижного состава характеризуются значительной стоимостью unplanned ремонтов и высокой ценой отказа в линии, что делает особенно актуальным развитие методов раннего обнаружения неисправностей. Ключевую роль в этом призваны сыграть системы автоматизированной цифровой диагностики подвагонного пространства. Концепция предполагает размещение в горловине главных путей станции специализированного диагностического модуля, оснащенного множеством камер, тепловизионных сенсоров и лазерных сканеров. В отличие от традиционных систем диагностики, размещаемых на перегонах и работающих на высокой скорости, стационарные модули на входе в станцию позволяют получать данные более высокого разрешения за счет низкой скорости проследования, а также производить диагностику узлов, недоступных для обзора на высоких скоростях.

При прохождении состава на низкой скорости движения данный комплекс осуществляет всесторонний мониторинг его ходовых частей и подвагонного оборудования. Визуальный анализ позволяет зафиксировать механические повреждения, отсутствие элементов механической части, рессорного подвешивания или их трещины. Применение технологий машинного обучения позволяет автоматически классифицировать дефекты по степени критичности, отделяя незначительные загрязнения от потенциально опасных повреждений, требующих немедленного вмешательства. Тепловизионные камеры выявляют перегревы в буксовых узлах, накладках дискового тормоза и электроаппаратуре сверх установленных значений, что является надежным индикатором возникновения потенциальных неисправностей. Особую ценность представляет возможность построения тепловых карт по длине состава и сравнения температур однотипных узлов между собой, даже незначительное отклонение температуры одного подшипника от средних показателей по составу может свидетельствовать о начинающемся дефекте. Современные тепловизоры, работающие в

диапазоне 7–14 мкм, позволяют фиксировать перепады температуры до $0,1^{\circ}\text{C}$, что дает возможность обнаруживать дефекты на самой ранней стадии.

Производится сканирование геометрии поверхности катания колесных пар на предмет выявления дефектов, таких как ползуны, навары, неравномерный прокат. Лазерные сканеры, используемые в современных системах, способны строить трехмерную модель профиля колеса с точностью до 0,1 мм, что позволяет отслеживать динамику износа в процессе эксплуатации. Контролируется динамика токоприёмников в процессе движения на предмет целостности вставок полоза и удовлетворительности процесса токосъёма. Видеокамеры высокого разрешения фиксируют искрение и отклонения токоприемника от оптимальной рабочей траектории. Полученный массив данных подвергается обработке и сравнивается со значениями, установленными для нормальной работы, что позволяет автоматически идентифицировать отклонения от эталонных значений.

Результаты диагностики в режиме, приближенном к реальному времени, передаются в центр технического обслуживания, формируя цифровое досье работы всех узлов каждого состава ЭВС. При этом данные структурируются по каждому вагону и каждой единице оборудования, что позволяет накапливать статистику отказов и прогнозировать остаточный ресурс. Это позволяет осуществляющим техническое обслуживание службам заранее, еще до прибытия ЭВС на конечный пункт, подготовить необходимые запасные части и сформировать оптимальный перечень работ для их замены.

В долгосрочной перспективе генерируемая информация может создавать «цифровой след» каждого вагона ЭВС, открывая перспективные возможности для глубокого предиктивного анализа износа, позволяя оптимизировать межремонтные интервалы и интегрировать данные в единую платформу будущего «Цифрового депо». Накопление статистических данных за длительный период эксплуатации позволит выявлять скрытые закономерности: зависимость ресурса отдельных узлов от сезона, конкретного машиниста, маршрута следования. Создается основа для перехода к индивидуализированным графикам обслуживания каждого конкретного вагона, что является вершиной эволюции систем технической эксплуатации.

Заключение и выводы.

Совершенствование технологии обслуживания высокоскоростного подвижного состава на начальных/конечных станциях представляет собой комплексную задачу, требующую синергии инженерной мысли и цифровых технологий. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, комплексное обустройство подплатформенного пространства системами централизованной экипировки и обработки для работы в зимних условиях является экономически и технологически обоснованным направлением развития инфраструктуры ВСМ. Оно напрямую способствует достижению ключевых операционных показателей: сокращению времени оборота, повышению безопасности и снижению себестоимости обслуживания.

Во-вторых, успешный международный опыт, в частности японские наработки в области борьбы с обледенением, обладают ценностью и подлежат их адаптации с учетом специфики российских климатических условий в зимнее время для эксплуатационного парка ЭВС на ВСМ. При этом требуется проведение дополнительных исследований по выбору оптимальных реагентов и режимов обработки для различных климатических зон России.

В-третьих, внедрение систем цифровой диагностики на основе компьютерного зрения знаменует собой переход к новой, интеллектуальной парадигме технического обслуживания. Это не просто инструмент контроля, а основа для формирования самообучающейся системы управления жизненным циклом ЭВС. Накопление и анализ диагностических данных создает предпосылки для оптимизации всей системы технической эксплуатации на основе принципов надежности и экономической эффективности.

Таким образом, реализация предложенного перспективного подхода позволит не только решить текущие эксплуатационные задачи, но и создать технологический задел на будущее, обеспечивающий долгосрочную конкурентоспособность и надежность высокоскоростного железнодорожного транспорта. Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть сосредоточены на разработке конкретных технических решений для проектируемых российских высокоскоростных магистралей с учетом их специфики и мировых тенденций развития технологий обслуживания.

© Борожапов С.С., Никончук И.Н., Шаклеин А.Г., 2026

Виниченко В.С.¹, Медведев М.П.¹, Алиев А.Л.², Ровкин С.С.²

¹Омский государственный технический университет
г. Омск, Россия

²Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ПЕРЕД КОМПРЕССОРОМ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Производство электроэнергии является ключевым фактором существования и развития любого государства [14]. Электричество уже давно стало неотъемлемой частью нашей жизни, и мы не можем представить себе существование без него.

Выработка электрической энергии в промышленных масштабах осуществляется на различных станциях, таких как АЭС, ГЭС, ТЭС. Важнейшим элементом станций является электрогенератор, привод которого осуществляется за счёт вращения турбины.

Газотурбинные установки (ГТУ) прочно заняли ведущие позиции на ТЭС и ТЭЦ [15]. Работа ГТУ осуществляется за счёт сгорания топлива в камере сгорания (КС) и подачи продуктов сгорания при больших температуре и давлении на турбину.

Подача воздуха в КС ГТУ осуществляется за счёт компрессора. Компрессор забирает (всасывает) воздух из окружающей среды (атмосферы). В жаркий период года (температура окружающего воздуха больше 15°C) из-за нагрева воздуха его плотность снижается, что приводит к снижению массы подаваемого воздуха в КС. Снижение массы подаваемого воздуха приводит к значительному снижению производительности и перерасходу впрыскиваемого топлива.

Следует отметить, что для транспортировки газа применяются турбинные двигатели, принцип действия которых идентичен принципу действия ГТУ. Существует проблема газотурбинных газоперекачивающих агрегатов (ГПА), установленных на КС в южных регионах России, задача которых заключается в стабильной транспортировке газа (в том числе, на экспортный рынок в соответствии с договорными обязательствами), связанная с эксплуатацией при высоких температурах окружающего воздуха. Повышение температуры воздуха так же значительно влияет на показатели их эффективности: снижается мощность, коэффициент полезного действия (КПД), возрастает расход топливного газа.

Для повышения эффективности активно применяют различные системы охлаждения воздуха перед компрессором ГТУ. Учитывая, с одной стороны, ограничения существующих методов повышения эффективности эксплуатации ГПА с газотурбинным приводом, с другой – необходимость охлаждения циклового воздуха газотурбинных установок для обеспечения стабильной эффективной работы ГПА в южных регионах России, целесообразным и перспективным решением указанной проблемы представляется разработка и внедрение дополнительных систем охлаждения циклового воздуха ГТУ.

Для охлаждения воздуха перед компрессором газовой турбины (ГТ) осуществляют при помощи абсорбционных холодильных машин (АБХМ), фреоновых холодильников, машин

испарительного охлаждения [13]. Кроме того используют охлаждение впрыском и охлаждение в поверхностных теплообменниках.

Для повышения производительности ГТУ в условиях повышенной температуры окружающего воздуха используют так называемые абсорбционные холодильные машины или сокращённо АХМ.

Чаще всего применяют бромисто-литиевые машины или аммиачные абсорбционные установки. Следует сказать, что применение АБХМ экономичнее, чем применение фреоновых холодильных машин [3]. Принцип работы АБХМ основан на поглощении раствором бромистого лития паров воды с более низкой температурой. Охлаждение происходит за счёт того, что охлаждаемая среда поступает в испаритель ХМ, где от неё отбирается теплота за счёт испарения воды. Далее эта испарившаяся вода поступает в абсорбер, где она поглощается раствором бромистого лития. После абсорбции получается так называемый «разбавленный» (или «слабый») раствор. Далее этот «разбавленный» раствор попадает, где выпаривается за счёт подвода теплоты от внешнего источника тепловой энергии.

Наличие тепловой энергии определяет эффективность работы АХМ. В этой связи наиболее выгодно применять данный вид установок в тех производствах, где есть проблема утилизацией теплоты. Например, в нефтегазодобывающей отрасли, где привод компрессоров (газовый лифт компрессорной станции) осуществляется тепловыми двигателями большой мощности, продукты сгорания которых имеют большую температуру и чаще эти продукты просто «выбрасываются» в атмосферу. Применение АХМ в нефтегазодобывающей сфере в странах с жарким климатом может значительно повысить эффективность всего комплекса [11; 12].

Область применения АХМ для охлаждения воздуха перед компрессором ГТУ с достаточно высокой относительной влажностью, а также для газовых турбин, работающих на низких давлениях пара. В этих условиях применение АБХМ по сравнению с ХМ испарительного вида даёт преимущество в более глубоком охлаждении воздуха перед компрессором ГТУ. Более глубокое охлаждение воздуха даст больший потенциал в повышении мощности всей ГТУ.

К недостаткам АБХМ можно отнести высокие денежные затраты на установку, ремонт и обслуживание ХМ. Кроме того установки данного типа требуют высокую квалификацию рабочего персонала по обслуживанию и ремонту АБХМ.

По результатам исследования, полученным авторами [2], наиболее эффективным является охлаждение воздуха перед компрессором ПГУ мощностью 295 МВт до 15°C. Охлаждение данной установки планировалось при помощи парового абсорбционного охладителя. В результате мощность ГТУ удалось увеличить на 10.6 %, а мощность всей ПГУ – на 6,24 %. Так же авторы работы [2] установили, что период окупаемости на момент проведения исследования составил 3,81 года. При этом за 20-летний срок эксплуатации системы охлаждения чистая прибыль ожидалась в районе 19 млн. долларов США.

Фреоновые паровые ХМ (или просто ПХМ) нашли широкое применение в промышленности и быту. Стоит сказать, что большинство бытовых холодильников, кондиционеров и охладителей являются ПХМ.

Принцип работы ПХМ заключается в отдаче и поглощении теплоты хладагентом в процессе фазового перехода. Фазовый переход в таких машинах осуществляется за счёт интенсивного подвода и отвода теплоты при разных температурах и давлениях. Повышение давления в таких ХМ осуществляется за счёт компрессоров чаще всего поршневых.

Следует сказать, что ПХМ нашли широкое применение при охлаждении воздуха перед компрессором ГТУ. Их эффективность можно сравнить с эффективностью абсорбционных ХМ, однако для их работы не требуется источника теплоты.

Снижение температуры всасываемого воздуха можно осуществить при помощи контактного теплообменника путём смешения потока воздуха с частицами (каплями) воды. Охлаждение осуществляется за счёт частичного испарения воды. Данный способ охлаждения может обеспечить снижение температуры воздуха до 90 % от температуры влажного воздуха [6].

Системы испарительного охлаждения наиболее эффективно применять в районах с высокой среднегодовой температурой и низкой влажностью воздуха.

Испарительное охлаждение может быть двух видов; с циркуляцией прямоточной охлаждающей воды; с забором охлаждающей воды из реки и обратным сбросом в реку. Последний вид охлаждения является наиболее эффективным с точки зрения снижения температуры воздуха [1]

Осуществление испарительного охлаждения не требуют сложных конструкций, больших затрат денег. Установка системы охлаждения проводится в короткие временные сроки. Кроме того, использование установки испарительного охлаждения не требуют больших затрат в обслуживании.

Испарительное охлаждение имеет простую конструкцию, низкие капиталовложения, способность к установке в короткие сроки и низкую стоимость эксплуатации и обслуживания.

При температуре наружного воздуха $+35^{\circ}\text{C}$ (сухой термометр) и относительной влажности 60% испарительный охладитель, работающий с КПД 85%, может снизить температуру воздуха на входе в компрессор на 4°C [1].

К недостаткам данного вида охлаждения можно отнести невозможность снижения температуры ниже температуры мокрого термометра, а так же возможное загрязнение компрессора ввиду конденсации и уноса влаги [1].

Данный вид охлаждения позволяет снижать температуру всасываемого воздуха ниже, чем при испарительном охлаждении. Такая система может обеспечить температуру подаваемого воздуха в 6°C и поддерживать её на этом уровне [1; 7]. Привод охлаждающей установки зачастую осуществляется за счёт механической энергии ГТ.

Применение данной системы охлаждения наиболее эффективно в случае, когда ГТУ работает в базовом режиме в течении длительного времени. В случае, если данные системы применяются совместно с блоками хранения холодной воды или льда, они используются в

периоды пиковых нагрузок. Так же значительный эффект можно получить в тех случаях, когда потребление энергии постоянно меняется или наблюдается частое колебание цен на вырабатываемую электроэнергию.

Как и системы испарительного охлаждения, данные системы просты в установке, обслуживании и эксплуатации. Кроме того, в связи с тем, что охлаждающая вода циркулирует в каналах системы под низким давлением и более свободно по сравнению с первичным хладагентом, данная система охлаждения практически защищена от утечек.

Из недостатков можно выделить высокую стоимость всей системы, её обслуживание и ремонт. Кроме того, установка таких систем может занять длительный промежуток времени. Для организации работы данной системы требуется опытный высококвалифицированный персонал.

Данный способ охлаждения следует применять в районах с низкой влажностью. В этом есть сходство с испарительным охлаждением, однако данный способ более эффективный. Охлаждение всасываемого воздуха осуществляется за счёт впрыска охлаждающей жидкости непосредственно во всасывающий патрубок компрессора при помощи специальных форсунок. Размеры капель охлаждающей жидкости составляют менее 1 мм, что обеспечивает быстрое их испарение с поглощением теплоты от воздуха. Впрыск жидкости, как известно [1], сопровождаемый отводом теплоты, уменьшает удельную работу компрессора и повышает КПД всей установки.

В работе [4] проведён сравнительный анализ охлаждения ГТУ простого цикла и ГТУ с охлаждением при помощи впрыска [5]. Как следует из результатов исследования, данный вид охлаждения повышает КПД установки до 3%.

По результатам других исследований [10] мощность ГТУ, работающей в составе парогазовой установки (ПГУ), увеличивается на 1–5 % при применении охлаждения впрыском.

Преимущества охлаждения впрыском: простота конструкции, высокие показатели эффективности (до 3% увеличение КПД), относительно небольшие капиталовложения

Из недостатков можно выделить возможность гидравлического удара жидких частиц во всасывающем патрубке в случае их неполного испарения, а так же высокие требования к чистоте впрыскиваемой охлаждающей жидкости.

Авторы статьи [8] предлагают способ охлаждения воздуха перед компрессором ГТУ с помощью воздушной турбоохладительной машины (ВТХМ) открытого типа. Охлаждённый в ВТХМ воздух смешивается с основным потоком атмосферного воздуха, в результате чего последний охлаждается до необходимой температуры. Полученная смесь поступает в компрессор ГТУ.

Из недостатков можно указать, что данный вид ХМ практически не выпускается серийно, кроме того ввиду больших расходов воздуха компрессором ГТУ необходимо глубокое охлаждение воздуха, что, в свою очередь, требует дополнительных мер защиты от промерзания элементов оборудования.

Преимуществом данного типа охлаждения является простота конструкции, низкие капитальные затраты на установку и обслуживание оборудования, а так же дополнительный экономический эффект, связанный с тем, что часть затраченной энергии «возвращается» детандером.

При недостаточной холодопроизводительности ВТХМ предлагается использовать несколько ХМ. Использование нескольких ВТХМ, подключённых параллельно, позволяет увеличить расход охлаждаемого воздуха. Увеличении расхода охлаждаемого воздуха позволяет увеличить его температуру. Таким образом можно решить проблему промерзания оборудования, задав правильное количество ВТХМ, их расход и температуру воздуха.

Применение ВТХМ позволяет снизить потребляемую мощность до 10%.

Принимая во внимание вышеизложенное, проведём анализ рассмотренных методов охлаждения и определим экономический эффект [2; 8-10; 15], учитывая примечания, касающиеся применения этих методов (табл.).

Таблица

Сводная таблица по оценке экономической эффективности

Способ охлаждения	Экономический эффект	Примечания
АБХМ	Повышение вырабатываемой мощности до 17% [2; 10]	Работа АБХМ осуществляется за счёт внешней теплоты. Наибольший эффект достигается при наличии утилизационного тепла
Фреоновые холодильники	Повышение вырабатываемой мощности до 10%	Применяются в случаях, когда не имеется достаточно утилизационной теплоты для работы АБХМ
Машины испарительного охлаждения	Снижении температуры наружного воздуха на 4°C	Простая конструкция. Целесообразно применять комбинировано с другими видами охлаждения.
Охлаждение вторичным охладителем	Снижении температуры наружного воздуха до 6°C	Целесообразно применять в случае работы ГТУ в базовом режиме в течении длительного времени
Охлаждение впрыском	Увеличение КПД до 3%	Целесообразно применять в регионах с низкой влажностью воздуха
ВТХМ	Снижение потребляемой мощности до 10%	Данный вид охлаждения подробно не изучен. Следует провести экспериментальные исследования с целью определения фактических показателей эффективности.

В результате проведённого анализа было установлено, что охлаждение воздуха перед компрессором ГТУ даёт существенное увеличение производительности, повышает КПД и снижается расход топлива. Кроме того, при увеличении температуры наружного воздуха может возникнуть ситуация, когда ГТУ не сможет выдать требуемую мощность.

Литература

1. Буров В.Д., Теплов Б.Д. Повышение номинальной мощности и энергетической эффективности ПГУ в условиях высоких температур наружного воздуха путем впрыска воды в газоздушный тракт ГТУ // Молодой ученый. 2015. № 23.1 (103.1). С. 11-13.

2. Голубев А.И., Федоров К.М. Экономическая эффективность применения абсорбционных холодильных машин для охлаждения воздуха на входе в ГТУ ТЭЦ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 7-8. С. 88-98.
3. Ковалев П.Н., Семенов А.С. Сравнительный технико-экономический анализ систем охлаждения всасываемого воздуха ГТУ // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. № 2(124). С. 34-40.
4. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения: сборник задач. М.: Энергоатомиздат, 1989. 200 с.
5. Мартынов А.В., Симонов А.М. Применение воздушных турбохолодильных машин открытого цикла для повышения эффективности газотурбинных установок // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2021. Т. 14, № 3. С. 124-136.
6. Носырева Д.А. Оценка влияния температуры наружного воздуха на эффективность работы ГТУ // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 1-2(59). С. 65-70.
7. Основы когенерации и малой энергетики / Под ред. В.А. Зиновьева. СПб.: Энерготех, 2019. 320 с.
8. Симонов А.М., Калинин А.А., Петров И.С. Расчет цикла воздушной турбохолодильной машины на базе центробежного компрессора и турбодетандера: учеб. пособие. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. 76 с.
9. Смирнов А.В., Кузнецов И.Л. Обзор методов охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Теплоэнергетика. 2020. № 8. С. 45-52.
10. Соломин Е.В. Исследование влияния систем охлаждения всасываемого воздуха на показатели работы газотурбинных электростанций // Альтернативная энергетика и экология. 2019. № 10-12. С. 45-55.
11. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / под ред. И.А. Сакуна. Л.: Машиностроение, 1987. 423 с.
12. Ткаченко В.И., Миронов А.А. Влияние климатических условий на эксплуатационные показатели газоперекачивающих агрегатов юга России // Газовая промышленность. 2021. № 5(812). С. 60-65.
13. Черникова Ю.С., Лукин С.В. Влияние параметров наружного воздуха на характеристики энергетических ГТУ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: сб. материалов III Поволжской науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 2.(Казань, 07-08 дек. 2017 г.). Казань: Казанский гос. энерг. ун-т, 2017. С. 172-175.
14. Международное энергетическое агентство (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA Publications, 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
15. Siemens AG. Industrial gas turbine SGT-100. Technical data. 2022. URL: <https://clck.ru/3TvStY>

Григоров И.Р.¹, Портнов Д.А.¹, Рыжникова Е.А.^{1,2}

¹Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

²Сибирский федеральный университет
г. Красноярск, Россия

МЕЖДУ ТОПЛИВОМ И БОЛОТОМ: ОЦЕНКА ГЛАВНЫХ РИСКОВ ТОРФОБРИКЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ХМАО

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра обладает значительными запасами торфа, представляющего собой ценный ресурс для региональной энергетики и различных отраслей промышленности. Этот локальный возобновляемый материал выступает в качестве альтернативы газу и углю, что делает его использование перспективным для обеспечения энергетической независимости региона [1].

Производство брикетов из торфа способствует снижению зависимости от ископаемого топлива и обеспечивает стабильность поставок энергии [1-3]. Однако, несмотря на потенциал для стимулирования экономического роста и инноваций, процесс производства торфобрикетов сопряжён с рядом сложных рисков, требующих тщательного анализа и управления.

Торф представляет собой уникальное органическое вещество, сформировавшееся в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода. Его состав и структура оказывают значительное влияние на процесс брикетирования, а также определяют специфические риски, связанные с производством.

Физико-химические свойства торфа представляют собой совокупность характеристик, которые оказывают значительное влияние на производственные процессы, связанные с его использованием. Одним из ключевых аспектов является высокая влажность торфяных залежей, которая может достигать 78–89% [3]. Это требует значительных затрат энергии на предварительную сушку перед брикетированием, поскольку избыточная влага снижает плотность конечного продукта, усложняет его транспортировку и хранение. Кроме того, важно учитывать, что при нарушении условий сушки и прессования может произойти деградация органической составляющей торфа, что снижает его энергетические характеристики и увеличивает выбросы вредных веществ [2; 4].

Пористая структура торфа также играет важную роль, обеспечивая высокую газопроницаемость. Это способствует быстрому распространению огня при возгорании, что требует строгого контроля при хранении и эксплуатации.

Химический состав торфа включает в себя до сорока разнообразных минеральных и горючих компонентов. Среди них органические соединения серы, азота, фосфора, а также тяжёлые металлы, такие как свинец и кадмий. Это способствует лёгкости воспламенения и создаёт потенциальные экологические угрозы при неконтролируемых выбросах или ненадлежащей утилизации производственных отходов.

Научные исследования демонстрируют, что среди минеральных компонентов зольность является наиболее значимым фактором, оказывающим сильное отрицательное влияние на теплотворную способность (коэффициент корреляции достигает -0,869), что делает ее

ключевым индикатором энергетической ценности торфа. Что касается органических веществ, теплотворная способность напрямую связана с содержанием горючих элементов (углерода, водорода) и увеличивается по мере роста степени разложения торфа и содержания гуминовых кислот, тогда как высокая доля неразложившихся растительных волокон коррелирует с более низкой теплотой сгорания [5].

Так же высокая концентрация минеральных остатков при сгорании приводит к образованию значительного количества золы, что требует применения соответствующих технологических мер для минимизации загрязнения окружающей среды и продления срока службы оборудования.

Таким образом, технологические сложности производства обусловлены не только особенностями сырья, но и необходимостью использования передовых методов контроля, автоматизации процессов и строгого соблюдения экологических норм для обеспечения безопасности работ и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Следует отметить, что в каждом регионе существует множество различных типов, однако представлены наиболее типичные и экономически значимые виды (табл. 1).

Таблица 1

Состав и особенности торфа в зависимости от региона России [6-9]

Регион	Тип залежей	Состав и особенности	Зольность	Применение
Северо-Запад	Верховой (сг., реже переходный), крупные залежи	Целлюлоза и лигнин до 60%, высокая кислота (рН 3-4,5)	2-5% (бедна минералами, песок)	Топливо, субстраты, подстилка, фильтры
Центр	Низинный/переходный, сильноразложившийся	Гуминовые вещества 60–70%, остатки древесины и трав	6-18 %	Удобрения, грунты, рекультивация
Западная Сибирь	Верховой и низинный («Васюганье»)	Верховой – лигнин; низинный – гуминовый, остатки осок	Верховой – 3–6%, низинный – 10–20%	Топливо, сельское хозяйство, углеродный резервуар
Дальний Восток	Низинный, травяно-моховой, разложившийся	Гуминовых до 80%, остатки трав и лиственницы	10–25% и более	Удобрения, мелиоранты, уник. гуминовые кислоты
Урал	Смешанный (горные верховой, предгорья низинный)	Гуминовые и фульвокислоты сбалансированы, остатки хвой, мхов	5–12%	Сельское хозяйство, удобрения, бальнеология
Юг Европы	Травяной, сильноразложившийся	Гуминовые до 50%, мало целлюлозы/лигнины	15–30% (иногда выше)	Удобрения, концентраты, пескование

В процессе исследования ключевых географических закономерностей, прослеживающихся с севера на юг и с запада на восток, были выявлены тенденции к увеличению зольности и степени разложения [6-9].

В северных зонах, таких как тайга, торф характеризуется низким содержанием минералов и зольностью в диапазоне от 2% до 6%. Это обусловлено преобладанием сфагновых

мхов, богатых органическими веществами и характеризующихся минимальной частичной минерализацией.

В южных регионах, например, в степях и низинах, зольность торфа возрастает до 15–25%. Это обусловлено более высоким содержанием минералов и продвинутой степенью разложения торфа, что приводит к образованию горючих остатков древесины, осок и тростника.

Наблюдается снижение кислотности. В северных болотах, где преобладают сфагновые мхи, торф обычно имеет слабокислую или кислую реакцию (рН 3–4). Это обусловлено низким содержанием кальция и других щелочных металлов в почве. В южных регионах, где растительность более разнообразна, рН может повышаться до 6–7. Это происходит благодаря нейтрализации кислотных остатков минерализацией и повышенному содержанию кальция (Са), калия (К) и фосфора (Р).

Возрастает агрохимическая ценность. В южных регионах происходит накопление кальция, калия и фосфора, что обусловлено естественными процессами минерализации и разложения растительных остатков. Исследования показывают, что содержание кальция в торфе может достигать 1–2%. Это делает его перспективным для использования в сельском хозяйстве.

Ботанический состав остатков в северных регионах характеризуется преобладанием сфагновых мхов, которые обладают высокой водоудерживающей способностью, низкой минерализацией и высокой органической плотностью. В южных регионах, напротив, преобладают осоки, тростники и древесные остатки, что приводит к формированию холмистых и низинных комплексов. Эти особенности оказывают значительное влияние на плотность, теплотворную способность и химические свойства торфа.

С экономической точки зрения, Европейский Север и Западная Сибирь представляют собой регионы с ресурсами, обладающими низкой зольностью и высокой энергетической ценностью, обычно составляющей 18–22 МДж/кг. Эти характеристики делают их привлекательными для использования в электростанциях и химической промышленности, поскольку они требуют меньших затрат на очистку и фильтрацию отходящих газов. Это также делает их перспективными для производства специализированных топлив и экологических брикетов.

Центральная Россия и Дальний Восток представляют собой регионы, характеризующиеся повышенным содержанием минералов и зольностью, достигающей 30%. Это обусловлено спецификой геологических условий и степенью разложения торфа, которая является результатом воздействия климатических факторов и условий минерализации. Эти особенности делают данные регионы перспективными для производства органоминеральных удобрений.

Южные месторождения, в свою очередь, отличаются высокой зольностью и нейтральной реакцией среды. Это позволяет использовать торф в качестве источника готовых органоминеральных удобрений, которые имеют критическое значение для сельского хозяйства, особенно в регионах с недостаточной природной плодородностью.

Однако производство торфобрикетов сопряжено с технологическими рисками и вызовами, которые требуют тщательного анализа и разработки эффективных решений.

Сушка торфа представляет собой энергозатратный процесс, особенно когда речь идёт о сыром торфе с высоким содержанием влаги (до 89%). Предварительная сушка является необходимым этапом, но она сопряжена со значительными энергетическими затратами и увеличивает себестоимость продукции.

Согласно исследованиям, применение традиционных методов сушки приводит к увеличению расходов энергии до 30-40 % от общей стоимости производства [3; 4]. Неэффективная сушка может привести к ухудшению качества брикетов: снижению теплотворных свойств, появлению трещин и расслоений, а также к уменьшению плотности и долговечности.

Кроме того, торфяные брикеты могут создавать трудности при транспортировке и хранении. Они склонны к слеживанию, смерзанию при низких температурах и самовозгоранию при длительном хранении или неправильных условиях транспортировки. Исследования показывают, что торфяные брикеты, хранящиеся без защиты более трёх месяцев, могут начать самовоспламеняться или образовывать газы, опасные для здоровья и окружающей среды [9].

Это требует создания специальных условий хранения, таких как утеплённые склады, вентиляция и защита от влаги.

Для обеспечения повышенной прочности и долговечности брикетов необходимо минимизировать риски, связанные с их механической стойкостью. Этого можно достичь путём использования формовочных смесей, таких как связующие компоненты и пластификаторы, оптимизации параметров прессования и внедрения пиролизных методов сушки.

Пиролиз представляет собой инновационный подход, который позволяет изменить влажность и теплотворную способность брикетов. Исследования подтверждают, что при пиролизе влажность торфа снижается, а его теплотворная способность повышается благодаря удалению влаги и деградации органического вещества.

Например, после пиролиза влажность торфа уменьшается до 10–15%, а его теплотворная способность увеличивается до 20–24 МДж/кг. Это значительно повышает эффективность конечного продукта и делает его более привлекательным для использования.

Графические данные наглядно иллюстрируют динамику изменения уровня влажности и теплотворной способности торфа до и после процесса пиролиза, что служит подтверждением его потенциала для производства высокопроизводительных топливных брикетов, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица параметров торфа и эффекта от брикетирования

Параметр	Фрезерный торф	Торфяной брикет	Эффект от брикетирования
Влажность (W), %	40–55%	8–15%	Рост удельной теплоты сгорания в 1,5–2 раза.

Зольность (A_r), %	3–15%	2–10%	Снижение за счет очистки. Меньше золы после сжигания.
Плотность, кг/м ³	300–500 (насыпная)	900–1200 (удельная)	В 3 раза выше. Резко увеличивает энергетическую плотность, упрощает хранение и логистику.
Механическая прочность	Нет	Высокая	Устойчивость к транспортировке, не крошится.
Теплота сгорания (низшая), МДж/кг	8–12 (при влажности 45%)	14–17	Основная цель переработки – получение концентрированного топлива.

Анализ данных, представленных в таблице 2 и на рисунке, позволяет сделать вывод о целесообразности использования процесса пиролиза для брикетирования торфа для сушки, что способствует повышению его теплотворной способности. Однако процесс пиролиза сопряжён с рядом сложностей, основной из которых является потеря горючих летучих газов, что приводит к снижению теплотворной способности, как видно из рисунка 1.

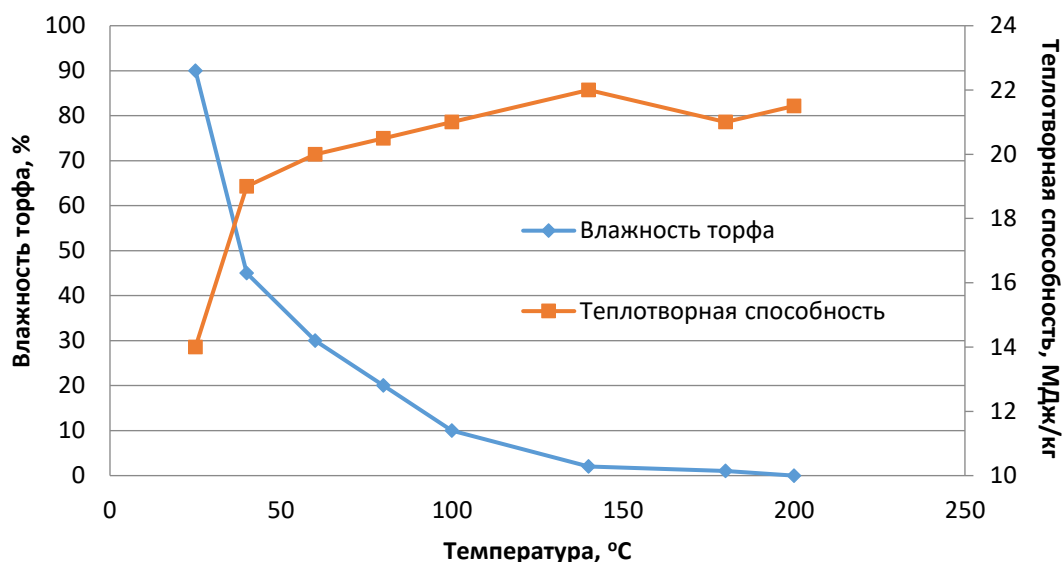


Рис. Параметры торфа в зависимости от температуры подготовки брикетов

С точки зрения физико-химических процессов, невозможно удерживать летучие газы внутри брикета торфа во время пиролиза, что противоречит сути термохимической конверсии. Пиролиз, включая его «мягкую» форму – торрефикацию, представляет собой процесс разложения органического вещества под воздействием температуры, в результате которого обязательно происходит выделение и удаление летучих веществ с целью получения твёрдого углеродистого остатка.

Однако возникает вопрос о сохранении энергетического потенциала летучих компонентов в конечном продукте. Можно предложить два основных подхода к решению этой проблемы:

- в ходе технологического процесса следует избегать полного удаления летучих компонентов, применяя метод торрефикации. Этот процесс осуществляется при относительно низких температурах, составляющих 200–300 °C, что позволяет разложить только

гемицеллюлозу, сохраняя при этом основную массу целлюлозы и лигнина. Эти компоненты служат для удержания «связанной» энергии в твёрдом теле;

– восстановления улетучившихся веществ, что является наиболее технологичным решением. Оно заключается в конденсации пиролизного газа, отделении пиролизной смолы (пека) и нанесении её на поверхность готового брикета. Смола затвердевает, образуя гидрофобную оболочку. Это позволяет вернуть в топливо значительную часть выделившейся энергии. Кроме того, смола служит связующим звеном, сохраняя прочность брикета. Таким образом, в процессе технологической практики летучие газы сначала отводятся, а затем «консервируются» в брикете в виде жидких и твёрдых связующих компонентов. Этот метод будет использоваться в качестве основного в будущем.

Однако помимо производственных трудностей, торфобрикетное производство сталкивается с рядом экономических и социальных вызовов. Одним из них является нестабильность рынка торфяной продукции. Спрос на торфяные брикеты может меняться в зависимости от цен на альтернативные источники энергии. Кроме того, конкуренция с традиционными энергоносителями, такими как газ и уголь, которые зачастую остаются более доступными и привычными, усложняет продвижение торфобрикетов на рынке.

Для обеспечения успешного и стабильного развития торфобрикетного производства необходимо предпринять комплексные меры, направленные на минимизацию рисков на всех этапах производственного цикла – от добычи сырья до получения конечного продукта.

Для решения этих задач предлагается внедрение современных технологий. Применение передовых методов сушки и пиролиза с восстановлением улетучившихся газов позволят оптимизировать затраты энергии и повысить качество брикетов, делая производство более эффективным и экологически безопасным.

Разработка и внедрение систем мониторинга влажности и температуры торфяных залежей и штабелей позволяет своевременно выявлять и предотвращать риски самовозгорания.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что торфобрикетное производство в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре представляет собой значимое и необходимое направление, способствующее обеспечению энергосбережения и снижению потребления традиционных источников энергии. Это позволит сохранить их запасы на несколько десятков лет.

*Исследование поддержано средствами гранта Фонда научно-технологического развития Югры.
Соглашение № 2024-518-09*

Литература

1. Архангельская Т.А., Телятникова Е.В., Умарова А.Б. Теплопроводность почвенно-торфяных смесей: нелинейная зависимость от содержания торфа // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. №. 4. С. 105-113.

2. Дремичева Е.С., Эминов А.А. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1 (53). С. 96-108.
3. Дубровина И.А. Особенности профильного распределения и запасы биогенных элементов в осушенных торфяных почвах // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6. № 2 (20). С. 49-63.
4. Заворин А.С., Тайлашева Т.С., Буваков К.В., Долгих А.Ю., Воронцова Е.С. Топливные ресурсы Томской области для альтернативного энергетического использования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. №. 6. С. 55-65.
5. Ляпина Е.Е. Геоэкологические и геохимические особенности торфяных залежей Сибири и Дальнего Востока: магистерская диссертация. Томск, 2023.
6. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Басков В.А., Гамиров Д.Р., Волкова Д.В. Анализ факторов, влияющих на качество топливных брикетов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №. 3. С. 87-93.
7. Портнов Д.А., Григоров И.Р., Батраков П.А. Условия производства торфяных брикетов и особенности использования биотоплива в Ханты-Мансийском автономном округе // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета: Материалы конференции (Нижневартовск, 09–10 апреля 2025 года). Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2025. С. 335-342.
8. Рыжникова Е.А., Батраков П.А., Пешко М.С. Анализ возможностей повышения эффективности процесса термического разложения торфа для получения летучих веществ // Енисейская теплофизика: Тезисы докладов Всероссийского форума. В рамках форума: XIV Семинар вузов по теплофизике и энергетике. Школа молодых ученых «Физические основы современных нефтегазовых технологий» (Красноярск, 14–19 апреля 2025 года). Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2025. С. 102-103.
9. Sniezhkin Y.F., Korinchuk D.M. Peat Is an Effective Alternative Fuel // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2022. Т. 44. №. 3. С. 5-15.

© Григоров И.Р., Портнов Д.А., Рыжникова Е.А., 2026

Гришин С.Н., Мунин А.П., Озеров Н.А.

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
г. Саратов, Россия

УВЕЛИЧЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ НАКАТКИ

Теплообменные аппараты в настоящее время являются основой любого энергетического комплекса или промышленного производства. С их помощью передаётся тепло от одной среды к другой, обеспечивая протекание технологических процессов, выработку электроэнергии, подачу отопления, горячей воды или же осуществления вентиляции. От уровня эффективности работы теплообменных аппаратов зависит целое производство. Данный показатель напрямую влияет на себестоимость продукции, удельные расходы топлива и нагрузку на окружающую среду [1].

В зависимости от задач, выполняемых теплообменниками, будут различаться их конструктивные и функциональные особенности. По способу передачи теплоты от одного теплоносителя в другому их классифицируют на основные типы. Рекуперативные теплообменники это одни из самых популярных аппаратов. В них горячий и холодный теплоноситель движется одновременно, но они разделены стенкой. Бывают кожухотрубные, спиральные и кожухотрубные рекуперативные теплообменники. В регенеративных аппаратах одна и та же поверхность, которая попеременно омывается то холодным, то горячим теплоносителем. Сначала тепло аккумулируется с помощью насадки, а далее отдается ее холодному теплоносителю, охлаждаясь. Существуют так же смешительные теплообменники, в которых передача теплоты происходит при контакте и смешении теплоносителей. Они просты тем, что у них отсутствует разделяющая стенка. В данной статье основное внимание будет уделено рекуперативным теплообменникам (рис. 1).

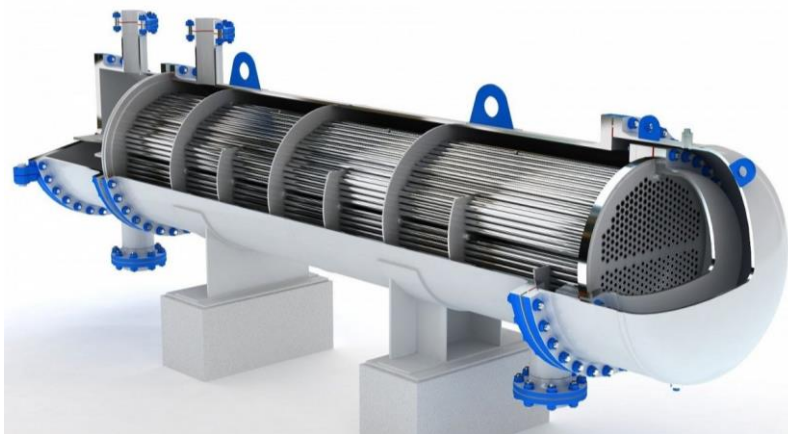
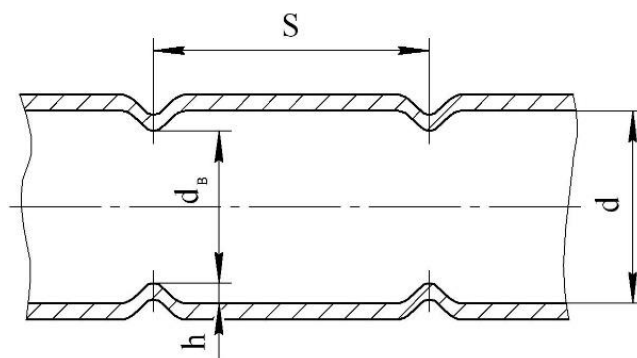


Рис. 1. Рекуперативный теплообменник

Главным направлением повышения энергоэффективности промышленного комплекса является максимально эффективное использование энергетических ресурсов. В настоящее время средний коэффициент использования энергии на промышленных предприятиях составляет около 35%. Из этого можно сделать вывод, что огромное количество уходящих

газов уходит в атмосферу. Интеграция вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в технологический цикл приводит к оптимизации производства и существенному снижению топливopotребления, оказывая тем самым положительное влияние на экономические показатели [2; 3].

Один из методов повышения эффективности использования вторичных энергетических ресурсов является интенсификация теплообменного оборудования. Среди большого количество методов интенсификации рассмотрен метод накатки (рис. 2) так как он выделяется своей технологичностью, надёжностью и простотой. Метод заключается в образовании небольших углублений (канавок) на всей поверхности трубки. Образующиеся в результате механической деформации стенки трубы выступы-турбулизаторы позволяют значительно повысить интенсивность теплообмена, но при этом возрастает и сопротивление течению в трубе [3].



h – глубина канавки, S – шаг накатки, d – внутренний диаметр трубы, $dв$ – внутренний диаметр трубы с учетом канавок

Рис. 2. Интенсификации теплообмена в трубах выполненная накаткой

Так как в теплообменном аппарате нагреваемой средой выступает воздух, а греющей уходящие продукты сгорания из колта-утилизатора, интенсифицировать теплообмен более целесообразно со стороны теплоносителя, так как он имеет более низкий коэффициент теплоотдачи. В данной работе рассматривается относительность шага S/d как критерий оптимальности, однако также существует вариант с изменением глубины лунки накатки.

Рассмотрим строительство воздухоподогревателя после котла-утилизатора, приняв оптимальные варианты значений шага труб в ряду равные 0,4; 0,45; 0,5; 0,55. Результаты проведенных исследований и расчетов приведены в таблицах ниже. Сравнение полученных данных будет производиться на основании технико-экономических показателей проекта. Для отыскания наиболее подходящего относительного шага S/d выступов определим при различных его величинах значение отношений интенсивностей теплообмена и сопротивлений внутри теплообменника с гладкими трубами и теплообменника с накаткой ($Nu/Nu_{гл}$ и $\zeta/\zeta_{гл}$). Здесь величина без индекса соответствует трубе с накаткой, а с индексом «гл» – гладкой трубе [4; 5].

Для нахождения наиболее выгодного относительного шага используем данные отношения для значений S/d :

$$\frac{Nu}{Nu_{г\text{л}}} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{30} \right] \cdot \left[\left(3,33 \frac{S}{d} - 16,33 \right) \cdot \frac{d_{\text{в}}}{d} + \left(17,33 - 3,33 \frac{S}{d} \right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\zeta}{\zeta_{г\text{л}}} = \left[1 + \frac{100 \cdot (\lg Re - 4,6) \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{в}}}{d} \right)^{1,65}}{\exp \left(\frac{S}{d} \right)^{0,3}} \right] \cdot \exp \left[\frac{25 \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{в}}}{d} \right)^{1,32}}{\left(\frac{S}{d} \right)^{0,75}} \right] \quad (2)$$

На основе данных формул находим отношения $Nu/Nu_{г\text{л}}$ и $\zeta/\zeta_{г\text{л}}$ для 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 и полученные результаты сводим в таблицу 1.

Таблица 1

Отношения $Nu/Nu_{г\text{л}}$ и $\zeta/\zeta_{г\text{л}}$

S/d	0,4	0,45	0,5	0,55
$Nu/Nu_{г\text{л}}$	2,0427	2,0311	2,0195	2,007
$\xi/\xi_{г\text{л}}$	3,9114	3,4563	3,1229	2,8689

Из анализа приведенных отношений следуют расчетные зависимости для определения теплотехнических характеристик.

Критерий Нуссельта:

$$Nu = A \cdot Nu_{г\text{л}} \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\alpha_{\text{д}} = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{д}}}{d_{\text{вн}}} \quad (4)$$

Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{д}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} \right)} \quad (5)$$

Необходимая площадь теплообменника, м^2 :

$$F = Q_{\text{в}} \cdot \frac{1000}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} \quad (6)$$

Рассчитываем далее теплотехнические характеристики для $S/d = 0,4; 0,45; 0,5; 0,55$ по этим же формулам и полученные результаты сводим в таблицу 2.

Таблица 2

Теплотехнические характеристики

S/d	0,4	0,45	0,5	0,55
Nu	162,453	161,529	160,605	159,681
$\alpha_{\text{д}}$	117,7784	117,1084	116,439	115,7694
K	57,4684	57,3085	57,1447	56,9859
F	592,79	594,44	596,11	597,80

Из-за появления канавок по всей длине трубок, поток газа преодолевает силы трения, что напрямую влияет на потерю давления.

Потеря или перепад давления, обусловленные трением, определяется по формуле, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \xi_{г\text{л}} \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{l}{d} \quad (7)$$

Главная задача расчета сводится к определению $\Delta P_{тр}$ коэффициента сопротивления трения $\xi_{гл}$, которые зависят от шероховатости канала, геометрических особенностей теплообменника и от режима движения самого потока газа и воздуха [5; 6].

Коэффициент сопротивления ξ при обтекании шахматного пучка:

$$\xi_{гл} = (4 + 6,6n_1)Re^{-0.28} \quad (8)$$

где плотность дымовых газов $\rho = 1,086 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Найдя коэффициент сопротивления гладких труб $\xi_{гл}$, вычислим коэффициент сопротивления труб с накаткой ξ :

$$\xi / \xi_{гл} = B \quad (9)$$

$$\xi = B \cdot \xi_{гл} \quad (10)$$

Перепад давления потока, Па:

$$\Delta P_{тр} = \xi_{гл} \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{l}{d} \quad (11)$$

После вычисления перепада давления потока, можно определяем электрическую мощность дымососов по формуле, Вт:

$$N = \frac{\Delta P_{тр} \cdot V_d}{\eta} \quad (12)$$

Определение аэродинамических характеристик для $S/d = 0,4; 0,45; 0,5; 0,55$ сводятся в таблицу 3.

Таблица 3

Аэродинамические характеристики

ξ	55,45	48,99	44,27	40,67
$\Delta P_{тр}$ (Па)	57434,32	55036,34	52434,54	50315,32
N дым (кВт)	101,3	97,1	92,5	88,7

Для нахождения оптимального варианта строительства теплообменного аппарата (ТОА) необходимо произвести экономический расчёт. В данном случае будут рассмотрены варианты строительства теплообменного аппарата с интенсификацией теплообмена путем накатки и теплообменника с гладкими трубами для более точного сравнения.

Методика оценки экономической эффективности базировалась на использовании актуальных данных по состоянию на конец 2025 года. В качестве исходных параметров выступали сметные нормативы на проектирование и строительство теплообменного оборудования, а также стоимость материально-технических ресурсов. Выбор тарифа на электроэнергию обусловлен привязкой проекта к производственным мощностям нефтегазового предприятия в г. Сызрань, что позволило максимально точно смоделировать реальные условия эксплуатации.

Итогом аналитической работы стали графические материалы (диаграммы), наглядно демонстрирующие распределение инвестиций на этапе создания воздухоподогревателя, прогнозируемые годовые затраты на энергоносители и совокупный народнохозяйственный (или коммерческий) эффект от внедрения агрегата [6].

Основные результаты приведены на рисунках ниже.

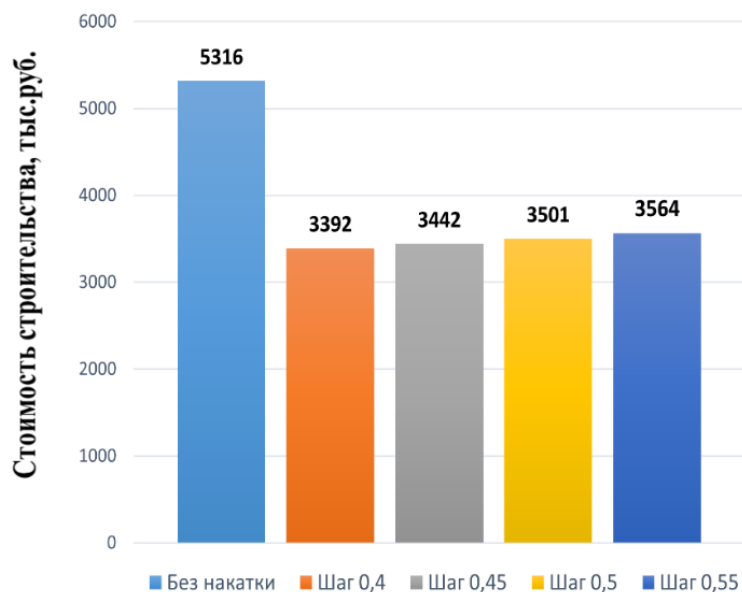


Рис. 3. Затраты на строительство воздухоподогревателя

Исходя из диаграммы можно сделать вывод что строительство воздухоподогревателя без интенсификации дороже за счет более больших размеров самого аппарата. Используя интенсификацию, можно сократить затраты на строительство, а также использование рабочего пространства из-за более компактных размеров самого аппарата.

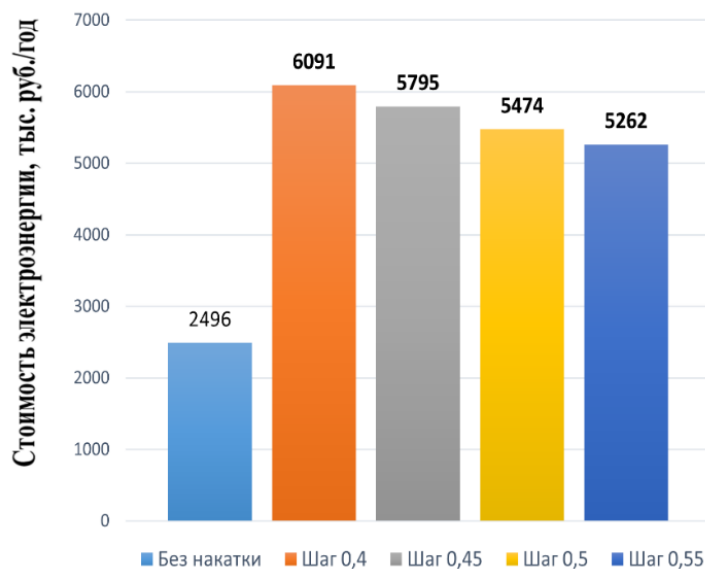


Рис. 4. Годовые издержки на электроэнергию

В случае показателей годовых издержек явно выделяется что теплообменники с накаткой трубок будут обходиться дороже чем вариант без накатки. Все из-за более сильного аэродинамического сопротивления внутри труб аппарата. В результате чего увеличиваются издержки на электроэнергию, используемую дымососом.

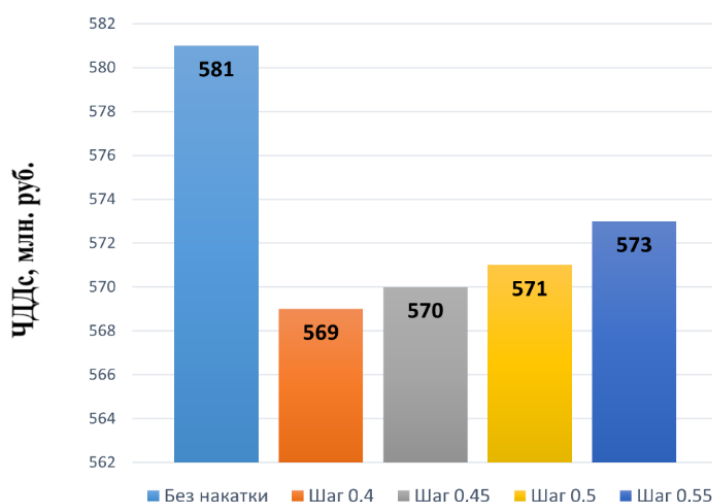


Рис. 5. Интегральный эффект от внедрения ТОА

Выполненные расчеты демонстрируют, что интеграция воздухоподогревателя в газоподогреватель после котла-утилизатора позволяет сократить потребление природного газа на 112 м³/с, что приводит к существенному снижению годовых затрат на топливо. Однако ключевым фактором, определяющим выбор конкретной конструкции, является баланс между достигаемой экономией и эксплуатационными расходами. Установлено, что применение труб с накаткой ведет к росту аэродинамического сопротивления тракта. В сложившихся условиях дополнительные затраты на электроэнергию для привода дымососов нивелируют экономический эффект от сэкономленного газа. Таким образом, с экономической точки зрения наиболее целесообразным является применение воздухоподогревателя с гладкими трубами (без накатки). Общая стоимость строительства данного теплообменного аппарата оценивается в 5,3 млн руб., что при выбранной конфигурации обеспечивает его рентабельность.

Однако полученные результаты не позволяют полностью исключить применение труб с накаткой из рассмотрения. Несмотря на отрицательный экономический эффект в условиях данного проекта, такие теплообменники сохраняют свою актуальность для производств, где критически важна высокая интенсивность теплопередачи. В первую очередь, использование накатки оправдано в условиях ограниченности производственных площадей или в технологических процессах, где достижение требуемых параметров нагрева невозможно без интенсификации теплообмена. Таким образом, предложенное техническое решение (воздухоподогреватель с гладкими трубами) является оптимальным исключительно для данного частного случая, в то время как сама методика исследования универсальна и может быть применена для выбора оборудования на других промышленных объектах.

Литература

1. Беляев А.В., Сидельников Н.Е., Гареев Э.И., Дедов А.В. Экспериментальное исследование интенсификации теплообмена при вынужденном течении в мини-канале // Теплоэнергетика. 2024. № 10. С. 56-65.
2. Гафуров А.М. Утилизация вторичных энергоресурсов в нефтехимической промышленности // Теория и практика современной науки. 2017. № 3(21). С. 788-791.

3. Дрейцер Г.А., Парамонов Н.В., Неверов А.С. Комплексное исследование научных и практических проблем интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах // Инженерно-физический журнал. Т. 65, № 1. С. 25-31.
4. Мемедейкина Н.П., Теличкина Э.Р. Интенсификация процесса теплообмена в технологическом оборудовании // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2025. № 3. С. 35-42.
5. Лобанов И.Е. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах на базе четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя // Современные проблемы науки и образования. 2025. № 7. С. 81-89.
6. Мунин А.П. Исследование эффективности собственных систем энергообеспечения предприятий переработки нефти с утилизацией ВЭР и выработкой энергетических ресурсов // Энергия-2022. Иваново, 2022. С. 121-122.

© Гришин С.Н., Мунин А.П., Озеров Н.А., 2026

Дубовец Д.В., Силивёрстов Г.А., Батраков П.А.
Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

Имея четкое представление о том, как улучшить инфраструктуру и оптимизировать процесс нефтедобычи, а также о возможности использования попутного нефтяного газа (ПНГ) в нефтедобывающих регионах и в России в целом, можно эффективно применять этот ресурс для социального и экономического развития [1; 2].

Такой подход уже практикуется в большинстве развитых стран мира. Однако для реализации этой идеи необходима продуманная политика в области разработки газовых месторождений, которая позволит прекратить практику сжигания газа на факелах, что является традиционной практикой в нефтегазовой промышленности России.

Таким образом, инфраструктура сбора, транспортировки и распределения попутного нефтяного газа играет ключевую роль в его эффективном использовании на национальном, региональном и международном уровнях.

Добыча и использование ПНГ открывают новые возможности для планирования и реализации, природоохранных мер и устойчивого развития в бассейне Оби и Иртыша. Проекты по освоению газа, будь то на местном, региональном или федеральном уровне, способствуют его использованию, экспорту и энергоэффективному управлению невозобновляемыми ресурсами.

Расширение внутреннего газового рынка и развитие региональных и международных газовых сетей могут стать основой для перехода к низкоуглеродной энергетике и значительному снижению загрязнения окружающей среды, как в стране, так и в регионе и во всем мире, что является результатом множества процессов, которые привели к деградации окружающей среды [2].

На основе анализа современной научной литературы и отраслевых источников мы составили таблицу 1, в которой систематизированы передовые технологии утилизации ПНГ в условиях отсутствия развитой транспортной инфраструктуры. В первую очередь мы сосредоточились на решениях, которые могут быть использованы для малых и удалённых месторождений, а также на зрелых полях и шельфовых объектах.

Основная классификация охватывает большинство современных технологий и делит их на два типа: мобильные (транспортабельные и масштабируемые) и стационарные малогабаритные. В таблице 1 представлены наиболее значимые и технологически завершённые проекты, которые были описаны в рецензируемых источниках и отраслевых кейсах за период с 2020 по 2025 год.

Таблица 1

Передовые технологии утилизации ПНГ при отсутствии инфраструктуры

№	Технология / Решение	Принцип действия	Ключевые преимущества	Ограничения и условия применения	Примеры / Источники
1	Мобильные трубопроводы («Mobile Pipeline») [12]	Транспортировка газа в композитных баллонах автотранспортом, без строительства труб	Гибкость, скорость (ввод за 9 мес.), экономия на инфраструктуре	Рентабельность <800 км, требуется предварительная очистка и осушка	Hexagon Composites (Норвегия)
2	Блочно-модульные генераторы [3, 13]	Сжижение/сжатие ПНГ для мини-ТЭЦ, использование модулей	Масштабируемость, быстрый монтаж	Низкий % метан в ПНГ снижает эффективность, нужна очистка	PETRONAS (Малайзия)
3	Криогенные комплексы (Micro-LNG) [10]	Сжижение ПНГ для хранения и транспортировки	Высокая энергоёмкость, экспорт, пригоден для удалённых районов	Требуется глубокой очистки, высокий CAPEX (капитальные затраты)	Single Mixed Refrigerant (Ливия)
4	Gas-to-Hash / Майнинг криптовалют	Сжигание газа в двигателях для электроэнергии [7, 8], майнинг	Без инфраструктуры, быстрое отключение, утилизация активов	Волатильность, регуляторные риски, стабильный поток газа	West Newton (Великобритания)
5	Химическая переработка / GTL [9]	Конверсия в синтез-газ → жидкие продукты	Высокий КПД, снижение факельных выбросов	Высокие кап. затраты, сложность масштабирования	Haldor Topsøe, (Дания)
6	Плазмо-химические / Микроволновые технологии [11]	Пиролиз метана в водород и сажу, без CO ₂	Экологично, товарный продукт	Экспериментальные, лабораторные стадии	H Quest (США)
7	Очистка и компрессия [5]	Улавливание, удаление H ₂ S, закачка в сеть	Быстрый запуск на существующих полях, подход при наличии ГПЗ	Требуются магистральные инфраструктуры	«Оренбургские» (РФ) и SOCAR + Baker Hughes (Азербайджан)

В период с 2024 по 2025 год наблюдается снижение интереса к традиционной инфраструктуре, поскольку строительство классических трубопроводов становится нерентабельным для 70% небольших газовых месторождений, где добыча составляет менее 30 000 кубометров в сутки. Специалисты считают, что единственным быстрым решением является мобильность и возможность перемещения активов.

В технологической сфере набирают популярность биткоин и технология «Gas-to-Hash», которые позволяют конвертировать газ прямо у скважины в деньги, обходя товарный рынок. Для небольших объёмов газа с низким газовым фактором (менее 35 м³/м³) эффективной альтернативой традиционным методам становится электрификация и замена дизельного топлива. Опыт компании Petronas в 2025 году показал, что использование локального попутного нефтяного газа (ПНГ) может сэкономить до 19 миллионов долларов в год.

В области газохимии технологии конвертации метана остаются дорогими и не получили широкого распространения из-за высокой энерго- и капиталоемкости.

К 2025 году в приоритете будут модульные центры обработки данных (ЦОД) на основе майнинга и мобильные композитные трубопроводы – проверенные и перспективные решения.

Тем не менее, несмотря на это, исследования, опубликованные в ходе различных конференций с 2020 по 2025 год, продолжают рекомендовать использование традиционных газопроводов для подключения газоперерабатывающих установок (ГПУ) с минимальными инвестициями. Это свидетельствует о некотором отставании академических рекомендаций от рыночных финтех-решений.

Однако региональные особенности российского газового комплекса требуют учитывать более масштабные и территориально распределённые особенности. Обь-Иртышский бассейн – один из крупнейших в России, его площадь составляет около 1 643 000 км². Бассейн простирается практически по всей Западной Сибири, а также захватывает часть Казахстана и Китая.

Инфраструктура бассейна включает в себя 14 627 км внутренних водных путей, из которых 6 192 км имеют гарантированные габариты судовых ходов. В бассейне расположено более 200 крупных водохранилищ, объём которых превышает 1 млн м³, а 11 из них имеют объём более 100 млн м³. Среди крупнейших водохранилищ можно выделить Новосибирское (8 800 млн м³), Аргазинское (740 млн м³), Гилёвское (471 млн м³) и Белоярское (250 млн м³).

В регионе также имеются защитные дамбы, водозаборы, очистные сооружения и накопители. Транспортное значение бассейна подтверждается наличием траншей и портов у месторождений Нумги, Ямбург и Харасавэй, расположенных на Крайнем Севере (Рис. 1а).

Управление речной системой осуществляется компанией «Обь-Иртышводпуть», которая несёт ответственность за безопасность судоходных сооружений в Омске, Тобольске, Ханты-Мансийске, Сургуте и Салехарде. Некоторые порты оснащены подъездными путями, что значительно облегчает грузоперевозки.

Сухопутная инфраструктура представлена железнодорожными магистралями, автомобильными дорогами, промышленными парками и логистическими центрами, которые связаны с речной системой.

К числу важных железнодорожных линий относятся: Тюмень–Тобольск–Сургут–Нижневартовск–Уренгой; Транссибирская магистраль, пересекающая Иртыш в Омске; Иртышская–Карасук–Камень-на-Оби–Алтайская.

В Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) расположен Обь-Иртышский бассейн – регион с развитой инфраструктурой и сложной логистикой. Это связано с внушительными запасами нефти и газа, что делает его стратегически важным для энергетической системы страны.

В этом регионе активно развиваются промышленные и логистические центры, что обусловлено большими запасами углеводородов.

Однако плотность транспортной сети в регионе остаётся сравнительно невысокой, и эффективное освоение этих ресурсов затрудняется из-за недостаточного развития

транспортной и дорожной инфраструктуры. Особенно остро эта проблема стоит в отдалённых районах, где отсутствуют круглогодичный доступ и необходимое количество транспортных связей.

Обь-Иртышский бассейн является частью Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, где в юрских и более древних отложениях скрыты крупные залежи углеводородов (Рис. 16).

Основные источники углеводородов – верхнеюрские отложения и бишеневская свита, сформировавшиеся в переходных условиях осадконакопления. К перспективным районам добычи относятся Восточно-Межовская, Чузикско-Чижапская, Игольско-Таловая и Сергеевская зоны.

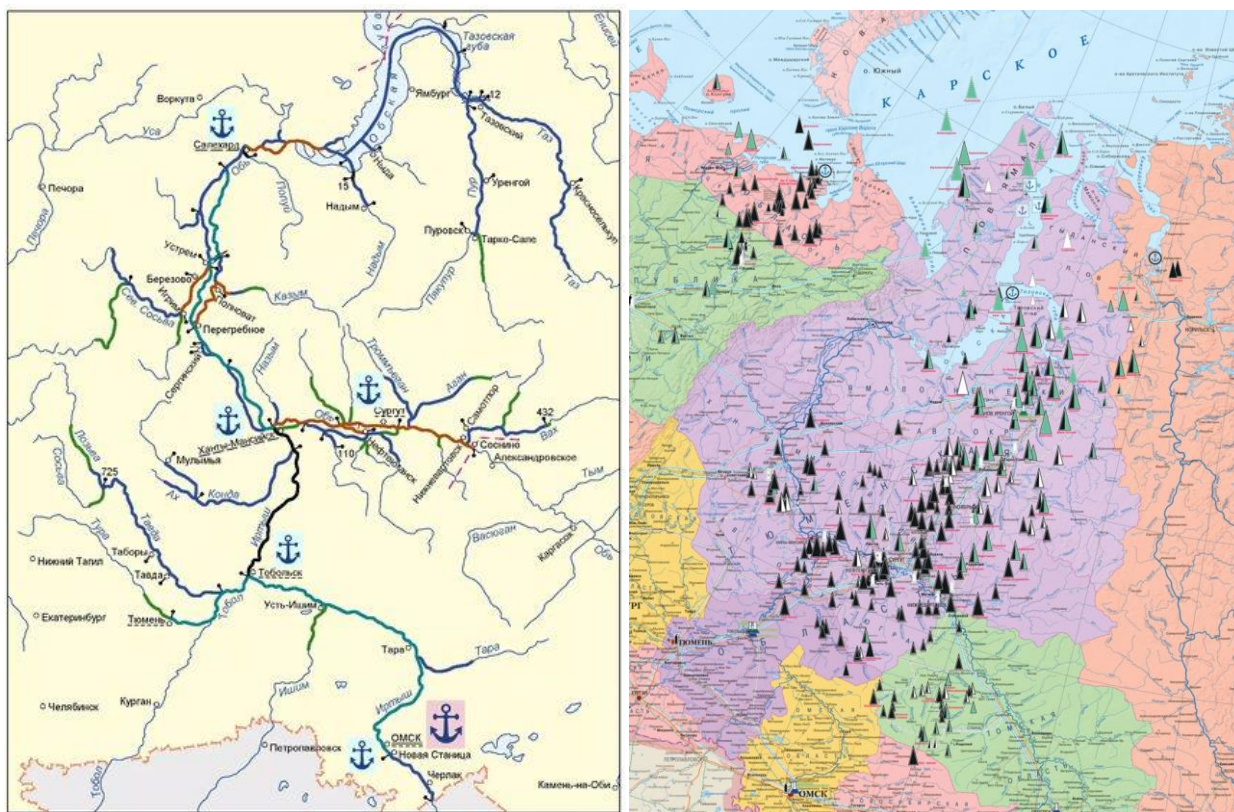


Рис. Карта Обь-Иртышского бассейна. а – основные элементы водной инфраструктуры [6]; б – основные нефтегазоносные районы [4]

Геологическая структура региона характеризуется наличием васюганской свиты и её аналогов. Это основной источник нефти и газа в области, при этом формирование верхнеюрских отложений связано с переходными условиями между морской и прибрежно-континентальной седиментацией. Эффективные методы изучения включают палеогидрогеологические реконструкции, геофизические исследования, анализ химического состава вод и нефти, а также гидрогеохимические критерии.

Основные проблемы связаны с трудностью картирования нефтегазоносных объектов из-за сложной распределённости коллекторов и их взаимодействия с флюидоупорами, что приводит к залежам нефти и газа, приуроченным к сложнопостроенным ловушкам. В пределах верхнеюрского комплекса выявлены высокоперспективные зоны и менее изученные

территории, требующие дальнейших геолого-геофизических исследований и глубокого бурения. Для актуальной оценки ресурсов рекомендуется обращаться к государственным геологическим фондам и регулярно обновлять соответствующие карты.

В Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) при дефиците инфраструктуры газопоршневые электростанции (ГПЭС) становятся самым эффективным способом утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ). Эти установки адаптированы к местным условиям и уже доказали свою успешность. ГПЭС имеют двигатели с низкой степенью сжатия для работы с нестабильным ПНГ Западной Сибири, используют радиаторные охладители «воздух/вода» для низких температур и оснащены системами дистанционного управления.

Причины выбора ГПЭС для ХМАО:

- полная энергетическая автономия в отсутствие газопроводов и линий электропередач. Контейнерные установки быстро доставляются и обеспечивают электроэнергией ключевые объекты: скважины, насосные станции, системы подготовки нефти и вахтовые посёлки;

- доказанная эффективность в регионе: проекты показывают стабильное электроснабжение и значительную экономию затрат по сравнению с дизелем.

Как пример можно привести уже реализуемые проекты:

- Нижне-Шапшинском месторождении (компания «Русснефть») работает ГПЭС мощностью 44 МВт, обслуживающая группу месторождений. Установка поднята на сваях из-за климата;

- Средне-Назымском (ЛУКОЙЛ) семь газопоршневых агрегатов снабжают электроэнергией буровые работы, снижая затраты на 50% по сравнению с дизельными генераторами.

Хотя этот метод эффективен и реализуем, хотелось бы предложить более современное и многообещающее решение – майнинг криптовалют.

Для анализа предлагается объединить майнинг и газопоршневые электростанции, что может стать новым перспективным направлением. Суть его заключается в использовании избыточной электроэнергии, вырабатываемой ГПЭС, для майнинга криптовалют.

Эта инновационная система представляет собой следующую модель: на месторождении устанавливается стандартная газопоршневая электростанция, а рядом с ней – мобильный контейнер, оснащённый ASIC-устройствами для майнинга. Электроэнергия, производимая станцией, продаётся майнерам по цене ниже рыночной, что позволяет эффективно утилизировать попутный нефтяной газ и получать дополнительный доход.

Это решение особенно полезно для удалённых месторождений, где нет возможности подключиться к общей электросети. Однако стоит отметить, что оно не заменяет базовую технологию газопоршневых электростанций, а дополняет её.

Основываясь на результатах проведённого исследования, давайте попробуем провести сравнительный анализ традиционных методов строительства газопровода, более современного, уже апробированного ГПЭС, и инновационного подхода, учитывающего тенденции рынка и использующего ГПЭС в качестве основы для майнинга.

Таблица 2

Сравнение наиболее подходящих для ХМАО технологий утилизации ПНГ

Технология	Применимость в ХМАО без инфраструктуры	Преимущества	Недостатки
Газопоршневые установки	Высокая (оптимально)	Быстрая окупаемость, автономность, множество реализованных проектов в регионе	Требует предварительной подготовки газа (очистка от сероводорода, осушка)
Майнинг на базе ГПЭС	Средняя (как дополнение)	Монетизация избытков энергии, работает на удалённых объектах	Зависимость от волатильности крипторынка, требует размещения вычислительных мощностей
Строительство газопровода	Низкая	Возможность продажи газа	Огромные капиталзатраты, нереализуемо для малых и средних месторождений

В условиях Ханты-Мансийского автономного округа, в районах, где отсутствует развитая инфраструктура позволяющая эффективно утилизировать ПНГ, рекомендуется придерживаться следующей стратегии:

1. Для малых и средних месторождений с электрической мощностью до 10 МВт целесообразно применять блочно-модульные газопоршневые электростанции (ГПЭС) в контейнерном исполнении. Эти установки быстро монтируются, не требуют возведения капитальных сооружений и могут быть расширены по мере роста потребностей.

2. Для крупных месторождений (свыше 15 МВт) рекомендуется создавать энергоцентры, которые можно будет подключить к майнинговым фермам для монетизации избытков электроэнергии в периоды низкого потребления.

В любом случае обязательным условием является установка системы предварительной подготовки газа, которая удаляет сероводород, механические примеси и тяжёлые углеводороды. Без такой подготовки ресурс ГПЭС значительно снижается. Современные отечественные установки для подготовки попутного нефтяного газа уже успешно используются в Югре.

Газопоршневые установки – это надёжный, экономически эффективный и технически осуществимый способ утилизации ПНГ в ХМАО, где нет развитой инфраструктуры. Инновационное решение в виде майнинга ещё больше повышает рентабельность, особенно на удалённых объектах.

*Исследование поддержано средствами гранта Фонда научно-технологического развития Югры.
Соглашение № 2024-518-09*

Литература

1. Батраков П.А., Батракова А.А., Рыжникова Е.А. Анализ использования попутного нефтяного газа на объектах добычи нефти. Экологическое и экономическое обоснование // Международная конференция Нижегородского Фестиваля науки: Сборник тезисов докладов

(Нижний Новгород, 24–25 октября 2024 года). Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. С. 144-145.

2. Батракова А.А., Герасимова П.А., Рыжникова Е.А., Батраков П.А. Анализ потенциала рационального использования попутного нефтяного газа // Нефть и газ – 2025: Сборник трудов 79-ой Международной молодежной научной конференции (Москва, 21–25 апреля 2025 года). Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2025. С. 24-32.

3. Батталов Р.Т. Газотурбинная блочно-модульная электростанция ГТЭС «УРАЛ-2500» для электроснабжения нефтегазовых месторождений // Мировая наука. 2022. № 2 (59). С. 19-21.

4. Вялов В.И. и др. Нефтегазоносные и газонефтеносные бассейны // Национальный атлас России. 2007. Т. 2. С. 80-83.

5. Жагфаров Ф.Г., Григорьева Н.А., Срибная Т.Ю. Модернизация установки комплексной подготовки газа и дожимной компрессорной станции Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения с целью приема и подготовки попутного нефтяного газа // НефтеГазоХимия. 2022. №. 1-2. С. 53-59.

6. ФБУ Администрация Обь-Иртышского бассейна внутренних водных путей. URL: <https://clck.ru/3ThoT2>

7. Фролов В.Я., Кожубаев Ю.Н., Милицын А.А., Ершов Р.В. Методы утилизации шахтных газов для производства электроэнергии и тепла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. №. 2. С. 97-109.

8. Batrakov P.A., Ryzhnikova E.A., Batrakov A.A. The use of associated petroleum gas by burning it in a mixture with natural gas in a combined cycle gas plant to generate mechanical energy and electricity // 2024 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). IEEE, 2024. P. 1-8.

9. Behroozsarand A., Zamaniyan A. Simulation and optimization of an integrated GTL process // Journal of Cleaner Production. 2017. V. 142. P. 2315-2327.

10. Khoir K.L., Ade A.R., Widi W.H. Technical and Economic Analysis of Mini LNG from the Utilization of Gas Flare by Optimization of Liquefaction Process // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. SPE, 2022. P. D011S007R004

11. Panicker P.K., Magid A. Microwave plasma gasification for enhanced oil recovery and sustainable waste management // Energy Sustainability. American Society of Mechanical Engineers, 2016. V. 50220. P. V001T02A010

12. Stevenson A. Bobat M., Everard D. Digital Automated Mobile Pipeline Construction // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. SPE, 2020. P. D041S102R003

13. Zaman A.A.B.K., Khana M.S.B.K., Saleem A.R.B.A. Petronas oil & Gas Industry case study in petronas. URL: <https://clck.ru/3ThoWj>

Забудский К.С.

Омский государственный технический университет
г. Омск, Россия

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПНГ В РФ И МИРЕ. КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На данный момент проблема утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) остается по-прежнему актуальной для всего мира. С каждым днем человечеству требуется все больше нефти, а это требует увеличенных темпов добычи, что в свою очередь способствует большему сжиганию ПНГ. Согласно статистике, мировые объемы сжигания продолжают только расти, в 2024 году объемы сжигания ПНГ при добыче нефти возросли на 3 млрд м³ и теперь достигли 151 млрд м³, что является самым высоким показателем почти за два десятилетия [8].

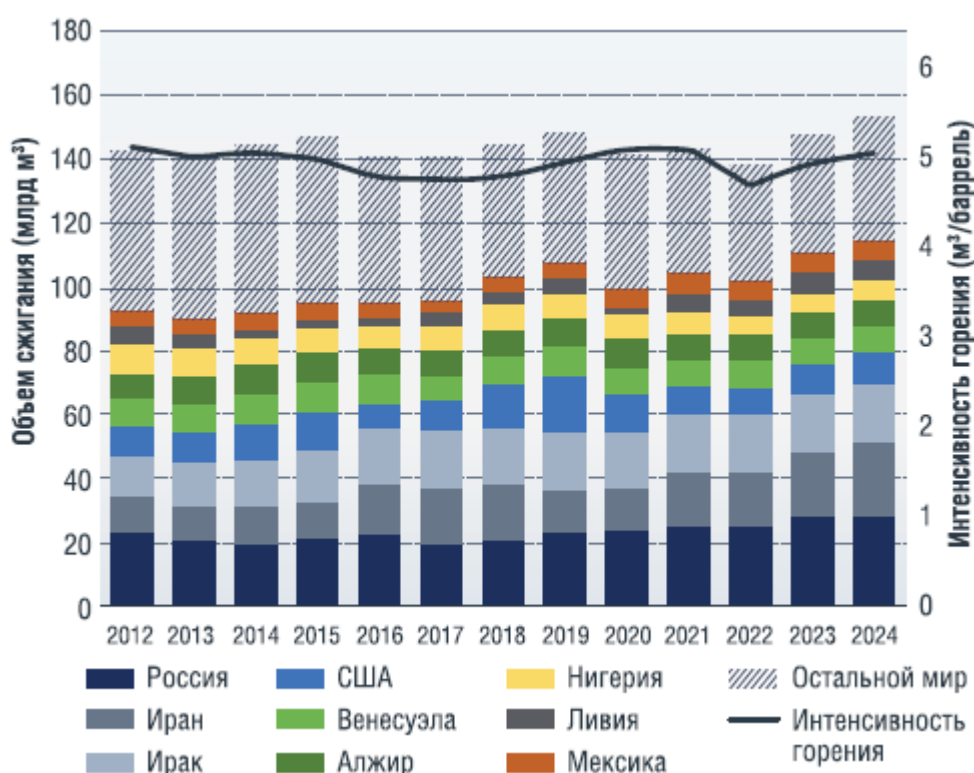


Рис. 1. Глобальный объем сжигания попутного нефтяного газа и его интенсивность на объектах добычи и переработки нефти и газа [8]

Попутный нефтяной газ представляет собой многокомпонентную газовую смесь, являющуюся побочным продуктом при добыче и сепарации нефти. Его ключевая особенность заключается в вариабельности состава, который существенно зависит от геохимических условий конкретного месторождения, что определяет его физико-химические свойства и направления рационального использования [3].

Состав ПНГ характеризуется преобладанием легких углеводородов с широким диапазоном концентраций, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Типичный компонентный состав ПНГ [3]

Компонент	Диапазон содержания, % об.	Компонент	Диапазон содержания, % об.
Метан (CH ₄)	66–92	Н-бутан (n-C ₄ H ₁₀)	0,02–5,37
Этан (C ₂ H ₆)	1,7–14	Пентан (C ₅ H ₁₂) и выше	0,00–1,77
Пропан (C ₃ H ₈)	0,77–12,06	Двуокись углерода (CO ₂)	0,10–2,77
Изобутан (i-C ₄ H ₁₀)	0,02–2,65	Азот (N ₂)	0,50–2,00

Энергетические свойства ПНГ напрямую вытекают из его состава. Высокое содержание углеводородов обуславливает значительную теплотворную способность, которая варьируется в пределах 37 673–62 788 кДж/м³ [6]. Такой широкий разброс значений нижней и высшей теплоты сгорания является прямым следствием нестабильности фракционного состава. Соответственно, температура горения ПНГ также является величиной переменной, достигая высоких значений при повышенной концентрации тяжелых углеводородов (пропана, бутанов).

Несмотря на его потенциал, проблема с утилизацией его стоит достаточно остро. Основные проблемы для его использования представляют следующие:

Таблица 2

Основные проблемы утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ)

Проблема / Метод	Описание и последствия
1. Высокая и нестабильная теплотворность	Высокая теплота сгорания (37 673–62 788 кДж/м ³) и вариативный состав требуют специализированного энергетического оборудования. Возможны нарушения безопасности, забросы жидкой фазы в трубопроводы и снижение надежности, особенно на котельных при объектах подготовки нефти.
2. Отдалённость мест добычи	Освоение удалённых и труднодоступных месторождений делает экономически нецелесообразным строительство протяжённых газопроводов и инфраструктуры для транспортировки газа к потребителям.
3. Неэффективное ценообразование и низкая рентабельность	Себестоимость добычи ПНГ (4 000–5 000 руб./тыс. м ³) в РФ существенно превышает цену его реализации (600–1 200 руб./тыс. м ³), особенно на ранних стадиях разработки месторождений, что делает его коммерческую продажу убыточной [7].
4. Технологические и безопасностные ограничения	Отсутствие буферных ёмкостей (газгольдеров) и перепады давления в системе добычи вынуждают сжигать излишки газа на факелах для поддержания безопасного режима работы.

Также стоит отметить и государственное регулирование в области утилизации попутного газа. В 2025 г. В РФ было принято Постановление Правительства РФ от 22.05.2025 № 710 «Об утверждении Правил исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа». В данном документе описывается методика расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду, что по сути является налога на сжигание ПНГ без его использования. Так при его сжигании и рассеивании в пределах 5% от объема добытого газа плата за негативное воздействие на окружающую среду в отношении загрязняющих веществ,

образующихся в результате рассеивания или сжигания попутного газа, исчисляется в общем порядке. В ином случае исчисление платы предусматривает применение повышающих коэффициентов, которые многократно увеличивают размер окончательной платы (коэффициенты 2, 25, 100, 120) [1; 5].

Несмотря на наличие ряда технологий, ни один из существующих методов утилизации ПНГ не является универсальным и экономически безупречным решением [1]. Каждый подход сопряжен с технико-экономическими и экологическими компромиссами, анализ которых представлен ниже. Приведем все преимущества и недостатки методов утилизации газа в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительная таблица методов утилизации ПНГ

Метод утилизации	Преимущества	Недостатки
Факельное сжигание	Простота в обслуживании, надежность, низкие капитальные затраты	Потеря углеводородного сырья, наложение обязательных выплат, выбросы большого количества парниковых газов.
Обратная закачка в пласт [2]	Гибкость в регулировке добычи, снижение выбросов газа	Необходимость больших капитальных затрат, невозможность добычи при высокой обводненности
Выработка энергии	Покрытие собственных нужд в электро- и теплоэнергии, приличные объемы утилизации газа	Выбросы продуктов сгорания ПНГ в атмосферу, повышенное образование сажи
Подача газа в газопроводы	Получение дополнительного дохода	Незначительный объем поставок ПНГ, необходимость в близком расположении магистральных газопроводов.
Переработка ПНГ [4]	Полная утилизация ПНГ	Высокие капитальные затраты на установки переработки, удаленность объектов переработки от рынка сбыта.

Но все они не совершенны, в сфере использования попутного нефтяного газа (ПНГ) наблюдается переход от традиционных методов к инновационным, высокотехнологичным и экономически эффективным решениям. Для специалистов в области энергетики особую значимость приобретают технологии, направленные на повышение эффективности, снижение капитальных затрат и обеспечение гибкого управления ресурсами в условиях удалённых и рассредоточенных месторождений.

Распределённая энергетика, основанная на использовании ПНГ, с высокой степенью эффективности.

Исследования в области малогабаритных газотурбинных установок и газопоршневых электростанций с когенерацией, адаптированных к переменному составу попутного нефтяного газа, являются актуальными. Современные разработки направлены на создание установок мощностью от 1 до 10 мегаватт с высоким электрическим коэффициентом полезного действия (до 40–45%) и общим коэффициентом полезного действия когенерации до 90%.

Особый интерес представляют микротурбинные установки мощностью от 100 до 500 киловатт для энергоснабжения отдельных кустов скважин. Также представляют интерес технологии утилизации тепла выхлопных газов для термохимической подготовки нефти, что создаёт замкнутый энерготехнологический цикл на промысле.

Особое внимание следует уделить малой и модульной газо-жидкостной технологии.

Это одно из наиболее перспективных направлений для разработки удалённых месторождений, не имеющих транспортной инфраструктуры. В последнее время исследования сосредоточены на создании компактных и модульных установок газо-жидкостной технологии, которые преобразуют попутный нефтяной газ в жидкие синтетические продукты, такие как синтетическая сырая нефть, метанол или дизельное топливо.

Новые каталитические процессы, такие как усовершенствованный процесс Фишера-Тропша или прямое окислительное конвертирование метана, направлены на снижение требуемых давлений и температур, увеличение выхода целевой продукции и повышение устойчивости к изменениям в составе сырья. Такой подход решает проблему логистики для энергетиков, превращая газ в стабильную жидкость, пригодную для транспортировки и использования.

Кроме того, разрабатываются технологии подготовки и обогащения ПНГ непосредственно на месте добычи.

В настоящее время актуальны разработки мобильных или модульных установок, предназначенных для низкотемпературной сепарации (НТС) и мембранного разделения. Эти технологии позволяют непосредственно на промысле выделять из попутного нефтяного газа тяжёлые углеводороды (ШФЛУ), которые представляют собой более ценное сырьё. Кроме того, эти установки могут подготавливать метановую фракцию до такого качества, которое позволяет использовать её для закачки в магистральный газопровод или для эффективного сжигания в генераторах.

Исследования в области гибридных мембранно-адсорбционных технологий направлены на снижение энергозатрат на подготовку газа в полевых условиях.

Также важно отметить цифровизацию и интеллектуальное управление потоками ПНГ. Внедрение цифровых двойников месторождений и систем сбора газа позволяет оптимизировать маршрутизацию и использование ПНГ в режиме реального времени. Алгоритмы на основе искусственного интеллекта анализируют переменный дебит, состав газа и потребности в энергии, динамически распределяя потоки между факелом, генерацией, закачкой и накоплением. Это позволяет максимизировать полезное использование и минимизировать потери.

Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и систем накопления энергии представляет собой перспективное направление для развития энергетической отрасли. Концепция гибридных энергокомплексов, в которых попутный нефтяной газ (ПНГ) выступает в роли гарантированного источника энергии, компенсирующего нестабильность солнечных

или ветровых установок на удалённых промыслах, представляет значительный интерес для энергетиков.

Исследуются схемы, в которых избыточная электроэнергия от ВИЭ в пиковые периоды используется для производства водорода, который впоследствии может смешиваться с ПНГ или использоваться в топливных элементах. Это позволяет более эффективно использовать возобновляемые источники энергии и снизить зависимость от традиционных источников энергии.

Кроме того, актуальной задачей является улавливание и использование углерода от сжигания ПНГ. Если сжигание газа для генерации неизбежно, то исследования в области интеграции небольших модулей улавливания CO₂ из выхлопных газов генераторов становятся актуальными. Захваченный углекислый газ может быть использован для газлифта или закачки в пласт для увеличения нефтеотдачи, создавая технологический синергизм и снижая выбросы углекислого газа в атмосферу.

Таким образом, интеграция возобновляемых источников энергии и систем накопления энергии с использованием ПНГ представляет собой перспективное направление для развития энергетической отрасли и снижения зависимости от традиционных источников энергии.

В настоящее время наиболее актуальными и перспективными для коммерческого внедрения являются решения, направленные на повышение гибкости и экономической эффективности:

1. Модульные когенерационные установки, адаптированные к переработке попутного нефтяного газа.
2. Мобильные или контейнерные газожидкостные комплексы малой мощности.
3. Интеллектуальные системы управления энергопотоками на месторождениях.

Эти направления позволяют превратить попутный нефтяной газ из проблемы утилизации в надёжный и экономически выгодный источник энергии для обеспечения работы нефтепромысла, а в перспективе – и для поставок на рынок.

Литература

1. Батраков П.А., Батракова А.А., Рыжникова Е.А. Анализ использования попутного нефтяного газа на объектах добычи нефти. Экологическое и экономическое обоснование // Международная конференция Нижегородского Фестиваля науки: Сборник тезисов докладов (г. Нижний Новгород, 24-25 октября 2024 года). Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. С. 144-145.
2. Гареев А.З. Обзор современных методов эксплуатации скважин // Вестник науки. 2024. Т. 2. № 12(81). С. 1629-1632.
3. Закирова К.Р. Важность вопроса эффективной переработки попутного нефтяного газа // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2. С. 50.
4. Никитина А.В., Зезюля М.Н. Краткий обзор современных методов утилизации ПНГ // Тенденции развития науки и образования. 2025. № 122-5. С. 25-29.

5. Об утверждении Правил исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа: постановление Правительства Рос. Федерации от 22 мая 2025 г. № 710 // Собрание законодательства Рос. Федерации. 2025. № 22 (часть I). Ст. 4301. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202505220001>

6. Сайфуллин Э. Р., Ларионов В. М., Ваньков Ю. В. Численное моделирование стабилизации теплопроизводительности парового котла при сжигании попутного нефтяного газа // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 3-4. С. 17-24.

7. Щерба В.А., Гомес А.Ш.С., Воробьев К.А. Проблемы и перспективы утилизации попутного нефтяного газа в Российской Федерации // Проблемы региональной экологии. 2019. №. 1. С. 139-144.

8. World Bank. Global Gas Flaring Tracker Report (July 2025). Washington: World Bank, 2025. 20 p. <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/publication/global-gas-flaring-tracker-report>

© Забудский К.С., 2026

Нагаев С.А., Дурнова Т.В., Иванова Т.В., Солодкая Н.А.
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
г. Саратов, Россия

РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На данный момент все более актуальной становится задача развития атомной энергетики в топливно-энергетическом комплексе Российской Федерации. Разработка новых энергетических блоков приводит к развитию теплофикационного оборудования. В статье приведен анализ новых блоков атомных станций разных типов, а также сравнительная характеристика теплообменного оборудования.

Атомная энергетика на современном этапе развития представляет собой сложный технологический комплекс. Как отмечается в стратегических документах, долгосрочное развитие отрасли в России связано с переходом к крупномасштабной ядерной энергетике с замкнутым топливным циклом, ключевым элементом которой должны стать реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Однако эффективность атомных электростанций определяется не только типом реакторной установки, но и совершенством оборудования второго контура, где происходит преобразование тепловой энергии в электрическую и тепловую. В связи с этим актуальной задачей является совершенствование теплофикационного оборудования второго контура. Это направление включает в себя как модернизацию существующих элементов – парогенераторов, сепараторов, пароперегревателей, сетевых подогревателей, так и внедрение принципиально новых решений, например создание новых моделей оборудования [5].

На момент февраля 2026 в РФ функционируют 11 атомных электростанций и 36 энергоблоков [4]. Наиболее новыми в эксплуатации являются реакторы типа БН-800 и ВВЭР-1250ТОИ. На рисунке 1 приведено изменение суммарной годовой выработки АЭС на территории России.

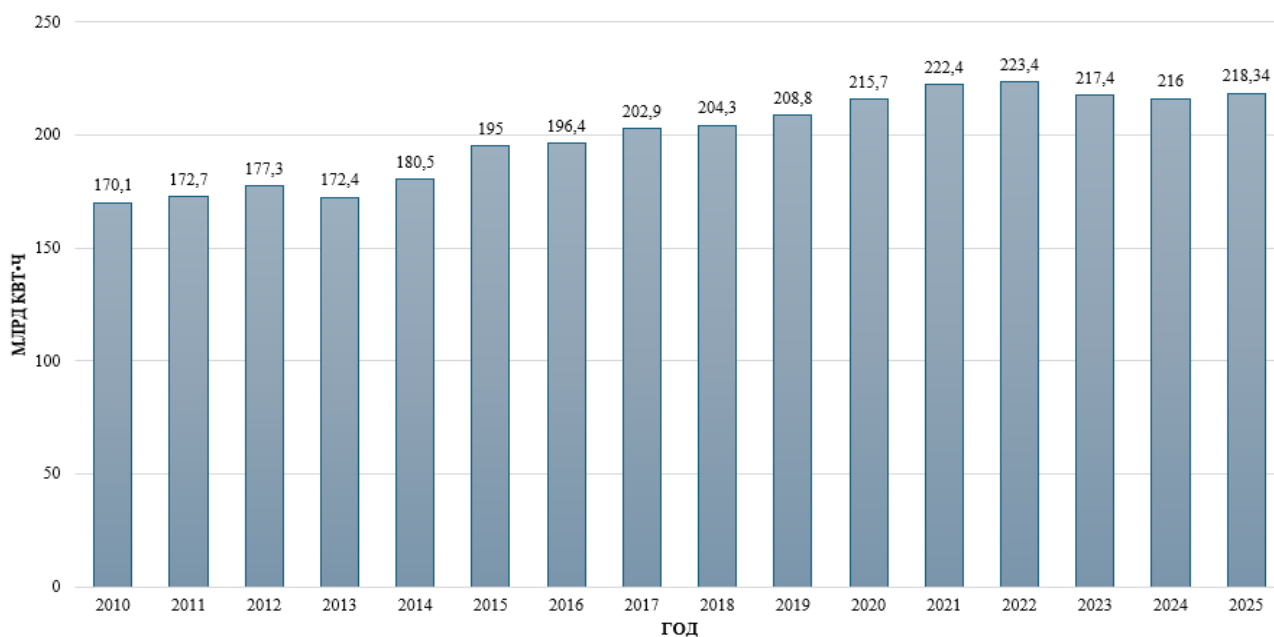


Рис. 1. Годовая выработка АЭС на территории РФ

На основе графика можно сделать вывод что на протяжении 15 последних лет вырабатываемая на АЭС электроэнергия стабильно возрастала.

На данный момент процент выработки АЭС в РФ относительно электростанций других типов составляет 19,4%. Однако согласно стратегическим документам ГК «РОСАТОМ» к 2042 году планируется поднять 20% от общей выработки электроэнергии. Для этого планируется увеличить общее число рабочих энергоблоков с 36 до 74. Общая мощность вырастет с 28,5 ГВт до 47,5 ГВт, тем самым увеличение составит 20 ГВт или же 58,7% от изначальной.

АЭС представляет из себя сложный комплекс взаимосвязанного теплообменного оборудования, такого как: турбогенератор, конденсатор, питательный насос, парогенератор, циркуляционный насос и деаэратор. Именно это оборудование и осуществляет основные теплообменные процессы на всей станции. Примеры технологических схем соединения оборудования представлены на рисунке 2.

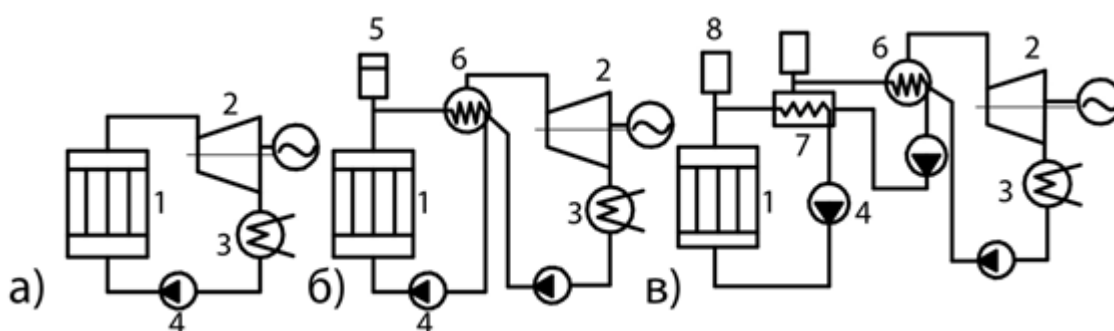


Рис. 2. Технологические схемы АЭС. а-одноконтурная, б-двухконтурная в-трехконтурная, 1 – реактор, 2 – турбогенератор, 3 – конденсатор, 4 – питательный насос, 5 – компенсатор давления, 6 – парогенератор, 7 – промежуточный теплообменник, 8 – газовый объем

Одноконтурными являются атомные станции типа РБМК (реактор большой мощности канальный). Данный тип реакторов эксплуатируется на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС. На сегодняшнее время эксплуатируется 7 энергоблоков мощностью 1000 МВт каждый. На данный момент строительство новых блоков РБМК не планируется, а только происходит продление эксплуатации.

Основным источником тепла на АЭС является реактор. Для ВВЭР это реакторные установки В-392, В-392М, В-591, которые соответствуют энергоблокам ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 и ВВЭР-1250ТОИ соответственно. АЭС с данными типами реакторов являются двухконтурными, то есть имеется два циркуляционных контура – один с водой под давлением, другой с паром. Так же имеется проект по строительству энергоблока БРЕСТ-ОД-300 (быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем опытно-демонстрационный). Он так же является двух контурным, однако его принципиальное отличие от реакторов типа ВВЭР заключается в том, что теплоносителем первого контура является не вода, а жидкий свинец. Он обладает лучшими теплофизическими свойствами, а так же имеет более высокую температуру кипения порядка 1700 °С, что делает его сравнительно безопаснее, чем его предшественники. На данный момент идет его строительство на площадке в г. Северск [6]. На энергоблоках с быстрыми нейтронами БН появляется третий контур. На рисунке 3

отмечено оборудование промежуточного контура. В первом контуре первом и втором контурах циркулирует жидкий натрий, в третьем контуре – пар под давлением. Первый и второй контуры соединены с помощью промежуточных теплообменников. Теплообмен с циркуляционной водой происходит в парогенераторе [1].

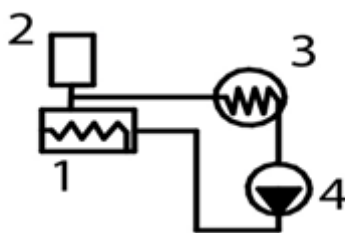


Рис. 3. Схема промежуточного контура БН. 1 – промежуточный теплообменник, 2 – газовый объем, 3 – парогенератор, 4 – циркуляционный насос

Давление в обоих натриевых контурах поддерживается с помощью аналогов компенсаторов давления – газовых объемов. После парогенератора свежий пар проходит турбину, а также промежуточный перегрев. На всех атомных станциях типа ВВЭР и БН используются турбоустановки с маркировкой К(конденсационные). Чаще всего ставится турбина мощностью аналогичная мощности реакторной установки, однако на БН-600 стоят 3 турбогенератора типа К-200-130. Делалось это в связи с отсутствием подходящего типа турбины для этого реактора.

На данный момент энергоблоки на быстрых нейтронах эксплуатируется на Белоярской АЭС. На 1,2 и 3 энергоблоках установлены реакторы типа БН-600, а на 4 – БН-800. Реакторы на быстрых нейтронах работают по 3 контурной схеме. В 1 контуре находится расплавленный натрий под давлением, во 2 контуре, который является промежуточным, так же находится натрий. 3 контур – пар под высоким давлением. В таблице 1 приведены параметры на двух типовых блоках на быстрых нейтронах – БН-600 и БН-800 [5].

Таблица 1

Сравнение БН-600 и БН-800

Тип реактора	БН-600	БН-800
Температура натрия на входе в реактор, °С	347	354
Температура натрия на входе теплообменник 1 контура, °С	550	547
Температура натрия на входе в теплообменников 2 контура, °С	518	505
Температура натрия на выходе из ПГ 2 контура, °С	323	309
Температура пара на выходе из ПГ, °С	505	490
Температура питательной воды, °С	241	210
Давление на выходе из ПГ, кг/см ²	140	140

Разница в температурах питательной воды составляет 14,8%, а разница натрия на входе в ПГ 4,5%. Это может свидетельствовать о том, что для более нового реактора необходимо теплообменное оборудование, требующее больше стойкости на температурные перепады.

Реакторы типа ВВЭР, принципиальная схема работы которых указана на рисунке 2б, являются наиболее распространенным решением на территории РФ – эксплуатируется 23 энергоблока. В России функционирует 4 разных типа реакторов: ВВЭР-440, ВВЭР-1000,

ВВЭР-1200 и ВВЭР-1250ТОИ. Однако ВВЭР-1250ТОИ, построенный на Курской АЭС-2 введен в опытно-промышленную эксплуатацию, то есть всего на 40 процентов от максимальной мощности, в дальнейшем планируется ее постепенное повышение до 100 процентов. Сам проект ВВЭР-1250ТОИ выполнен на основе проекта АЭС-2006 основой которого является энергоблок ВВЭР-1200. Реакторная установка выполнена маркировкой В-592. В таблице 2 приведены сравнительные данные параметров на действующих энергоблоках типа ВВЭР на данный момент [3].

Таблица 2

Сравнение ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 и ВВЭР-1250ТОИ

Тип реактора	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	ВВЭР-1200	ВВЭР-ТОИ
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	325	322	328,6	329,1
Температура теплоносителя 1-го контура на выходе из ПГ, °С	268	291	298,2	298,2
Давление пара в ПГ, Мпа	7,0	6,27	7,0	7,0
Давление 1-го контура, МПа	17,64	15,7	17,64	17,64

Сравнивая самую мощную и маломощную установки, становится видна разница в температурах. На выходе из парогенератора вода первого контура нагревается больше на 11,3%. Температура после выхода из реактора различается на 1%.

Как видно из приведенных в таблице данных, с появлением новых типов реакторов появляется необходимость в улучшении такого теплообменного оборудования, как парогенератор. На ПГВ-1000, который устанавливается на блоки типа ВВЭР-1000, появились модификации, например ПГВ-1000МКП и ПГВ-1000МКО, которые установлены на ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ соответственно [2]. Если рассматривать переход от реакторов на тепловых нейтронах (ВВЭР) к реакторам на быстрых (БН), то разница температур и давлений становится еще больше. Если сравнить БН-800 и ВВЭР-ТОИ, на данный момент 2 самых новых типа реакторов уже введенных в эксплуатацию, то можно заметить сильное изменение температуры промежуточного натриевого контура и водяного контура. Увеличение температуры первичного теплоносителя составляет 248,8°С или же 183,4%. Именно поэтому остро стоит проблема оптимизации и улучшении теплообменного оборудования на АЭС.

Таким образом, развитие атомной промышленности РФ, характеризующееся вводом в эксплуатацию энергоблоков нового поколения (БН-800, ВВЭР-1200, ВВЭР-ТОИ) и ростом выработки электроэнергии, неразрывно связано с усложнением условий работы теплообменного оборудования. Сравнительный анализ параметров реакторных установок (табл. 1 и 2) выявляет устойчивую тенденцию к увеличению тепловых нагрузок на оборудование: наблюдается повышение температур теплоносителя на выходе из реактора и рост давлений в парогенераторах. В связи с этим будет стоять задача по улучшению старого и созданию нового теплообменного оборудования.

Литература

1. Бельтюков А.И., Говоров П.П., Носов Ю.В., Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л. Проблемы повышения надежности парогенераторов БН-600 // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2025. № 3. С.74–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.26583/npe.2025.3.05>
2. Блинков В.Н., Дедов А.В., Елкин И.В., Мелихов В.И., Мелихов О.И., Никонов С.М., Никулин А.С. Горизонтальные парогенераторы: совершенствование конструкции и экспериментально-расчетные исследования // Теплоэнергетика. 2025. № 4. С. 3-28.
3. Долганов К.С., Крутиков А.А., Николаева А.В. Расчетное исследование конвективного переноса тепла между активной зоной и парогенератором ВВЭР при тяжелой аварии с потерей теплоотвода ко второму контуру // Известия РАН. Энергетика. 2024. № 4. С. 88-109.
4. Камолов С.Г., Тайсаева В.К. Особенности жизненного цикла атомных электростанций в атомной промышленности Российской Федерации в начале XXI века // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15, № 5. С. 3285-3298. <https://doi.org/10.18334/epp.15.5.123096>
5. Подшибякин А.К., Сорокин С.Р., Титова С.О. АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» 75 лет. Подольск: ПФОП, 2021. 308 с.
6. Рыкованов Г.Н. Научные и технологические вопросы атомной энергетики // Вестник Российской академии наук. 2025. № 4. С. 13-21. <https://doi.org/10.7868/S3034520025040033>

© Нагаев С.А., Дурнова Т.В., Иванова Т.В., Солодкая Н.А., 2026

Нуриманов Д.С., Плеханов Д.В., Радионова И.А., Мезенцева А.В.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С УЧЕТОМ АРВ

При исследовании переходных процессов электромеханических систем наибольшая устойчивость работы синхронной машины достигается за счет применения средств автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Для того, чтобы оценить целесообразность применения средств регулирования магнитного возбуждения синхронного генератора (СГ), необходимо проанализировать как тот или иной вид автоматического регулирования влияет на его устойчивость. В синхронных генераторах различают два вида устойчивости – статическую и динамическую [5, с. 2164]. Статическая устойчивость характеризуется тем, что при незначительных колебаниях, возникающих в электромеханической системе (ЭМС), она способна возвращаться в свое исходное состояние с теми же самыми режимными параметрами. При этом вид АРВ может оказывать разное влияние на представление синхронной машины (СМ) в расчетах. Так, например, «в расчетах статической устойчивости генератор представляется такими ЭДС или напряжениями, которые АРВ генератора способны поддержать неизменными при изменении режима, и сопротивлениями, которые им соответствуют» [3, с. 117].

Рассмотрим основные виды автоматического регулирования возбуждения СМ с АРВ пропорционального и сильного действия и регулирование без возбуждения, когда АРВ отсутствует. В последнем случае регулирование производится вручную, посредством изменения тока возбуждения генератора, который в схеме замещения можно представить в виде поперечной составляющей ЭДС E_q генератора и соответствующего сопротивления x_d .

Угловая характеристика мощности генератора без АРВ определяется в соответствии с выражением [2, с. 344]:

$$P = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

где δ – угол между векторами ЭДС E_q и напряжения электрической системы U_c ;

$X_{d\Sigma} = x_d + x_c$ – общее сопротивление генератора и системы.

ЭДС генератора определяется по формуле:

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2}, \quad (2)$$

где P_0 и Q_0 – активная и реактивная мощность установившегося режима;

$X_{d\Sigma} = x_d + x_c$ – общее сопротивление генератора и системы.

Установившийся режим возникает при условии, когда $P = P_m = P_0$, т.е. при равенстве мощностей генератора и турбины, приводящей его во вращение. Данный режим определяется некоторым углом δ_0 , который равен:

$$\delta_0 = \arctg \frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 X_{d\Sigma}}. \quad (3)$$

При достижении значения угла $\delta_0=90^\circ$ наступает предельное значение мощности, при котором она достигает своего максимального значения:

$$P_{max} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} . \quad (4)$$

В случае, если в электромеханической системе есть АРВ пропорционального действия, то ток возбуждения изменяется автоматически при любых отклонениях режимных параметров системы и генератора, что дает возможность поддерживать ЭДС генератора на постоянном уровне. Мощность генератора в этом случае определяется как:

$$P_{E_q'} = \frac{E_q' U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{x_d - x_d'}{X_{d\Sigma} \cdot X_{d\Sigma}'} \cdot \sin 2\delta , \quad (5)$$

где E_q' и x_d' – переходные ЭДС (поперечная составляющая) и сопротивление;

$X_{d\Sigma}' = x_d' + x_c$ – суммарное переходное сопротивление.

Значение переходной ЭДС E' и соответствующего этому угла δ_0' определяются по формулам (2) и (3) с учетом того, что $X_{d\Sigma} = X_{d\Sigma}'$,

$$E_q' = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2} , \quad (6)$$

$$\delta_0' = \arctg \frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 X_{d\Sigma}} . \quad (7)$$

при этом поперечная составляющая переходной ЭДС E' рассчитывается следующим образом:

$$E_q' = E' \cos(\delta_0 - \delta_0') . \quad (8)$$

Максимальное значение мощности, которую может выдавать генератор в систему, соответственно равно (4):

$$P_{E_q' max} = \frac{E_q' U_c}{X_{d\Sigma}} . \quad (9)$$

У синхронного генератора с АРВ сильного действия напряжение на его зажимах U_z постоянное, так как при любых изменениях режимных параметров, в том числе скорости и ускорения, ток возбуждения поддерживается на одном и том же уровне. Тогда мощность генератора с учетом (5) и $E_q' = U_{qz}$:

$$P_{E_q'} = \frac{U_{qz} U_c}{x_c} \cdot \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{x_d}{X_{d\Sigma} \cdot x_c} \cdot \sin 2\delta , \quad (10)$$

Напряжение на генераторных зажимах, угол сдвига между напряжениями генератора и системы и значение поперечной составляющей напряжения можно найти из выражений:

$$U_z = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 x_c}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 x_c}{U_c} \right)^2} , \quad (11)$$

$$\delta_{0c} = \arctg \frac{P_0 x_c}{U_c^2 + Q_0 x_c} . \quad (12)$$

$$U_{qz} = U_z \cos(\delta_0 - \delta_{0c}) . \quad (13)$$

Максимальное значение мощности:

$$P_{Eqmax} = \frac{U_z U_c}{x_c} . \quad (14)$$

Для сравнительной оценки статической устойчивости воспользуемся коэффициентом запаса по мощности, выраженным в процентах:

$$K_P = \frac{P_{max} - P_0}{P_0} \cdot 100\% . \quad (15)$$

Расчетный запас устойчивости системы должен быть не менее нормативного значения, в нормальном режиме коэффициент может составлять 20 %, а в аварийном допускается его снижение до 8 %. Следует отметить, что отечественные разработки, как правило направлены на рассмотрение АРВ сильного действия, допускающие больший запас устойчивости за счет каналов стабилизации напряжения [1, с. 58].

Используя вышеприведенную методику расчета, для электрической системы (ЭЭС) с генератором, схема замещения которого представлена на рисунке 1, определим параметры системы без АРВ и с АРВ, построим угловые характеристики мощности, произведем расчет и дадим сравнительный анализ запаса статической устойчивости.

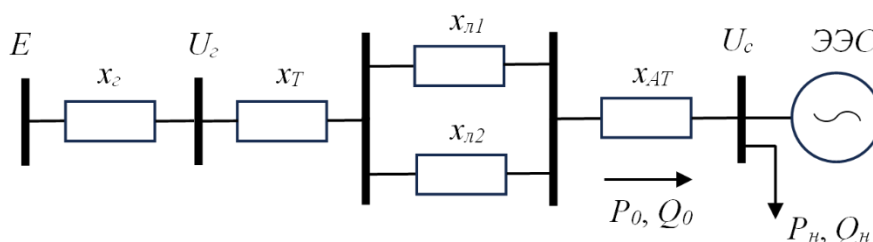


Рис. 1. Схема замещения ЭЭС [составлено автором]

Расчет устойчивости произведем в относительных единицах (о.е.), «за базисные величины примем: базисное напряжение на шинах системы U и мощность P_0 , передаваемую генератором в энергосистему (ЭС) равную мощности нагрузки P_n » [4, с. 91].

Мощности системы и нагрузки и напряжение системы примем (о.е.):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 = P_n = \frac{P_n}{S_0}, \\ Q_0 = Q_n = \frac{Q_n}{S_0}, \\ U_c = \frac{U_c}{S_0} . \end{array} \right. \quad (16)$$

Сопротивления системы приводятся к одной базисной ступени напряжения через коэффициенты трансформации. Из схемы замещения рисунке 1 в нормальном режиме работы (НР) и в послеаварийном (ПАР), когда одна из линий электропередачи отключена, сопротивления системы равны (о.е.):

$$x_{cHP} = x_T + \frac{x_{n1} x_{n2}}{x_{n1} + x_{n2}} + x_{AT} , \quad (17)$$

$$x_{cПАР} = x_T + x_{n1} + x_{AT} . \quad (18)$$

Определив сопротивления генератора станции, а также трансформатора, автотрансформатора и линий электропередачи, по выражениям (4), (9), (14) построим угловые характеристики (рис. 2) и рассчитаем запас устойчивости.

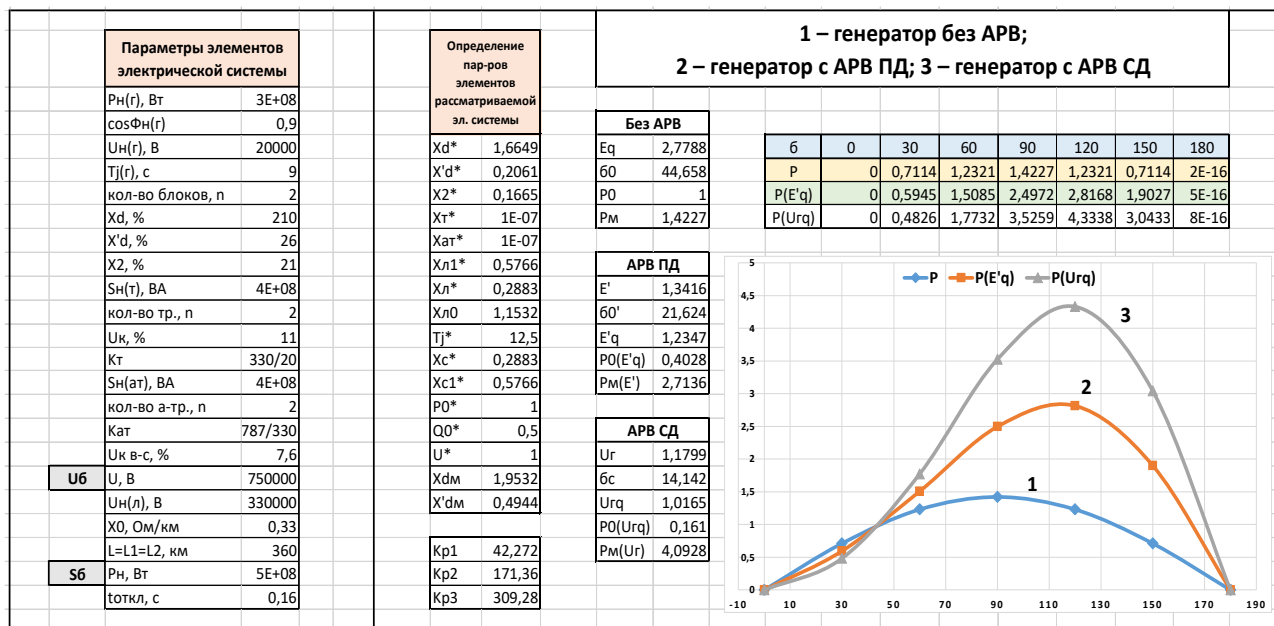


Рис. 2. Угловые характеристики СГ с АРВ и без АРВ [составлено автором]

Как видно из рисунка 2 максимальная мощность, которую может выдавать генератор с АРВ в систему наступает при углах превышающих 90° , что связано с особенностями регулирования возбуждения, так как для поддержания постоянства напряжения на зажимах генератора при изменении режима его работы ЭДС изменяется и угол сдвига возрастает.

В ходе анализа статической устойчивости электромеханических систем и влияния на нее автоматического регулирования тока возбуждения установлено, что коэффициент запаса устойчивости системы тем больше, чем больше воздействие АРВ, получены условия и соотношение величин при разных типах возбуждения, которое соответствует нормативным значениям.

Литература

1. Аскарлов А.Б., Андреев М.В., Чикишев2 Е.М., Суворов А.А. Рудник В.Е. Современные направления развития систем автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов электростанций // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2021. № 39. С. 54-79.
2. Димитрюк К.А. Влияние АРВ на статическую устойчивость // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 7(64) С. 343-350.
3. Долгов А.П. Переходные режимы и устойчивость электроэнергетических систем. Новосибирск: НГТУ, 2022. 258 с.
4. Хрущев Ю.В., Заповодников К.И., Юшков А.Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2024. 153 с.

5. Юсиров М.И. Виды устойчивости энергосистемы и методы их повышения // Вестник науки. 2025. Т. 4, № 5 (86). С. 2163-2168.

© Нуриманов Д.С., Плеханов Д.В., Радионова И.А., Мезенцева А.В., 2026

Орлов С.А., Никифоров Д.К.

Калужский филиал Московского государственного
технического университета им. Н.Э. Баумана
г. Калуга, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI CHANNEL STATE INFORMATION В ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

В современном производстве ясно, что предотвратить поломку дешевле, чем устранять её последствия, а поэтому системы непрерывного мониторинга оборудования стали неотъемлемой частью промышленной инфраструктуры, где ключевую роль играют датчики, которые в реальном времени отслеживают состояние механизмов. Вместе с тем традиционные решения имеют практические недостатки. Например, они требуют прямого крепления на оборудование, прокладки кабельных трасс и прочее, это способно ограничить их применимость. Исходя из вышесказанного, возможности технологии Wi-Fi Sensing, основанной на анализе Channel State Information (CSI), а именно микроконтроллер, размещённый около агрегата, способен стать эффективной альтернативой традиционным методам наблюдения и детекции различных технических явлений.

В настоящее время чаще всего используют проверенные временем датчики, которые в своем большинстве имеют непосредственный контакт с подконтрольным механизмом. Ведь благодаря хорошему контакту можно получить наиболее точные данные для качественного определения дефекта. Например, это позволяет обеспечить передачу высокочастотных колебаний (до 10–20 кГц) без искажений, что требует дополнительных элементов конструкции [1].

У традиционных контактных датчиков есть существенный недостаток: инфраструктура. Большое количество проводов, сам по себе непосредственный контакт с рабочей поверхностью, а также сложность из-за вращения или же нарушение герметичности (для резервуаров с давлением, например) – все это создает большое количество проблем!

Перспективным и дешевым решением является Wi-Fi Sensing на базе анализа CSI (Channel State Information). В отличие от традиционного подхода, где датчик «слушает» вибрацию корпуса, Wi-Fi CSI «видит» изменения в радиоэфире. Любое движение (биение вала, вибрация кожуха/корпуса или изменение плотности жидкости в трубе) модулирует сигнал Wi-Fi, меняя его амплитуду и фазу. Это позволяет реализовать прототип полностью бесконтактного наблюдения: дешевый микроконтроллер ESP32, расположенный рядом со станком, способен выступать в роли тахометра, виброметра и анализатора веществ одновременно, не требуя ни единого провода к самому оборудованию.

Чтобы понять принцип работы CSI, нужно изучить физику волн. Обычный уровень сигнала это слишком грубая структура. Основная особенность выявляется, когда мы смотрим в PHY-слой (физический уровень) протоколов 802.11n/ac/ax.

Современный Wi-Fi использует технологию OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), разделяя канал на десятки узких поднесущих частот). Channel State Information (CSI) можно сравнить с подробный отчетом о том, как каждая из этих поднесущих исказилась по пути от передатчика к приемнику.

Математически, комплексная матрица для поднесущей частоты k описывается:

$$H_k = \sum_{p=1}^P \alpha_p e^{-j2\pi k \Delta f \tau_p + j\phi_p} \quad (1)$$

P – число многолучевых путей, α_p – амплитуда отраженного сигнала, τ_p – задержка распространения, ϕ_p – начальная фаза, Δf – интервал субнесущих (312,5 кГц для технологии 802.11n) [3-5].

В сущности анализа лежит как раз изменение фазы, а с ней и соответственно и приходящие на приемник данные. В теории при почти неизменной амплитуде, можно заметить значительный фазовый сдвиг и получить достаточную информацию.

Важным условием существования данного метода детекции является чистота сигнала. Если сигнал(фаза) приходит с большим количеством шума, то анализ либо невозможен, либо для его анализа необходимо применять технологии. В настоящее время применяют различные методы фильтрации шума, в том числе машинное обучение или искусственный интеллект, которые обладает огромными перспективами для активного внедрения технологии CSI в технические приложения [4].

1. Датчики вращения (тахометры): Оптические, лазерные или магнитные энкодеры, требующие либо врезки в вал, либо нанесения светоотражающих меток для измерения RPM.

2. Датчики вибрации (акселерометры): Пьезоэлектрические сенсоры, которые крепятся к корпусу мотора для отслеживания дефектов подшипников и дисбаланса вала.

3. Датчики уровня и состава жидкостей: Емкостные, ультразвуковые или поплавковые системы для контроля гидравлики и смазочных материалов.

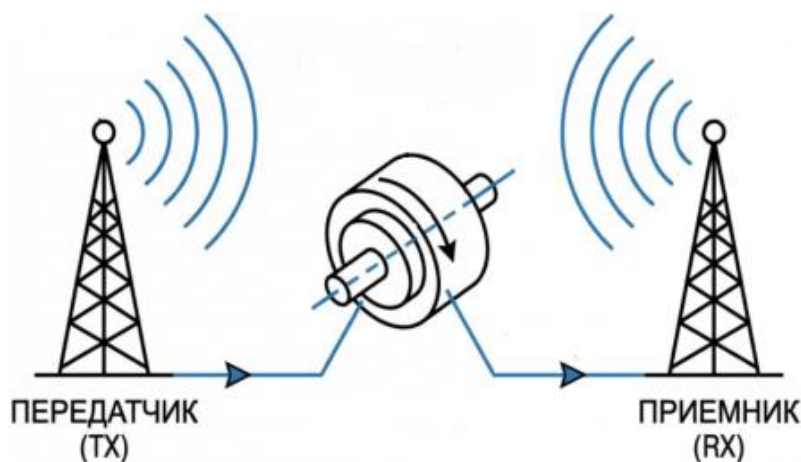


Рис. 1. Схема Wi-Fi CSI мониторинга

Датчик, основанный на технологии анализа изменения значений поднесущей CSI, способен заменить:

1. Мониторинг вращения (беспроводной тахометр)

Традиционные методы мониторинга скорости вращения механических элементов (оптические энкодеры, датчики Холла, лазерные системы) требуют установки специального оборудования на сам вращающийся объект. Благодаря технологии Wi-Fi CSI можно измерять

скорость вращения, однако стандартные методы на базе линейного эффекта Доплера не способны детектировать самовращающиеся объекты с равномерной круговой поверхностью (без лопастей), так как такие объекты не создают радиального движения относительно приемника. Инновационным решением проблемы стало применение вихревых электромагнитных волн, несущих орбитальный угловой момент, которые взаимодействуют с вращающейся поверхностью и вызывают ротационный сдвиг частоты (Rotational Doppler Shift, RDS), пропорциональный угловой скорости объекта [2].

Существует система на базе Wi-Fi устройств с модифицированной антенной q-shaped patch, генерирующей вихревые ЭМ волны с топологическим зарядом $l = -1$. При отражении таких волн от вращающегося объекта возникает частотный сдвиг, описываемый формулой:

$$\Delta f = \frac{l \cdot \Omega}{2\pi} \quad (1)$$

где Ω – угловая скорость вращения.

Для устранения влияния от микро-доплеровского эффекта, вызванного вибрациями, авторы применили конфигурацию MIMO (multiple input and multiple output) 2×3: обычная антенна передавала плоские волны (для регистрации только микро-Доплеровского сдвига), а антенна OAM (Orbital Angular Momentum) вихревые волны (для регистрации суммарного сдвига). Деление сигналов в временной области позволило изолировать чистый ротационный сдвиг частоты. Эксперименты подтвердили работоспособность метода в диапазоне скоростей до 7000 об/мин с относительной погрешностью менее 5% для объектов различной формы (вентиляторы с лопастями, гончарный круг диаметром 10 см, шлифовальный круг диаметром 15 см), материалов и в условиях как прямой видимости (LOS), так и при наличии препятствий (NLOS) [2].

2. Беспроводной датчик вибрации для промышленной диагностики

Вибрационный мониторинг является важным методом диагностики состояния промышленного оборудования, позволяющим выявлять дисбаланс, износ подшипников, несоосность валов и другие дефекты на ранних стадиях. Традиционные контактные акселерометры требуют установки непосредственно на оборудование, что ограничивает их применение в труднодоступных местах или при высоких температурах. Технология Wi-Fi CSI обеспечивает бесконтактный мониторинг вибраций за счёт анализа изменений амплитуды и фазы сигнала, вызванных микродвижениями оборудования, расположенными на пути распространения радиоволн. Современные системы используют методы машинного обучения для классификации рабочих состояний оборудования и выявления аномалий на основе извлеченных признаков из сигнала CSI.

Были проведены исследования на базе адаптеров Atheros AR5B22, которые собирали данные CSI в диапазоне частот вибрации 0–20 Гц с использованием механического вибрационного возбудителя [4]. После предварительной обработки (фильтрация Хэмпела и скользящего среднего) и отбора признаков методом RFECV (Recursive Feature Elimination with Cross-Validation) модель CatBoost достигла точности 95,52% при идентификации частоты вибрации, а модель Random Forest – 98,77% при детекции неисправностей (классификация «норма» при 5–15 Гц против «аномалии» при 0–4 Гц и 16–20 Гц) [4].

Для получения качественного результата, аналогичного модели Random Fores, заранее потребовалось подготовить сигнал. Так например из очищенного сигнала CSI извлекаются статистические признаки во временной и частотной областях: среднее квадратичное отклонение (RMS), эксцесс, асимметрия, спектральная энтропия и пиковая частота спектрального разложения (FFT Peak). Именно этот вектор признаков подается на вход классификатора RFECV.

Похожие исследования в соседних отраслях продемонстрировали возможность различения трёх состояний фрезерного станка с ЧПУ (остановленное состояние, холостой ход при 6000 об/мин, режим резания пластика) с точностью 84-86% с использованием градиентного бустинга и LSTM [5]. Система также различала обрабатываемые материалы (пластик, алюминий, латунь) с точностью около 87%. Важным наблюдением стало влияние окружающей среды: даже при неизменных условиях эксперимента (остановленное оборудование) наблюдались значительные вариации данных, что указывает на необходимость учёта параметров помещения (температура, влажность, расположение персонала) при построении диагностических моделей [5].

3. Применение в гидравлических системах и мониторинге жидкостей

Мониторинг уровня и свойств жидкостей в резервуарах представляет собой важную задачу для промышленных гидравлических систем. Традиционные методы (ёмкостные, ультразвуковые, оптические датчики) часто требуют погружения сенсора в жидкость, прямой видимости или установки специализированного оборудования на дно резервуара. Технология Wi-Fi CSI позволяет реализовать бесконтактный мониторинг за счёт анализа изменений фазы сигнала, вызванных микровибрациями контейнера, возбуждаемыми внешним трансдюсером. Ключевым физическим принципом является зависимость резонансной частоты контейнера, заполненного жидкостью, от массы содержимого: чем выше уровень жидкости, тем ниже резонансная частота. Измеряя эту частоту через анализ фазово-частотных характеристик сигнала Wi-Fi, можно точно определить уровень жидкости без прямого контакта с измеряемой средой.

Система LiquidSense использует низкочастотный трансдюсер стоимостью несколько долларов, прикреплённый к внешней поверхности контейнера, для генерации чирп-сигнала (линейно-частотно-модулированного сигнала с двунаправленным сканированием в диапазоне 0–1000 Гц) [3]. Этот сигнал вызывает микровибрации контейнера (амплитудой 2–3 мм) на его резонансных частотах, что вносит тонкие изменения в фазу сигнала Wi-Fi на частоте 5 ГГц. Для повышения точности авторы применили комплексную обработку: калибровку CSI для устранения фазовых смещений, высокочастотную фильтрацию (срез на 100 Гц), спектральное вычитание для устранения стационарных помех и анализ главных компонент (PCA) для объединения информации со всех 30 поднесущих стандарта 802.11n. Эксперименты с контейнерами из трёх материалов (металл, стекло, керамика) и шестью типами жидкостей различной плотности (вода, кока-кола, растительное масло, молоко, моющее средство, стиральный порошок) показали точность 97% для непрерывного измерения уровня и F-score 0,968 для дискретной классификации [3]. Система сохраняла точность выше 93,5% даже в

условиях отсутствия прямой видимости (при размещении передатчика и приёмника в разных комнатах с закрытой дверью между ними), а также продемонстрировала устойчивость к изменениям во времени и окружающей среде в течение пяти дней эксплуатации [3].

Технология Wi-Fi CSI демонстрирует высокую эффективность в решении задач промышленной диагностики: достигнута точность измерения скорости вращения до 7000 об/мин с погрешностью $<5\%$ с применением вихревых волн с орбитальным угловым моментом; классификация вибрационных аномалий оборудования до 98,77% точности с использованием таких моделей как CatBoost и Random Forest; определение уровня жидкости в резервуарах порядка 97% точности даже в условиях отсутствия прямой видимости (NLOS). Ключевым преимуществом является полная бесконтактность измерений при малых затратах стоимости реализации, что открывает путь к массовому внедрению систем без сильного изменения существующего оборудования. Ограничением является чувствительность к внешним факторам (температура, перемещение персонала), требующая изучения и улучшения систем.

Литература

1. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. 159 с.
2. Xu L., Zheng X., Liu L. Vortex EM Wave-Based Rotation Speed Monitoring on Commodity WiFi // Chinese Journal of Electronics. 2025. Vol. 34. № 4. P. 1344-1356. <https://doi.org/10.23919/cje.2024.00.146>
3. Ren Y., Tan S., Zhang L., Wang Z., Wang Z., Yang J. Liquid Level Sensing Using Commodity WiFi in a Smart Home Environment // Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies 2020. Vol. 4, № 1. P. 1-30. <https://doi.org/10.1145/3380996>
4. Tias T.A. Wi-Fi CSI-based Vibration Sensing for Industrial Fault Detection // 2024 2nd International Conference on Information and Communication Technology (ICICT) (Honolulu, 15–17 March 2024). IEEE, 2024. С. 115-119.
5. Matsuzaki T., Horiuchi K., Shiratsuchi H. Estimating Operating States of Numerical Control Milling Machines Using Wi-Fi Sensing and Channel State Information // International Journal of Software Innovation. 2024. Vol. 12, № 1. P. 1-14. <https://doi.org/10.4018/IJSI.358456>

© Орлов С.А., Никифоров Д.К., 2026

Рябов А.А., Малышева Н.Н.Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ С УЗЛА УЧЁТА В МНЕМОСХЕМУ SCADA-СИСТЕМЫ

Современная электроэнергетика подвергается активной цифровизации и автоматизации [1, с. 36]. Реализуются и развиваются автоматизированные системы управления, в том числе системы диспетчерского управления и системы коммерческого учёта электроэнергии [2, с. 72]. Однако диспетчерское управление и коммерческий учет осуществляются независимо, что приводит к дублированию программно-аппаратных средств и избыточности каналов связи. В распределительных сетях возникает необходимость и возможность унификации функций АСДУ и АСКУЭ [4, с. 395] в рамках одной Scada-системы [3, с. 219]. Такая интеграция позволяет осуществлять отображение на одной мнемосхеме как информации о состоянии управляемой системы, так и данных с узлов учёта. Это упрощает визуальный анализ режима работы, а также ведёт к экономии вычислительных мощностей серверного оборудования за счёт исключения дублирования программно-аппаратных комплексов.

В качестве системно совместимых средств управления и учёта могут выступить программный комплекс WebscadaMT и счётчик Мир С-03, который обладает гибким набором интерфейсов, позволяющим адаптироваться под текущие технические условия. Передача данных в Scada-систему возможна по следующим каналам [5, с. 15] связи: оптический порт, RS485 с использованием преобразователей интерфейсов, а также через Ethernet. Счётчик МИР С-03 измеряет активную, реактивную и полную мощность, среднеквадратичные значения напряжения и тока, частоту, а также активную и реактивную электроэнергию, и может применяться для коммерческого и технического учёта. Счётчик может работать как автономно, так и в составе автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта энергоресурсов [7, с. 336] или автоматизированной системы диспетчерского управления электроснабжением. Scada-система, в свою очередь, делает возможной визуализацию информации со счётчика не только в виде числовых данных, но и графиков, на которых динамически отображаются изменения параметров.

Программный комплекс WebScadaMT [6, с. 11] имеет иерархическую структуру, в которой на высшем уровне располагается мнемосхема, затем страница «Оборудование», предназначенная для конфигурирования подстанционного оборудования, и модули коммуникации с физическим оборудованием. Физическое оборудование связано обменом информации со Scada-системой и получает из неё команды. Вследствие этого высший уровень системы взаимодействует с физическим оборудованием не напрямую, а опосредованно, через систему тегов, которые обеспечивают связь между смежными уровнями.

Модуль «Счётчики МИР С-03» программного комплекса предназначен для взаимодействия с одноимённой моделью узла учёта электрической энергии и структурно представлен четырьмя основными вкладками:

1. Настройки – вкладка, в которой осуществляется установка параметров связи с устройством: номер СОМ-порта, скорость передачи данных, битность данных, таймауты на чтение и промежутки между запросами (рис. 1).

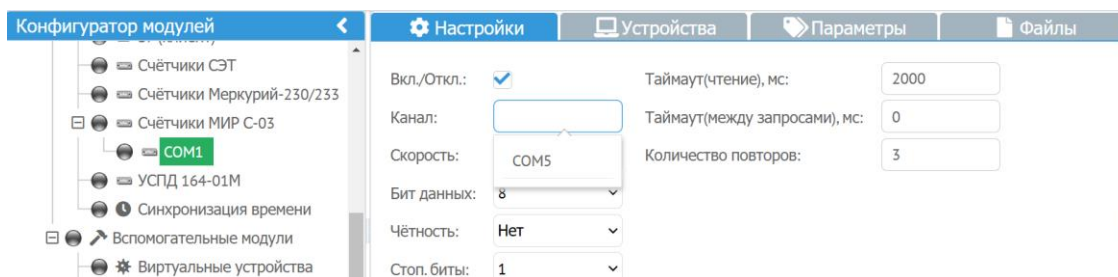


Рис. 1. Вкладка «Настройки»

2. Устройства – в этой вкладке производится добавление узлов учёта электрической энергии в качестве устройств обмена информацией со Scada-системой. В ней производится настройка добавленного счётчика: назначается его индивидуальный адрес, соответствующий его заводскому номеру; количество тарифов; пароль на чтение; устанавливается время и коэффициенты трансформации в зависимости от типа его подключения: напрямую или через измерительные трансформаторы.

3. Во вкладке Параметры отображается диагностическая информация об успешности и статусе подключения узла учёта к Scada-системе.

4. Файлы – вкладка, в которой есть возможность загрузки документа, содержащего конфигурацию счётчика, создаваемую в режиме отладки.

Модуль позволяет добавление любого необходимого количества узлов учёта и структурирование их в группы, отвечающие текущим задачам.

Интеграция отображения данных с узла учёта МИР С-03 в мнемосхему управляемого энергетического объекта в Scada-системе является важной задачей, для решения которой необходимо:

- 1) произвести настройку параметров счётчика для связи со Scada-системой при помощи утилиты «Конфигуратор счётчиков МИР»;
- 2) настроить параметры модуля «Счётчики МИР С-03», приведя в соответствие с необходимыми для подключения настроенного узла учёта;
- 3) внедрить на мнемосхему динамическое отображение информации, поступающей с узла учёта.

Для согласования узла учёта МИР С-03 со Scada-системой в утилите «Конфигуратор счётчиков МИР» были произведены настройки его параметров: был задан используемый канал связи, установлен индивидуальный адрес счётчика и выбрана скорость передачи данных (рис. 2).

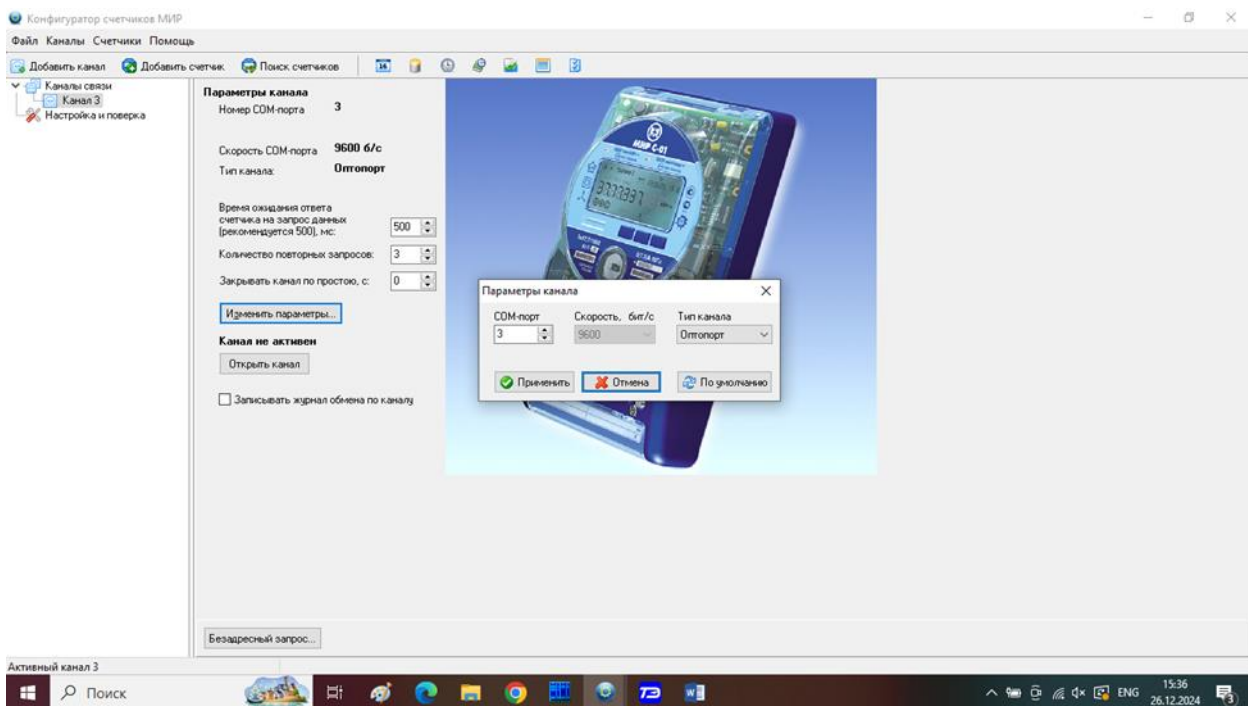


Рис. 2. Конфигуратор счётчиков МИР

В модуле «Счётчики МИР С-03» программного комплекса WebscadaMT был задан канал связи и настроен соответственно параметрам, установленным в утилите «Конфигуратор счётчиков МИР» (рис. 2).

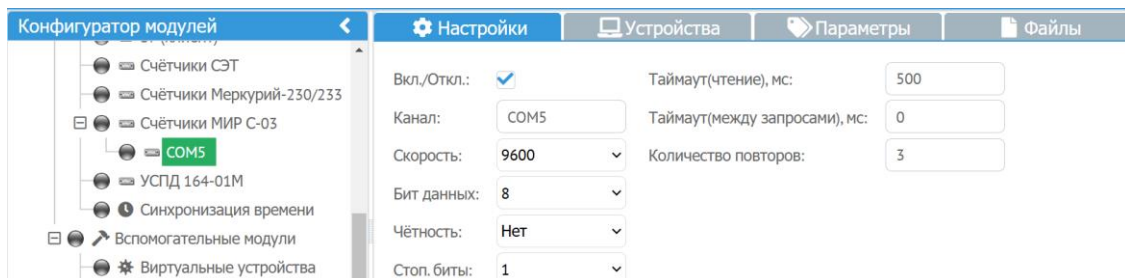


Рис. 3. Настройка модуля «Счётчики МИР С-03»

В настроенный канал модуля было введено новое устройство для обмена данными с подключаемым узлом учёта и являющееся его цифровой копией (рис. 4).

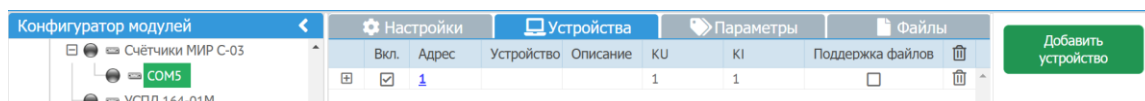


Рис. 4. Добавление устройства

Устройству были присвоены настройки согласно записанным в добавляемом счётчике (рис. 5).

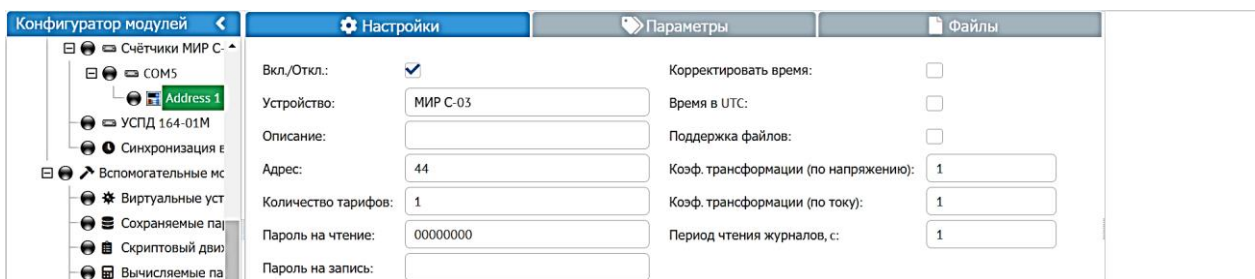


Рис. 5. Настройка устройства

Затем в Scada-системе было настроено оборудование «Счётчик» и ему были назначены теги оперативной информации F (Частота), Ua (Напряжение фазы A), Ub (Напряжение фазы B), Uc (Напряжение фазы C), Aplus (энергия активная прямая (A+)), с помощью которых мнемосхема обращается опосредованно через модуль «Счётчики МИР C-03» к узлу учёта (рис. 6).

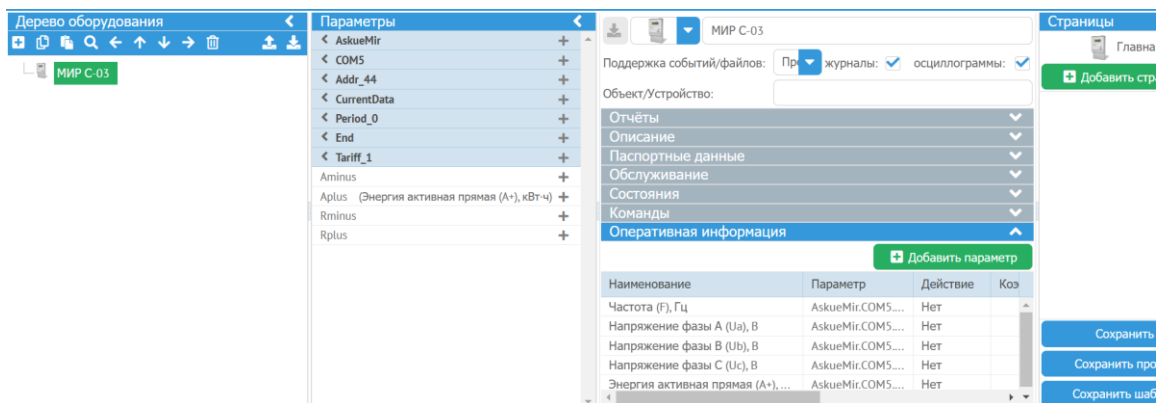


Рис. 6. Настройка оборудования

В редакторе мнемосхем была создана схема, включающая в себя таблицу для вывода числовых значений оперативных параметров и графики для визуального отображения динамического изменения оперативных параметров. Созданным элементам мнемосхемы были определены теги оперативной информации от оборудования «Счётчик» (рис. 7).

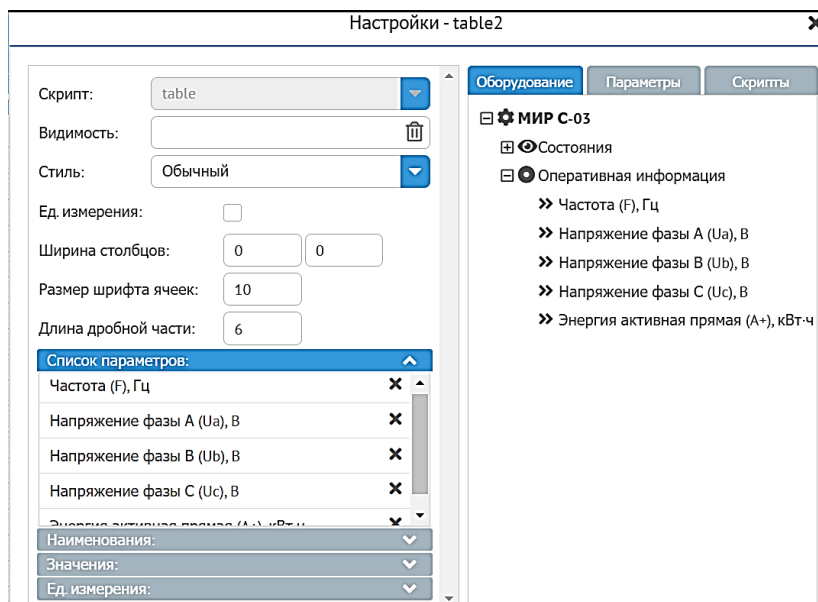


Рис. 7. Настройка элемента мнемосхемы

При запуске мнемосхемы таблица и графики корректно производят визуальный вывод информации с узла учёта, соответствующей текущему моменту времени (Рис. 8).

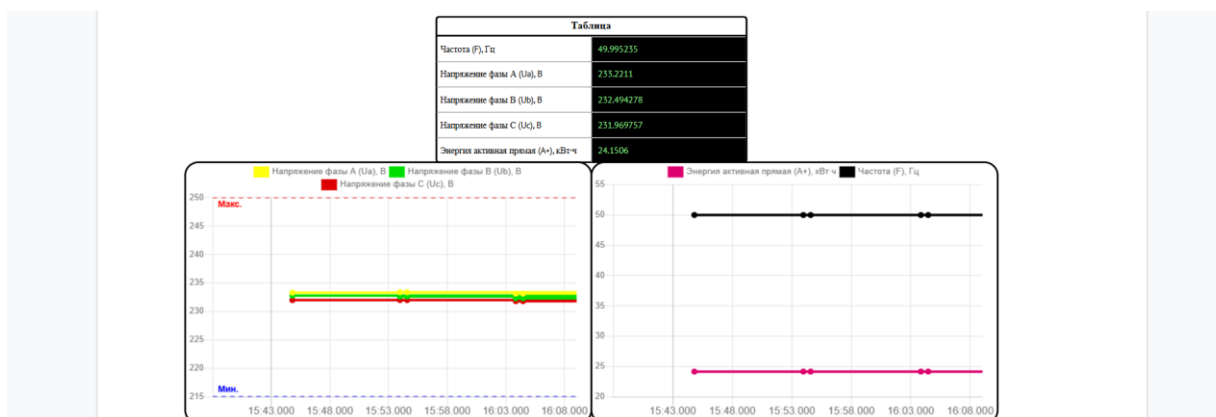


Рис. 8. Визуальный вывод данных с узла учёта

В результате работы было произведено интегрирование отображения данных с узла учёта МИР С-03 на мнемосхему, при помощи которой может осуществляться оперативное управление распределительной сетью энергетической системы.

Литература

1. Гибадуллин Р.Р., Нуриева Л.И. Перспективы использования информационных технологий в электроэнергетике // Тенденции развития науки и образования. 2024. №110-19. С. 35-38.
2. Гиниятов А.Р., Маслов И.Н. Использование современных интеллектуальных счётчиков для мониторинга электрической нагрузки потребителей // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Сборник докладов. Белгород, 2023. С. 72-74.

3. Лисичников Е.М. SCADA системы и их возможное применение в системах электроснабжения // НАУКОСФЕРА. 2022. №1-1. С. 219-226.
4. Оморев Т.Т., Такырбашев Б.К., Асиев А.Т., Иманакунова Ж.С., Закиряев К.Э. Концепция построения автоматизированного экспериментального комплекса на платформе современных АСКУЭ // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2024. № 1 (69). С. 394-401.
5. Программа конфигуратор приборов учёта. Описание применения. М12.00327-02 31 01. ООО «НПО «МИР», 2025. 144 с.
6. Программный комплекс «WebScadaMT»: руководство оператора, версия 4.10. ДИВГ.20804-11 34 01. НТЦ «Механотроника», 2025. 360 с.
7. Усачев А.Е., Муллин Ф.Ф. Цифровая трансформация системы технического учёта электроэнергии // Технологический суверенитет и цифровая трансформация. Материалы международной научно-технической конференции (Казань, 3 апреля 2025 года). Казань, 2025. С. 336-339.

© Рябов А.А., Малышева Н.Н., 2026

Сидоров В.А., Никончук И.Н.
Российский университет транспорта
г. Москва, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

Введение. Первостепенной задачей, поставленной в «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» является строительство и развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного движения. Строительство ВСМ – стратегический вклад в будущее динамично развивающейся страны, вложение в эффективность экономики, формирование инвестиционного и промышленного потенциала России.

Пилотный проект ВСМ–1 Москва – Санкт–Петербург сократит время в пути до 2 часов 15 минут. А после ввода магистрали в коммерческую эксплуатацию планируемый пассажиропоток составит 23 млн. пассажиров в год [4]. В 2025 году в Российской Федерации на высшем уровне государственной власти был дан старт началу строительства первой ВСМ в стране, которая свяжет столицу с Санкт–Петербургом.

Данному событию предшествовали годы научных изысканий и проектных работ по планированию трассы. Это будут первые 679 км из перспективных высокоскоростных магистралей, протяжённость которых в стране к 2045 году должна составить около 5 тыс. км, и свяжет около 55% населения страны [3].

Разработка отечественного двухсистемного ЭВС осуществляется совместными усилиями ОАО «РЖД», инженерингового центра железнодорожного транспорта (ИЦ ЖТ) и машиностроительным холдингом «Синара – Транспортные машины» (СТМ), с организацией производства на заводе «Уральские локомотивы» в г. Верхняя Пышма Свердловской области.

Эксплуатация такого сложного технического объекта как ВСМ требует к себе принятия целого комплекса мер, обеспечивающих безопасную и надёжную работу магистрали в любых погодных условиях с учётом географических особенностей [2]. Составной частью комплексных проектов ВСМ является организация предиктивной диагностики железнодорожной инфраструктуры как единой системы, направленной на повышение эффективности её эксплуатации и безопасности движения.

Предиктивная диагностика, как инструмент будущего.

Предиктивная диагностика – метод, основанный на использовании технологий контроля для прогнозирования возможных неисправностей оборудования задолго до их фактического возникновения. Её ключевой задачей является выявление развивающихся дефектов и отклонений на ранних стадиях их возникновения, когда они ещё не достигли критического уровня. В рассматриваемом варианте она может быть применена как для объектов инфраструктуры ВСМ, так и для оборудования ЭВС [1].

Долгое время постановка на ремонт ЭВС основывалась на планово-предупредительной системе. То есть ЭВС отработывал определённый по пробегу срок, после чего он отставлялся для проведения планового ремонта, по прохождении которого вновь поступал в эксплуатацию.

Ремонт путевой инфраструктуры осуществлялся исходя из величины пропущенного тоннажа по рельсам и результатам обследования состояния пути и рельсовых нитей полученной вагонами-дефектоскопам. Внеплановый ремонт как ЭВС, так и путевой инфраструктуры ВСМ проводился в случае выявления серьезных неисправностей или дефектов, до достижения плановых сроков постановки на ремонт.

Предлагаемый предиктивный подход основан на фактическом состоянии узлов оценивающийся математическими моделями, фиксирующими отклонения параметров работы контролируемого оборудования от установленных для его нормальной работы. Подобная методика позволяет предупредить выход из строя оборудования до наступления его отказа, тем самым предупредив возможные сбои в работе на линии.

Актуальность внедрения систем предиктивной диагностики в существующем ключе становится очевидной задачей, поскольку недостаточная надёжность имеющихся на данный момент систем диагностики со временем может привести к серьёзным последствиям, вплоть до аварийных ситуаций. Подобное состояние дел может ставить под угрозу не только безопасность пассажиров, но и стабильность работы всей высокоскоростной железнодорожной сети.

Принцип действия системы предиктивной диагностики основан на анализе изменения или отклонения контролируемых параметров в процессе работы и сравнении этих показателей с эталонными значениями, которым, к примеру, соответствуют паспортные данные или технические характеристики каждого из контролируемых элементов оборудования ЭВС или инфраструктуры ВСМ.

Имея начальные показания в виде отклонения контролируемых параметров работы от заданных, система предиктивной диагностики прогнозирует временной интервал до наступления критического состояния, когда элемент оборудования или инфраструктуры может выйти из строя.

В этой связи появляется возможность заранее предусмотреть ремонтную позицию для устранения данной неисправности, предотвращая её наступление в пути следования в будущей поездке. Таким образом система не только контролирует отклонение работы оборудования от нормального, а также показывает его динамику – ухудшается ли его состояние или оно стабилизировалось на каком-то определённом уровне.

Опыт эксплуатации высокоскоростных диагностических комплексов.

Запуск 1 марта 1984 года в регулярную эксплуатацию первого отечественного электропоезда ЭР200, курсирующего со скоростью до 200 км/ч, включительно породил проблему создания соответствующих диагностических комплексов, оценивающих состояние пути для безопасного движения с такой скоростью. Имеющиеся путеизмерительные вагоны того времени были рассчитаны на рабочую скорость до 120...140 км/ч, вагон-лаборатория контактной сети (ВИКС), предназначенный для оценки её состояния – 160 км/ч. Поэтому оценить объективность состояния инфраструктуры выше этих скоростей долгое время не представлялось возможным.

Крушение скоростного поезда «Аврора», произошедшее 16 августа 1988 года с жертвами показала, что существующий подход к диагностике требует к себе кардинального изменения. В период подготовки к запуску высокоскоростного поезда «Невский Экспресс» в течении 1998–2000 года 7 электровозов ЧС200 прошли капитально–восстановительный ремонт с продлением срока службы на заводе–изготовителе Шкода в Чехии.

Благодаря чему в регулярную эксплуатацию 11 июня 2001 года был запущен поезд «Невский Экспресс», развивающий в пути скорость до 200 км/ч. Однако для обслуживания одной пары поездов в сутки требовалось всего 3 электровоза – 2 в обороте и 1 подменный на случай ремонта. Поэтому оставшиеся 4 электровоза не использовались по своему прямому назначению. В связи с чем один из них было решено переоборудовать в скоростную путеобследовательскую лабораторию для диагностики инфраструктуры магистрали Москва – Санкт–Петербург со скоростью до 200 км/ч.

Мощности одной секции электровоза ЧС200 в 4,2 МВт было с запасом достаточно для разгона электровоза и поддержания скорости 200 км/ч. В этой связи вторую секцию было решено использовать для установки на неё комплекса диагностического оборудования. Для этих целей с неё демонтировалось всё электрическое оборудование для тяги и на этом месте размещено оборудование фирмы «Инфотранс». Таким образом на базе электровоза ЧС200 была создана самоходная путеизмерительная лаборатория (СПЛ–ЧС200).

Данный комплекс объединил в себе измерительные системы контроля геометрии рельсовой колеи, профиля рельсов, продольного профиля пути, динамических ускорений, видеоконтроля, а также подсистемы координатной привязки и радиоканальной передачи данных. Комплекс обеспечивает получение объективной цифровой картины состояния пути, а передача данных по радиоканалу повышает оперативность принятия решений по текущему содержанию и ремонту.

Специфика тягового электроснабжения строящейся ВСМ–1 Москва – Санкт–Петербург.

Вновь строящиеся ВСМ в России и за рубежом электрифицируются по системе тягового электроснабжения 2х25 кВ переменного тока, частотой 50 Гц [6], в то время как московский и Санкт–петербургский узлы электрифицированы по системе постоянного тока 3 кВ. Поэтому по соображениям электромагнитной совместимости было принято решение вводы ВСМ–1 в Москву и Санкт–Петербург, проходящие в непосредственной близости, параллельно с главным ходом существующей магистрали электрифицировать постоянным током.

Это обстоятельство способствовало необходимости создания будущего ЭВС в двухсистемном исполнении. СПЛ–ЧС200, как соответственно и сам электровоз ЧС200 предназначались исключительно для участков, электрифицированных на постоянном токе. По этой причине она не может быть взята за основу для подобного диагностического комплекса на будущей ВСМ–1, свой установленный срок службы в 50 лет все электровозы ЧС200 практически уже выработали.

В настоящее время компанией «Инфотранс» ведётся разработка бортового и напольного оборудования диагностики ВСМ. Установка бортового диагностического оборудования на

строящийся высокоскоростной электропоезд ЭВС–360 для ВСМ–1 потребует для этого резервирования дополнительного пространства, источников его электропитания, и незначительно, но увеличит массу состава [5]. В этой связи предлагается рассмотрение альтернативных вариантов размещения этого оборудования.

Перспективы использования двухсистемных пассажирских электровозов для нужд ВСМ.

В период 2011–2021 годов была выпущена партия в 80 двухсистемных пассажирских электровозов серии ЭП20. При этом 19 из них были изготовлены в конструктивном исполнении на 200 км/ч (остальные на 160), которые за всё время эксплуатации по своему непосредственному назначению так и не использовались. Некоторое время они эксплуатировались с «Невским Экспрессом» (НЭ), со скоростью до 200 км/ч. Но это линия, полностью электрифицированная на постоянном токе, в связи с чем экономически обоснована в высокоскоростном движении на ней может быть только эксплуатация односистемных электровозов постоянного тока ЧС200.

После замедления НЭ до скорости в 160 км/ч он был переведён на обслуживание односистемными электровозами постоянного тока ЭП2К. Таким образом в настоящее время вся серия электровозов ЭП20 (как с конструкционной скоростью 160, так и 200 км/ч) эксплуатируются с пассажирскими поездами курсирующими с максимальными скоростями 120...140 км/ч. Исключение составляют 3 пары поездов в сутки сообщением Москва – Нижний Новгород «Буревестник», с которыми они развивают скорость до 160 км/ч, для чего соответственно достаточно электровозов в конструктивном исполнении на 160 км/ч.

Таким образом все, рассчитанные на скорость 200 км/ч электровозы ЭП20 по своему прямому назначению не использовались, не используются и перспектив их работы с такими скоростями в обозримом будущем не предвидится. Поэтому предлагается рассмотреть целесообразность их многофункционального применения в первую очередь на ВСМ–1 где они могут стать альтернативной заменой тепловозам ТЭП70БС в том числе при его использовании в качестве резервного локомотива–прикрытия, необходимого при отказе систем электроснабжения для оказания помощи ЭВС–360.

Поэтому в качестве универсальной тяговой единицы для обслуживания ВСМ–1 в качестве локомотива–прикрытия могут быть после проведения незначительной модернизации использованы электровозы ЭП20. Тяговая мощность электровоза ЭП20 составляет 7,2 МВт что более чем достаточно для достижения и поддержания скорости в 200 км/ч даже с использованием меньшего количества тяговых электродвигателей (ТЭД).

Поэтому по аналогии с проектом СПЛ–ЧС200 предлагается демонтировать тяговое электрооборудование 1–го и 6–го ТЭД с электровозов ЭП20, а в высвобождаемом пространстве разместить диагностическое оборудование для предиктивной диагностики инфраструктуры ВСМ, а также накопители энергии для движения электровоза на не электрифицированных путях или оказания помощи ЭВС–360 в случае неисправности системы электроснабжения или повреждения контактной сети.

Создание четырёхвагонных высокоскоростных электропоездов многофункционального назначения.

В отличие от поездов локомотивной тяги, где имеется возможность гибкого изменения численности вагонов в составе в зависимости от пассажиропотока – по одному, ЭВС являются поездами постоянного формирования, не допускающие изменения составности в эксплуатации. Единственной возможной мерой оперативного увеличения числа вагонов в составе является сцепление их по системе многих единиц (СМЕ). То есть это объединение нескольких единиц ЭВС (как правило в основном двух) в единый поезд и управления из одной кабины машиниста.

Такой приём целесообразен для высокоскоростных перевозок в случае, если сдвоенный состав, отправляясь из одного пункта, производит остановку на маршруте и далее расцепившись составы ЭВС следуют в различных направлениях конечных станций своего маршрута. Постоянная эксплуатация ЭВС по СМЕ на одном маршруте следования по экономическим и в вопросах обеспечения функциональной безопасности нецелесообразна и несёт в себе определённые риски.

В дополнении к озвученному не всегда есть необходимость в объединении с существующим, к примеру 8...10-ти вагонным составом аналогичного второго, так как пассажиропоток мог возрасти незначительно, и большая часть из вагонов дополнительного состава попросту будет не востребована, а затраты, к примеру на электроэнергию, расходуемую на тягу такого поезда, возрастут вдвое, увеличится и численность обслуживающего персонала, так как сквозного прохода между составами нет.

Поэтому в качестве альтернативы строящемуся восьмивагонному ЭВС–360 авторы предлагают создание на том же предприятии четырёхвагонного аналога ЭВС–360 с едиными для формирования по СМЕ силовой схемой и органами управления с многофункциональным назначением. Такой состав позволит более гибко реагировать на увеличение пассажиропотока в пиковые периоды перевозок.

После спада пассажиропотока в будние дни четырёхвагонный ЭВС–360 может отдельно использоваться в качестве самоходного диагностического комплекса, к примеру со съёмным диагностическим оборудованием, в качестве перевозки мелких грузовых отправок или для обоих озвученных целей одновременно. Подобная модель перевозок в последние годы набирает к себе всё больший интерес на ВСМ в мире.

Выводы:

1. Создание высокоавтоматизированных систем предиктивной диагностики как инфраструктуры ВСМ, так и ключевых систем, обеспечивающих работоспособность ЭВС позволит обеспечить её функциональную надёжность и осуществить снижение эксплуатационных затрат на диагностику.
2. Использование в проекте ВСМ–1 не востребованных в настоящее время по прямому назначению двухсистемных пассажирских электровагонов серии ЭП20 с конструкционной скоростью 200 км/ч при несущественной модернизации может позволить использовать их в качестве передвижной диагностической единицы и резервного гибридного локомотива для

оказания помощи ЭВС–360 в случае его неисправности или повреждении системы электроснабжения.

3. Создание дополнительных четырёхвагонных составов ЭВС–360 позволит более гибко изменять пассажировместимость поезда в пиковые периоды перевозок. В будние дни эти составы могут использоваться и как отдельные самоходные диагностические комплексы, так и как составы для перевозки мелких почтовых или грузовых отправок.

Литература

1. Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав для ВСМ. Технические требования ОАО «РЖД» от 15.06.2020 № 910 в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 08.09.2020 № 1927/р.
2. История и перспективы развития железнодорожного транспорта в России и за рубежом: сборник. М.: УМЦ ЖДТ, 2025. 646 с.
3. Коновалова Н., Куценина Т., Ретюнин А., Юринов В. От ЭР200 до «Сапсана». СПб.: Издательский дом «ОМ–Экспресс», 2023. 288 с.
4. Мишарин А.С. Основные проектные и конструкторские решения в проекте ВСМ Санкт–Петербург – Москва: учебное пособие. Москва: Принт, 2025. 376 с.
5. Правила технической эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта. Утверждены Приказом Минтранса России от 25.09.2025 № 350.
6. Правила эксплуатации железнодорожной автоматики и телемеханики подсистемы инфраструктуры высокоскоростной железнодорожной магистрали. Утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 07.03.2023 № 371.

© Сидоров В.А., Никончук И.Н., 2026

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ВЗГЛЯД НА БУДУЩЕЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Алиев Р.И. оглы, Волкова И.А.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ НЕФТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ

Введение. Актуальность повышения эффективности извлечения остаточной нефти обусловлена истощением активных запасов и увеличением доли трудноизвлекаемых ресурсов в общей структуре нефтедобычи России. По данным Министерства энергетики РФ, средний коэффициент извлечения нефти в России составляет около 0,3, что значительно ниже аналогичного показателя в развитых нефтедобывающих странах. При существующих технологиях разработки в недрах остается до 70% первоначальных запасов нефти, что определяет необходимость создания и внедрения эффективных методов увеличения нефтеотдачи пластов.

Целью исследования является разработка и оценка эффективности комбинированного метода интенсификации добычи остаточной нефти на месторождениях на поздней стадии эксплуатации. Для достижения поставленной цели в рамках статьи были решены следующие задачи: проведен анализ эффективности существующих методов воздействия на пласт; разработана технология комбинированного воздействия с использованием современных поверхностно-активных веществ.

Обзор литературы. Проблемам извлечения остаточной нефти посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей. Фундаментальные основы классификации методов увеличения нефтеотдачи заложены в монографии Сургучева М.Л. [4, с. 45-60], где систематизированы подходы к воздействию на пласт в различных геологических условиях. Практические аспекты применения физико-химических методов на месторождениях Западной Сибири подробно рассмотрены в работе Шустера М.Ю. с соавторами [5, с. 67-75], где показана эффективность использования композиций ПАВ в условиях высокой обводненности продукции.

Развитие комбинированных подходов представлено в исследовании Ахметзянова А.В. и Самохина А.В. [2, с. 39-52], которые обосновали перспективность сочетания волновых и физико-химических методов для разработки аномальных запасов. Важный вклад в оптимизацию реагентных составов внесла работа Жингеля П.А. [3, с. 50-67], где представлены результаты разработки отечественных композиций ПАВ для условий Западной Сибири. Влияние волновых процессов на фильтрационные характеристики пласта исследовано Абрамовым В.О. с соавторами [5, с. 124-130].

Зарубежные исследователи также активно занимаются данной проблематикой. Современные тенденции связаны с созданием «умных» ПАВ нового поколения: Hussein A.A. с соавторами [7, с. 22-42] представили результаты применения дендримерных поверхностно-

активных веществ, обеспечивающих низкое межфазное натяжение в условиях высокой минерализации и температуры. Перспективное направление микроэмульсионного заводнения разрабатывается Chen W. с соавторами [6, с. 26-59], которые показали возможность формирования микроэмульсий непосредственно в пласте для увеличения нефтеотдачи после полимерного воздействия. Комплексный обзор современных методов, включая полимер-наножидкости, представлен в работе Salem K.G. с соавторами [8, с. 42-72], что позволяет оценить мировой опыт применения комбинированных технологий.

Методы и методология исследования. Информационно-эмпирической базой исследования послужили данные промысловых испытаний на четырех месторождениях Западной Сибири, находящихся на поздней стадии разработки, с остаточными запасами нефти более 60% от начальных извлекаемых. В работе были использованы методы математического моделирования фильтрационных процессов в неоднородных пластах, статистического анализа результатов полевых экспериментов, а также лабораторные исследования взаимодействия предлагаемых композиций поверхностно-активных веществ с породой и пластовыми флюидами.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии представлений о механизмах комплексного воздействия на остаточную нефть в низкопроницаемых зонах пласта. Практическая значимость состоит в разработке технологии, позволяющей увеличить коэффициент извлечения нефти на месторождениях поздней стадии разработки при относительно невысоких затратах.

Научные результаты и их обсуждение. На основе проведенных исследований была разработана комбинированная технология воздействия на остаточную нефть, включающая поэтапное применение физико-химических и гидродинамических методов. На первом этапе осуществляется закачка в пласт специально разработанной композиции поверхностно-активных веществ, снижающих межфазное натяжение на границе нефть-вода до значений 0,01–0,05 мН/м, что существенно ниже, чем при использовании традиционных ПАВ (0,5–1,0 мН/м).

Результаты лабораторных исследований показали, что предложенная композиция обеспечивает снижение остаточной нефтенасыщенности на 15–20% при моделировании пластовых условий. Важным свойством разработанных составов является их устойчивость к высоким температурам (до 90°C) и минерализации пластовых вод (до 200 г/л), что позволяет использовать их в широком диапазоне геолого-физических условий.

На втором этапе применяется циклическое изменение режимов нагнетания воды, что создает нестационарные перепады давления в пласте и способствует вовлечению в разработку застойных зон. Экспериментально установлено, что оптимальная продолжительность циклов составляет 15–20 дней, а перепад давлений между циклами должен достигать 30–40% от начального пластового давления.

Полевые испытания предложенной технологии проводились на участке месторождения Самотлор, характеризующемся высокой обводненностью продукции (94–96%) и низкими дебитами нефти. Опытный участок включал 5 добывающих и 3 нагнетательные скважины.

После проведения комплекса работ по предложенной технологии были получены следующие результаты, представленные в таблице.

Таблица

**Результаты применения комбинированной технологии воздействия на пласт
[составлено автором]**

Параметр	До применения технологии	После применения технологии	Изменение, %
Средний дебит нефти, т/сут	1,2	3,8	+217
Обводненность продукции, %	95,3	87,6	-8,1
Коэффициент продуктивности, м ³ /(сут·МПа)	2,4	3,9	+62,5
Дополнительная добыча нефти, т	—	4820	—

Как видно из представленных данных, применение комбинированной технологии позволило существенно увеличить продуктивность скважин и снизить обводненность продукции. Экономический анализ показал, что затраты на реализацию технологии окупаются в течение 8-10 месяцев при существующих ценах на нефть.

Важным фактором является длительность эффекта от применения технологии. Наблюдения за работой скважин опытного участка показали, что положительный эффект сохраняется в течение 12–14 месяцев, после чего требуется повторная обработка. График изменения дебита нефти и обводненности продукции по одной из скважин опытного участка представлен на рисунке.

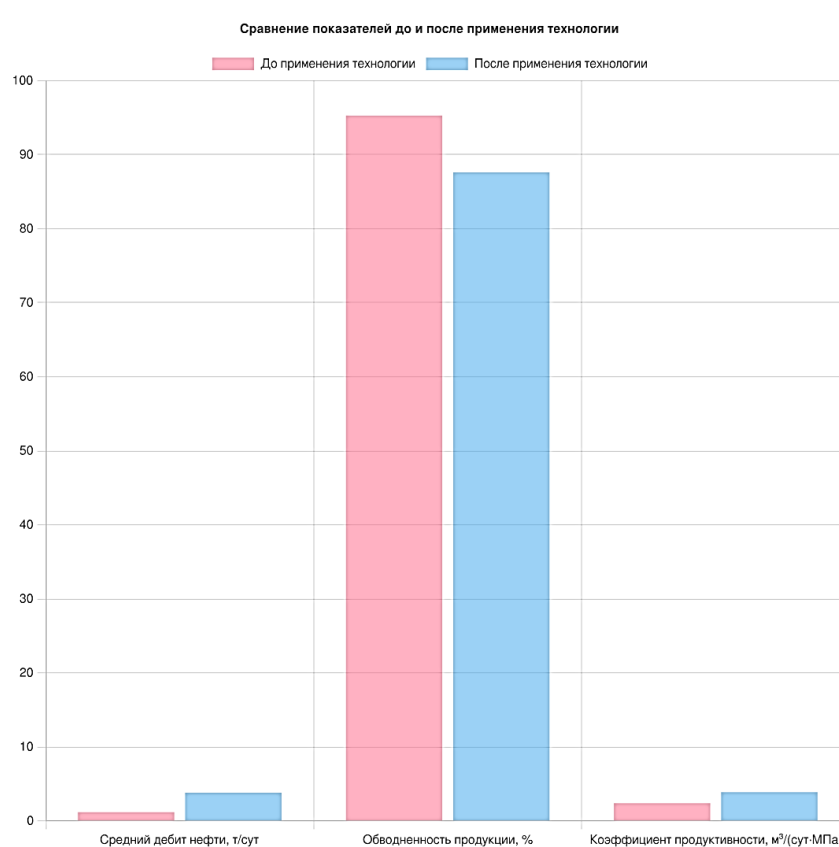


Рис. График изменения дебита нефти и обводненности продукции по одной из скважин опытного участка [составлено автором]

Следует отметить, что эффективность предложенной технологии существенно зависит от геолого-физических характеристик пласта. Наибольший эффект наблюдается в неоднородных коллекторах с высокой расчлененностью разреза и значительной вариацией проницаемости по толщине пласта. В таких условиях дополнительная добыча нефти может достигать 3500–4000 тонн на одну скважинообработку при средних затратах на реализацию технологии около 1,2–1,5 млн рублей.

Важным преимуществом предложенной технологии является ее экологическая безопасность. Используемые реагенты относятся к IV классу опасности (малоопасные вещества) и полностью разлагаются в пластовых условиях в течение 6-8 месяцев.

Предложенная технология была также испытана на трех других месторождениях Западной Сибири с различными геолого-физическими характеристиками. Полученные результаты подтверждают эффективность комбинированного воздействия на пласт и позволяют рекомендовать данную технологию для широкого промышленного применения.

Выводы. Проведенное исследование позволило разработать и экспериментально подтвердить эффективность комбинированной технологии воздействия на пласт для извлечения остаточной нефти. Установлено, что последовательное применение физико-химических и гидродинамических методов позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти на 5–7% по сравнению с традиционным заводнением. Экономическая эффективность предложенной технологии подтверждается быстрой окупаемостью затрат (8-10 месяцев) и значительным приростом добычи нефти.

Выявлены основные ограничения по применению технологии, связанные с геолого-физическими характеристиками пласта и свойствами пластовых флюидов. Определены оптимальные параметры технологического процесса для различных геологических условий.

Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть связаны с совершенствованием состава композиций поверхностно-активных веществ и разработкой методов контроля эффективности их воздействия на пласт. Перспективным направлением также является комбинирование предложенной технологии с методами микробиологического воздействия на пласт, что может повысить эффективность извлечения остаточной нефти из низкопроницаемых коллекторов.

Литература

1. Абрамов В.О., Муллакаев М.С., Баязитов В.М. Физико-химические методы интенсификации добычи нефти // Нефтяное хозяйство. 2019. № 3. С. 124-131.
2. Ахметзянов А.В., Самохин А.В. Волновые и физико-химические методы управления разработкой нефтяных месторождений с аномальными запасами // Автоматика и телемеханика. 2024. № 10. С. 39-52.
3. Жингель П.А. Оптимизация составов комплексных реагентов на основе ПАВ для химических методов увеличения нефтеотдачи пласта: магистерская диссертация. Тюмень: Тюменский государственный университет, 2024. 85 с.

4. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 2018. 308 с.
5. Шустер М.Ю., Гареев А.М., Хайрулина Р.Р. Практические аспекты применения физико-химических методов повышения нефтеотдачи на месторождениях Западной Сибири // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19. № 2. С. 67-75.
6. Chen W., Jiang G., Cao R., et al. Experimental study of in situ-formed middle-phase microemulsion flooding for enhanced oil recovery after polymer flooding // Fuel. 2024. Vol. 368. Article 131915. (in press)
7. Hussein A.A., et al. Enhanced oil recovery from sandstone reservoir using cationic hyperbranched polyamidoamine dendrimer surfactant flooding under real reservoir conditions // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 32509.
8. Salem K.G., Tantawy M.A., Gawish A.A., et al. A comprehensive review of polymeric nanofluid for enhanced oil recovery (EOR) // Fuel. 2024. Vol. 368. Article 131515.

© Алиев Р.И. оглы, Волкова И.А., 2026

Астапович Е.А.

Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Введение. Внедрение принципов экологической устойчивости в логистику нефтяной промышленности – актуальная задача, особенно для регионов с развитой нефтедобычей, таких как Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО – Югра) и Нижневартовск. Это обусловлено масштабным воздействием нефтегазового комплекса на окружающую среду и необходимостью снижения экологических рисков.

Энергетическая стратегия России до 2035 года предусматривает необходимость увеличения ежегодной добычи нефти в рамках консервативного и оптимистического сценариев до уровня 490–550 миллионов тонн, а добычи природного газа – до 821–885 миллиардов кубических метров. Для достижения намеченных показателей добычи важно обеспечить восполнение запасов нефти в объёме более 13–15 миллиардов тонн, а природного газа – 25–27 триллионов кубических метров. При этом, до 2035 года основными регионами, которые будут способствовать приросту запасов нефти и газа, останутся Западно-Сибирская, Лено-Тунгусская, Прикаспийская, Тимано-Печорская и Волго-Уральская нефтегазоносные области (на суше). Также, объёмы бурения на нефть и газ могут достигнуть до 25 миллионов погонных метров глубоких скважин [2, с. 132].

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО-Югра) играет ключевую роль в реализации Энергетической стратегии России до 2035 года. Регион является основным нефтегазоносным центром страны, на его долю приходится около 40% общероссийской добычи нефти и порядка 30% нефтяного потенциала страны (без учёта шельфовых областей Арктики). Для достижения целевых показателей стратегии ХМАО-Югра планирует наращивать добычу, осваивать новые месторождения и внедрять инновационные технологии.

Исходя из выше перечисленных данных, являясь одной из ведущих отраслей не только России, но и непосредственно нашего Ханты-Мансийского округа Югры, нефтяная промышленность способна оказывать значительное влияние на экологическую безопасность [1, с. 138]. Нижневартовск, как центр нефтедобычи, особенно подвержен этим проблемам. Модернизация логистических процессов с учётом экологических принципов может снизить риски аварий, уменьшить загрязнение окружающей среды и улучшить качество жизни населения. Именно поэтому нефтяная индустрия обязана внедрять практики, позволяющие сократить объем производственных отходов.

Таким образом, внедрение принципов экологической устойчивости в логистику нефтяной промышленности актуально для ХМАО – Югры и Нижневартовска как способ снижения экологического ущерба, повышения эффективности отрасли и обеспечения устойчивого развития региона.

Цель исследования: разработать комплекс приоритетных стратегий экологической устойчивости для логистических и производственных процессов нефтяной промышленности

в г. Нижневартовске (ХМАО – Югра), направленный на снижение антропогенной нагрузки на экосистемы региона, минимизацию рисков экологических инцидентов и обеспечение долгосрочного сбалансированного развития нефтегазового сектора с учётом природоохранных требований.

Объектом исследования является стратегии нефтяной промышленности, а **предметом** – принципы и приоритеты устойчивого развития нефтяной промышленности.

Методы исследования:

Теоретический анализ. Изучение научной литературы, нормативных документов и отраслевых отчётов по вопросам устойчивого развития в нефтяной промышленности.

Экспертный опрос. Сбор и систематизация мнений специалистов отрасли для выявления ключевых направлений интеграции принципов устойчивого развития.

Классификационный анализ. Группировка направлений по трём ключевым сегментам отрасли: добыча, транспортировка, переработка.

Основная часть. Нефтяная промышленность играет ключевую роль в глобальном энергообеспечении. Однако ее функционирование порождает серьезные проблемы в области экологии и устойчивого развития. Интеграция принципов устойчивого развития в материально-технические процессы необходима для повышения эффективности, снижения затрат и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Несмотря на растущую осведомленность общества о данных проблемах, отрасль сталкивается с такими препятствиями, как недостаточная подготовка кадров, ограниченность ресурсов, проблемы в области безопасности производства и нехватка инфраструктуры. Для решения данных трудностей используется смешанный подход, сочетающий теоретический анализ с методами принятия решений на основе нескольких критериев, с целью выявления и расстановки приоритетов ключевых направлений по интеграции принципов устойчивого развития в логистику нефтяной промышленности.

Для того чтобы определить логистику нефтяной промышленности, в данном исследовании были широко использованы как первичные, так и вторичные данные. Первичные данные были получены в ходе опросов экспертов и специалистов в области логистики и защиты окружающей среды, что позволило изучить их точки зрения. Вторичные данные были собраны из онлайн-книг, научных журналов и веб-сайтов, посвященных инициативам в области обеспечения экологической устойчивости в логистике цепочки формирования стоимости (поставок). Качественный подход не только обеспечил контекстуальные и концептуальные аспекты исследования процессов обеспечения экологической устойчивости в логистике нефтяной промышленности, но и помог получить более глубокое понимание данной проблемы.

Экологическая устойчивость в логистике нефтяной промышленности – это комплекс мер, направленных на минимизацию негативного воздействия логистических операций (транспортировка, хранение, переработка углеводородов) на окружающую среду [1, с. 132]. Она включает рациональное использование ресурсов, снижение выбросов загрязняющих веществ, предотвращение аварий, утилизацию отходов и восстановление экосистем,

пострадавших от деятельности отрасли. Одной из таких практик, способных сократить объем производственных отходов в нефтяной промышленности, является «цикл использования-восстановления-переработки», который реализуется благодаря концепции циклической экономики [4, с. 1801]. Данная концепция помогает компаниям удовлетворять потребности заинтересованных сторон и снижать негативное воздействие на окружающую среду.

Экологическая, социальная и экономическая устойчивость – это взаимосвязанные концепции [1, с. 142]. Очевидно, что все вышеперечисленные составляющие тесно связаны с добычей, производством и эксплуатацией нефти, что означает, насколько негативно деятельность нефтяной промышленности влияет на окружающую среду в долгосрочной перспективе. Благодаря применению экологически устойчивых практик в сфере нефтяной промышленности стимулируется использование возобновляемых источников энергии и минимизируются выбросы углерода. Нефтедобывающая отрасль способна разрабатывать рациональные инициативы в области добычи, транспортировки и сбыта нефти с помощью эффективных логистических стратегий. Благодаря использованию таких инновационных логистических решений, как автоматизация транспортных маршрутов и сокращение количества выбросов, отрасль способна снизить потребление энергоресурсов, сократить объем выбросов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. С помощью таких нововведений, как мониторинг в режиме реального времени и аналитика информационных данных, нефтяная промышленность может сокращать и отслеживать выбросы углекислого газа [6, с. 2]. Кроме того, использование экологически чистых видов транспорта, таких как электромобили или гибридные автомобили, повышает эффективность логистики цепочки снабжения, поскольку позволяет оптимизировать транспортные маршруты, сокращать ненужный пробег и снижать расход топлива [5, с. 758].

Экологически устойчивые стратегии и логистические процессы в нефтяной промышленности являются предметом многочисленных исследований. Например, экологически безопасные инновации в области добычи и производства нефти, а также вопросы оптимизации материально-технического снабжения [3, с. 494]. Тем не менее, исследований, посвященных взаимосвязи между материально-техническим снабжением и экологической устойчивостью в данной отрасли, немного. Цель данного исследования – исследовать практические рекомендации для повышения экологичности логистики посредством целенаправленных мероприятий, создающих полноценные и долгосрочные экологические ценности. Анализ тематических аспектов, а также подход «лучший-худший» использованы для определения и расстановки приоритетов стратегий интеграции экологичности в логистику нефтяной промышленности.

Методы сбора качественных данных были проанализированы с учётом важных логистических показателей и критериев устойчивого развития в нефтяной отрасли. Анализ всего исследования проводился с использованием стратегии исследования, основанной на практических действиях. Специалисты по логистике и эксперты в области экологии делятся своими субъективными впечатлениями и интерпретациями.

В рамках одного из аспектов исследовательской стратегии удалось оценить эффективность инициатив в области устойчивого развития в различных регионах и нефтяных компаниях. Чтобы лучше понять, как связаны между собой логистические практики и инициативы в области устойчивого развития, данный всеобъемлющий исследовательский подход призван наглядно продемонстрировать эту взаимосвязь. Общий процесс исследования представлен в таблице.

Таблица

Процесс исследования [составлено автором]

Анализ литературы	просмотр предыдущих исследований по устойчивому развитию в нефтяной промышленности; просмотр аналогичных исследований по цепочке создания стоимости в нефтяной промышленности; обобщение проблем в рассматриваемых исследованиях.
Составление плана исследования	подбор подходящих решений проблем, подходов и стратегий исследования; определение стратегий сбора данных; составление плана исследования; выбор интервьюируемых экспертов в качестве одного из основных источников данных; просмотр существующей литературы, отраслевых отчетов и соответствующих публикаций.
Сбор и анализ полученных данных	анализ текущих проблем и поиск возможных решений; выявление взаимосвязи между цепочкой создания стоимости, логистики и устойчивым развитием.

Представленная стратегия исследования обеспечивает глубокое понимание взаимосвязи логистических практик и инициатив в области устойчивого развития в нефтяной промышленности. Систематический подход, сочетающий теоретический анализ и эмпирическую проверку, позволяет не только выявить существующие проблемы, но и наметить пути их решения, что делает исследование ценным как для научного сообщества, так и для отраслевых специалистов.

Результаты. Наконец, с помощью собранных данных посредством анкетирования методом сравнительного анализа были определены приоритетные стратегии интеграции устойчивого развития. Картографирование цепочки поставок было определено как ключевой показатель в рамках логистических систем, который позволяет идентифицировать те области в цепочке поставок, которые могут быть дополнительно оптимизированы. Увеличивая доступность и наглядность каждого этапа, картографирование цепочки поставок способствует развитию производственных процессов в рамках логистических систем. Как внешние, так и внутренние факторы оказывают значительное влияние на проектирование и эффективность операций цепочки поставок в нефтяной промышленности, что подчеркивает необходимость комплексного стратегического планирования.

В результате опроса экспертов и анализа литературы было выявлено несколько направлений деятельности по интеграции принципов устойчивого развития, которые были классифицированы по трем группам: добыча, транспортировка и переработка. Приоритетные стратегии внедрения принципов экологической устойчивости в логистику нефтяной промышленности отображены в рисунке.



Рис. Схема приоритетных стратегий внедрения принципов экологической устойчивости в логистику нефтяной промышленности [составлено автором]

Для расстановки очередности мер в области интеграции принципов устойчивого развития в ходе количественного этапа эксперимента, на основе экспертных оценок, был использован метод «лучший-худший» (BWM). Три наиболее важными направлениями являются внедрение технологических инноваций (0,331605), использование более экологически чистых методов производства (0,094957) и обеспечение устойчивости в сфере переработки газа (0,101721).

Выводы. Согласно результатам исследования, данные направления в сочетании с составлением схем производственных цепочек, профессиональным обучением сотрудников и улучшением состояния инфраструктуры позволяют сократить выбросы и объем образующихся отходов, а также повышают эффективность и устойчивость деятельности в сфере добычи, транспортировки и переработки нефти.

Экологическая устойчивость нефтяной промышленности в Нижневартовске – не альтернатива развитию, а необходимое условие его продолжения. Системный подход, сочетающий технологические инновации, регуляторные меры и социальную ответственность, способен: минимизировать экологический ущерб; обеспечить долгосрочную рентабельность нефтедобычи; улучшить качество жизни населения.

Успех зависит от готовности всех участников процесса – от нефтекомпаний до органов власти – рассматривать экологию не как издержки, а как инвестицию в будущее региона.

Литература

1. Гарифуллина З.А., Степанова Р.Р. К вопросу о значимости деятельности по защите окружающей среды в процессе функционирования предприятий нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 3(109). С. 132-142.
2. Ильинский А.А., Тан С. Стратегические приоритеты развития нефтедобывающего комплекса при освоении маргинальных месторождений: монография. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. 132 с.: ил.
3. Хасанова А.Р., Вафин Т.Р. Экологические последствия проявления стресс-коррозии в магистральных газопроводах // Инновации и перспективы развития в нефтегазовом деле –

2021: сб. тр. Междунар. науч.-практ.конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021. С.494-497. URL: item.asp?id=47133698 (дата обращения: 28.12.2025).

4. Basile V., Capobianco N., Vona R. The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. 2021. Vol. 28, № 6. P. 1801-1821.

5. Meemken E.M., Barrett C.B., Michelson H.C., Qaim M., Reardon T., Sellare J. Sustainability standards in global agrifood supply chains // Nature Food. 2021. Vol. 2, № 10. P. 758-765.

6. Palacios-Mateo C., Van der Meer Y., Seide G. Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability // Environmental Sciences Europe. 2021. Vol. 33, № 1. P. 2.

© Астапович Е.А., 2026

Ахтариев К.С., Насибуллин К.Н., Галынчик Т.А., Соловьев А.А.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ НЕФТЯНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QR-КОДА

На сегодняшний день в учебных заведениях существует необходимость представления информации студентам о современном оборудовании нефтегазового производства. Сложные конструкции оборудования без визуального сопровождения и практических примеров вызывают трудности у студентов при его изучении и восприятии.

Меняющиеся условия современного мира ставят перед системой профессионального образования новую важнейшую задачу модернизации и внедрения инноваций в учебный процесс. QR-код позволяет сжимать и визуализировать информацию, считывать ее с помощью обычной камеры мобильного телефона, что значительно упрощает процесс обучения и делает его более интерактивным и удобным. Применяя QR-коды на учебных занятиях в учреждениях профессионального образования, преподаватель сможет сэкономить время занятия, предоставить материал в более удобном и привычном для учащихся виде, что поможет студентам лучше усваивать материал. Применение интерактивных технологий в профессиональном образовании очень важно, поскольку будущим специалистам необходимо сформировать в себе навык самостоятельности, вовлеченности, технические навыки для того, чтобы с легкостью адаптироваться и эффективно функционировать в современном быстроменяющемся мире [2].

Целью исследования является изучение особенностей применения технологии QR-кодов для создания виртуальной энциклопедии нефтегазового оборудования.

Первоначально целевая аудитория пользователей виртуальной энциклопедии нефтегазового оборудования будет состоять в основном из числа сотрудников университета и студентов. Однако в дальнейшем планируется расширение аудитории посредством предоставления доступа к разрабатываемой виртуальной энциклопедии на платной основе. Это позволит охватить широкий круг пользователей, которые заинтересованы в получении обширной информации об оборудовании нефтегазового производства и в углубленном изучении.

QR-код представляет собой идеальное решение для многих современных задач благодаря своей компактности, возможности кодировать различные символы, а также простоте использования и высокой надежности [3].

Важными преимуществами технологии использования мобильных устройств и QR-кодов является следующие:

- информация может быть представлена не только в текстовой, но и в интерактивной мультимедийной форме;
- информацию, считываемую с помощью QR-кодов, можно легко изменять, расширять и добавлять, не меняя QR-код;
- получение информации бесплатно, поскольку используются локальные сети;
- посетители могут использовать свои собственные электронные мобильные устройства.

Поскольку QR-коды в настоящее время активно внедряются в нашу жизнь, получение информации с их помощью в ближайшее время станет таким же естественным, как звонок по мобильному телефону [1].

Для повышения эффективности образовательного процесса и улучшения уровня подготовки студентов в рамках данного исследования непосредственно предлагается создание виртуальной энциклопедии оборудования нефтегазового производства с интеграцией QR-технологии. Для этого планируется создать сайт с помощью современных и доступных конструкторов сайтов с привязкой QR-кода.

Создание виртуальной энциклопедии нефтяного оборудования с привязкой QR-кода предполагает ряд последовательных этапов:

1. Подготовка цифрового контента. Необходимо собрать и подготовить всю информацию по оборудованию нефтегазового производства, запись видеороликов, создание трёхмерных изображений.

2. Выбрать конструктор сайтов. Для разработки сайта можно воспользоваться стремительными и доступными конструкторами: Tilda, Wix и пр., которые поддерживают встраивание интерактивных элементов и обладают хорошей адаптивностью с различными устройствами.

3. Проектирование интерфейса сайта. Разработка структуры базы данных, web-приложения, дизайна.

4. Генерация QR-кодов. Каждая карточка оборудования должна иметь уникальный QR-код, который будет служить входом на соответствующую страницу сайта.

5. Привязка QR-кода к физическому оборудованию. QR-код будет распечатываться и размещаться рядом с оборудованием, на который он ссылается.

6. Тестирование и запуск. Перед запуском виртуальной энциклопедии нефтяного оборудования необходимо провести сплошное тестирование всех компонентов.

Сканирование QR-кода (рис. 1) будет обеспечивать доступ к расширенному цифровому контенту по каждому оборудованию: фотографиям, видеороликам, схемам, спецификациям, руководствам по эксплуатации и техническому обслуживанию, трёхмерным изображениям и виртуальным турам.



Рис. 1. QR-код главной страницы виртуальной энциклопедии нефтяного оборудования

Технология дополненной реальности и QR-код как ее основной инструмент обеспечивают следующие преимущества:

- наглядность – возможность дополнять текстовую информацию визуальной и слуховой информацией;

– индивидуализация – свобода выбора объема информации и его тематическое наполнение;

– дифференциация – четкое структурирование блоков информации [5].

Для лучшей навигации по сайту виртуальной энциклопедии нефтяного оборудования предлагается создать следующие функциональные разделы (рис. 2):

- 1) Средства измерения и контроля.
- 2) Насосное оборудование.
- 3) Запорная арматура.
- 4) Буровое оборудование.
- 5) Трубопроводная арматура.
- 6) Электрооборудование и системы управления.
- 7) Системы промышленной безопасности.
- 8) Материалы и технологические среды.
- 9) Прочее.

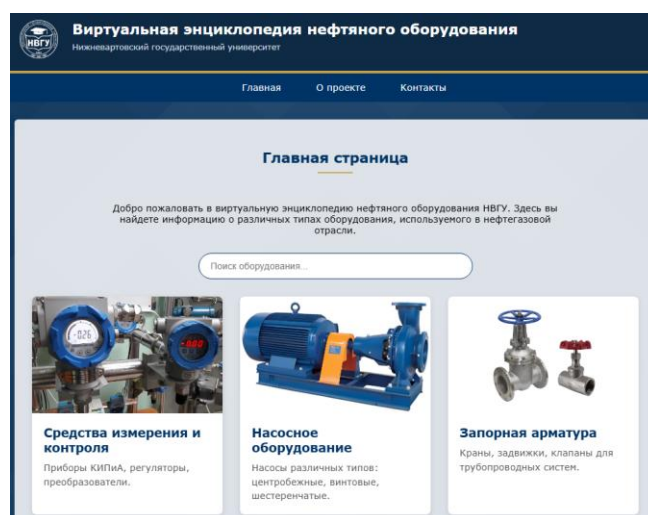


Рис. 2. Интерфейс главной страницы виртуальной энциклопедии нефтяного оборудования

Каждый раздел будет обладать кликабельностью и раскрывать список, включенного в данный раздел нефтегазового оборудования (рис. 3.).

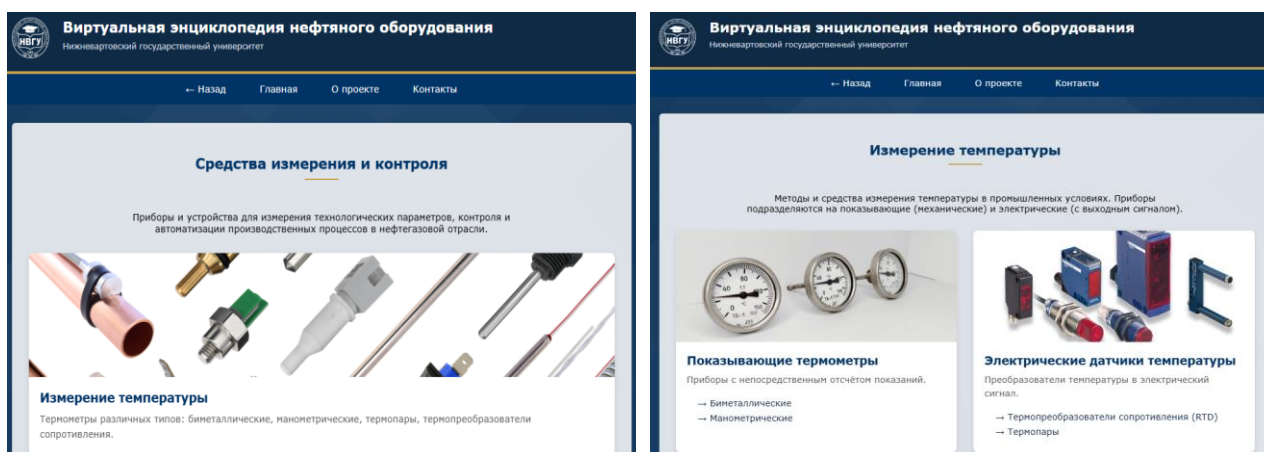


Рис. 3. Пример раскрывающегося списка оборудования

Переход на страницу с оборудованием (рис. 4.) обеспечит получение расширенного цифрового контента: фотографиям, видеороликам, схемам, спецификациям, руководствам по эксплуатации и техническому обслуживанию, трёхмерным изображениям и виртуальным турам.



Рис. 4. Пример цифрового контента по конкретному оборудованию

На сегодняшний день существует ряд требований по работе с QR-кодами, так некоторыми исследователями отмечается значительное взаимодействие между расстоянием считывания и размером QR-кода, которое оказывает большое влияние на степень идентификации QR-кода [4]. Разработанная виртуальная энциклопедия нефтяного оборудования, открывающая доступ через QR-код к мультимедийному контенту, будет обладать следующими критериями качества:

1. Качество: весь информационный контент будет обладать высоким разрешением и качеством отображения.
2. Достоверность и полнота данных: загружаемая информация будет тщательно проверенной, полной и содержать исчерпывающие сведения обо всех аспектах оборудования.
3. Скорость отклика: время загрузки страниц и мультимедийного контента будет соответствовать ожиданиям пользователей и обеспечивать комфортное взаимодействие с виртуальной энциклопедией.
4. Совместимость с устройствами: виртуальная энциклопедия будет поддерживать работу на разных устройствах непосредственно на смартфонах, планшетах, компьютерах и других устройствах, имеющих функцию сканирования QR-кода.
5. Удобство навигации: интерфейс виртуальной энциклопедии будет простым и удобным для быстрого нахождения нужной информации, выстроенная архитектура будет интуитивно понятной.
6. Масштабируемость: энциклопедия будет развиваться за счет добавления нового оборудования и расширения функционала непосредственно без значительных изменений архитектуры.

Таким образом, использование виртуальной энциклопедии с технологией QR-кодов позволит повысить наглядность обучения, усилить практико-ориентированную составляющую и улучшить усвоение профессиональных компетенций. Данный аспект значительно повысит качество образования, будет способствовать лучшему пониманию студентами сложных конструкций и принципов работы. Следовательно, внедрение энциклопедии в образовательный процесс не только облегчит обучение, но и подготовит высокоспециализированных специалистов, готовых решать практические задачи. Кроме того, использование виртуальной энциклопедии будет иметь значительный потенциал для внедрения в корпоративное обучение компаний нефтегазовой отрасли.

В заключении следует отметить, что представленное исследование в дальнейшем будет направлено на пополнение базы данных новым оборудованием и мультимедийным контентом, совершенствование интерфейса, улучшение интерактивных функций для большего удобства пользователей.

Литература

1. Дмитриевская Е.Ю. Создание мультимедийного контента при организации работы музея образовательной организации. QR-Code – применение в школьном музее // Интерактивная наука. 2023. №6 (82). С 31-33.
2. Дубровская Я.Л. Применение QR-кодов в профессиональном образовании // Инновационные подходы к решению профессионально-педагогических проблем: Сборник статей по материалам X Всероссийской научно-практической конференции (Нижний Новгород, 17 апреля 2024 года). Нижний Новгород: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», 2024. С. 51-53.
3. Салимзянова Р.Р., Тюгелев Э. Н. Обзор QR-кода и его особенности // Цифровая экономика глазами студентов: материалы Международной научной конференции (Казань, 12 мая 2023 года). Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. С. 212-215.
4. Сафиуллин Р.Н., Тянь Х., Сафиуллин Р.Р., Баширов М.Р., Козин Е.Г. Метод оптимизации параметров программно-аппаратных средств систем удаленного мониторинга карьерных автосамосвалов на основе распознавания QR-кода // Горная промышленность. 2025. № S1. С. 14-20.
5. Строкина П.А., Игнатенко И.И. Применение технологии QR-кодов в образовательном процессе // Современное языковое образование: инновации, проблемы, решения: материалы XIV научно-практической конференции (Москва, 01 апреля 2023 года). М.: Московский педагогический государственный университет, 2023. С. 355-361.

© Ахтариев К.С., Насибуллин К.Н., Галынчик Т.А., Соловьев А.А., 2026

Бадретдинов В.В., Еременко К.Ю.
Югорский государственный университет
г. Ханты-Мансийск, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГРЫ

Югра является ключевым нефтегазовым регионом России, обеспечивающим около 40% национальной добычи нефти. Эксплуатация месторождений в сложных климатических и экологических условиях требует применения передовых систем безопасности и управления. Повышение эффективности, снижение аварийности и минимизация экологического ущерба – стратегические задачи, которые решаются за счет цифровизации.

На нефтегазовых объектах ХМАО-Югры, являющегося ключевым энергетическим регионом России, вопрос безопасности имеет критическое значение. Специфика работы в сложных климатических условиях, повышение нагрузки на оборудование и близость к чувствительным экосистемам требуют перехода от традиционных методов защиты к комплексным интеллектуальным системам. Эти системы, построенные на основе IoT – датчиков, промышленной аналитики и автоматизированного управления, выполняют двойную функцию: они в реальном времени предотвращают аварии, защищая персонал, окружающую природную среду и активы, и одновременно оптимизируют технологические процессы, снижая затраты. Управление безопасностью должно быть многоуровневым: на уровне объекта – это системы аварийной остановки и газового анализа; на уровне территории – единые диспетчерские центры и планы локализации ЧС; на региональном уровне – координация между предприятиями и надзорными органами Югры.

Негативное воздействие нефтегазового комплекса на общий экологический фон округа наблюдается практически по всем составляющим экосистемы – так, в частности, специалистами, занимающимися проблемами окружающей природной среды Югры отмечается высокий уровень загрязнения атмосферы, водного бассейна, ландшафтная и почвенная эрозия и другие факторы негативного влияния.

Следует констатировать, что основным видом отрицательного воздействия нефтегазового комплекса округа на природные комплексы являются химические загрязнения окружающей среды нефтью, различными химическими веществами, газообразными выбросами факелов, производственными и бытовыми отходами. Наибольшую опасность представляют нефтезагрязненные и засоленные земли и водные поверхности, общая площадь которых в Ханты-Мансийском АО, по оценкам А.В. Соромотина, в 2006 г. составляла 20–30 тысяч га [4].

Таким образом, экологические последствия деятельности нефтегазового комплекса в Югре носят масштабный и многокомпонентный характер. В ответ на эти вызовы, а также учитывая стратегическую важность региона, в РФ сформирована комплексная система правового регулирования промышленной безопасности.

В Российской Федерации, и в частности применительно к стратегически важным нефтегазовым объектам ХМАО- Югры, правовое регулирование в области промышленной

безопасности формирует жесткий многоуровневый каркас, направленный на предотвращение катастроф. Краеугольным камнем этой системы является Федеральный Закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 года. Этот закон устанавливает фундаментальные обязательства для компаний-недропользователей, включая необходимость получения лицензий, проведения экспертизы промышленной безопасности, декларирования и страхования ответственности. Он напрямую регулирует безопасность эксплуатации всего спектра критического оборудования, характерного для нефтедобычи: сосудов, работающих под давлением (сепараторы, емкости), трубопроводов, а также установок, использующих взрывопожароопасные и токсичные вещества [1].

Данный базовый закон конкретизируется и дополняется комплексом подзаконных и технических нормативных актов, создающих детальное поле для деятельности. Ключевым из них является Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», который устанавливает обязательные требования к проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации оборудования на всех этапах его жизненного цикла, что напрямую влияет на этапы обустройства месторождений и модернизации объектов в Югре.

Параллельно действует обширный массив Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, разработанных Ростехнадзором. Эти документы носят узкоотраслевой характер и регламентируют буквально каждую операцию – от правил ведения газоопасных работ на установках подготовки нефти и газа до требований к эксплуатации магистральных трубопроводов, что особенно актуально для разветвленной трубопроводной инфраструктуры региона.

Важным инструментом гармонизации российских практик с международными выступают стандарты, такие как ГОСТ Р ИСО 45001-2020 «Системы менеджмента охраны труда и промышленной безопасности». Его внедрение позволяет компаниям выстроить не реактивную, а превентивную систему управления рисками, основанную на процессивном подходе и непрерывном улучшении. Отдельными и критически важным блоком являются приказы и методические указания Ростехнадзора, особенно касающиеся порядка расследования, учета и анализа аварий и инцидентов. Эти документы обеспечивают единую методологию извлечения уроков из происшествий, что является ключевым для предотвращения повторения аварий в схожих технологических и климатических условиях, характерных для нефтегазового комплекса Севера.

Для нефтегазовых объектов Югры ключевым инструментом предотвращения аварий является система управления промышленной безопасностью (СУПБ). Её фундамент составляет политика руководства, закрепляющая стратегические цели и ответственность. На этой основе реализуется ядро системы: проективная идентификация опасностей и оценка рисков с помощью методологий HAZOP и FMEA, что критически важно для взрывопожароопасных производств. Для управления рисками создается четкая организационная структура, а также регламенты и процедуры, включая детальные планы действий ЧС. Технической основой служат автоматизированные системы контроля и защиты.

Непрерывная подготовка и аттестация персонала обеспечивают человеческий фактор, а мониторинг эффективности через аудиты и расследования инцидентов позволяют системе улучшаться [1].

В условиях ужесточения требований промышленной безопасности, повышения экологических стандартов и турбулентности энергетического рынка, нефтегазовый комплекс Югры демонстрирует устойчивую динамику развития, основным драйвером которой выступает глубокая цифровизация производственных активов. Ключевым вектором повышения операционной эффективности и обеспечения технологической устойчивости становится не просто модернизация основных фондов, а интеграция инновационных решений, позволяющих вывести контроль за производственными процессами на качественно иной уровень.

В 2025 году в русле стратегии цифровой трансформации ПАО «СИБУР» одним из значимых проектов, реализованных на территории автономного округа, стало внедрение интеллектуальной системы технического зрения на объектах ООО «СибурТюменьГаза». Целью данной инициативы выступает кардинальное усиление промышленной безопасности и обеспечение непрерывного мониторинга работы наружных технологических установок за счет организации дополнительного видеоконтроля на всех ключевых производственных площадках. В качестве пилотной площадки для пробации и последующего масштабирования системы был определен Южно-Балыкский газоперерабатывающий завод. При выборе аппаратного обеспечения для проекта приоритет отдавался специализированному оборудованию, соответствующему строгим отраслевым стандартам безопасности и адаптивному к эксплуатации в сложных климатических условиях региона, характеризующихся значительными перепадами температур.

Функциональность внедренной системы обеспечивается программным комплексом на базе технологий искусственного интеллекта. В автоматическом режиме алгоритмы машинного зрения распознают и анализируют критические события и отклонения от штатного режима: фиксацию признаков задымления или парения, обнаружение несекционного проникновения персонала на участки с ограниченным доступом, а также круглосуточный мониторинг операторов. При этом система обеспечивает геопривязку событий к интерактивной карте местности, что позволяет диспетчерским службам мгновенно определять точные координаты возникновения штатной ситуации для принятия оперативных мер (<https://clck.ru/3SMYby>).

Параллельно с развитием систем технического зрения, компания ведет планомерную работу по совершенствованию автоматизированных комплексов управления технологическими процессами, смещая акцент в сторону предиктивной аналитики и алгоритмов оптимального управления. В пример можно привести развитие Системы управления установками технологических процессов, функционал которых можно уподобить работе автопилота: обеспечивая стабилизацию технологических режимов и минимизируя потребность в ручной коррекции параметров, данные системы позволяют операторскому персоналу делегировать рутинные операции автоматике и концентрироваться на решении

сложных нестандартных производственных задач. Хотя первые внедрения Системы управления установками технологических процессов относятся к 2019 году, работы по расширению их функциональных возможностей и адаптации к специфике конкретных производственных установок сохраняют свою актуальность и продолжаются на системной основе [6; 8].

Значимым этапом этого направления в 2024 году стала реализация ряда проектов, направленных на повышение эффективности газоперерабатывающих активов. Так, на Губкинском газоперерабатывающем заводе была внедрена система автоматического перераспределения потока попутного нефтяного газа. Ее ввод в эксплуатацию позволил существенно сократить долю ручного управления газодинамическими режимами и повысить коэффициент полезного использования оборудования за счет оптимизации загрузки технологических линий [7].

Другим примером является автоматизация и работы печи на одной из технологических установок. Реализация этого проекта обеспечила не только повышение стабильности тепловых процессов, но и привела к измеримому экономическому и экологическому эффекту: снижение расхода топливного газа превысило 100 тысяч кубометров в год, что сопровождается пропорциональным сокращением эмиссии диоксида углерода CO₂ в атмосферу (<https://clck.ru/3SMYUE>).

В контексте обеспечения безопасного и устойчивого функционирования производственных необходимо отметить институциональные подходы, реализуемые в Группе «ЛУКОЙЛ». Для решения комплекса задач в области защиты персонала, производственных активов и окружающей среды в компании создана и успешно функционирует интегрированная «Система управления промышленной безопасностью, охраной труда и окружающей среды». Данная система охватывает весь спектр мероприятий, включая обеспечение требований пожарной безопасности, а также предупреждение возникновения и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. Ее структура и принципы функционирования разработаны в строгом соответствии с требованиями национального, в том числе российского, законодательства и базируется на протестированных отраслевых практиках. Кроме того, система прошла процедуру сертификации на предмет соответствия требованиям международных стандартов ISO 14001 и ISO 45001, что подтверждает высокий уровень управленческих подходов компании в данных сферах.

За период с 2010 по 2022 год в российских подразделениях «ЛУКОЙЛ» произошло значительное сокращение числа несчастных случаев на производстве – с 43 до 16. Соответственно, коэффициент частоты травматизма снизился с 0,43 до 0,18 [2; 5].

Для обеспечения безопасности персонала и защиты от пожаров и взрывов на объектах нефтегазовой отрасли применяются системы обнаружения и тушения пожаров (СОТП). Они включают в себя датчики дыма, тепла и пламени, а также автоматические системы пожаротушения, такие как спринклерные установки и газовые системы пожаротушения.

Кроме того, важным элементом систем безопасности являются системы контроля и управления доступом (СКУД), обеспечивающие ограничение доступа посторонних лиц на

территорию объектов. Они включают в себя электронные замки, биометрические сканеры и системы видеонаблюдения. Эффективное функционирование систем управления и безопасности требует проведения регулярного технического обслуживания и тестирования оборудования, а также обучения персонала правилам безопасной эксплуатации и действиям в чрезвычайных ситуациях [3].

Таким образом, обеспечение безопасности на нефтегазовых объектах в условиях сложных климатических и экологических требований является стратегической задачей, решаемой за счет перехода к интегрированным условиям.

Этот переход опирается на формирование жесткой многоуровневой нормативной базы, гармонизированной с международными стандартами, и на активное внедрение цифровых решений. Современные подходы сочетают аппаратно-техническую основу, прогнозную аналитику и автоматизацию ключевых процессов, что позволяет реализовывать превентивную, а не реактивную модель безопасности. Результатом становится создание комплексных систем, которые одновременно выполняют функции предотвращения аварий, защиты персонала и окружающей среды, а также оптимизации производства. Достижимая положительная динамика в снижении аварийности доказывает эффективность такого подхода.

Следовательно, дальнейшее развитие нефтегазовой отрасли в Ханты-Мансийском автономном округе -Югре будет неразрывно связано с углублением процессов цифровизации и построением единых интеллектуальных контуров управления, обеспечивающих устойчивую и безопасную эксплуатацию объектов в долгосрочной перспективе. Проведенный анализ показывает, что традиционные методы обеспечения промышленной безопасности, базирующиеся на реактивных подходах и локальных системах защиты, исчерпали свой потенциал в условиях усложнения технологических процессов и ужесточения требований к сохранению хрупких экосистем Севера.

Литература

1. Арканов Е.А. Системы управления промышленной безопасностью на объектах нефтегазовой отрасли // NovaInfo.Ru. 2023. Т. 1, № 138. С. 89-91.
2. Курбатов А.В. Развитие рынка экологических услуг (на примере Московской и Ленинградской областей): дис. ... канд. экон. наук. Пушкино, 2014. 167 с.
3. Маммедов Г., Овезмырадов А., Пенамырадов Д., Языев Ы. Системы управления и безопасности на нефтегазовых объектах // Экономика и социум. 2022. № 5-1 (96). С. 632-636.
4. Соромотин А.В. Экологические проблемы нефтедобычи в Ханты-Мансийском автономном округе // Проблемы региональной экологии. 2006. № 3. С. 24-30.
5. Политика Группы «ЛУКОЙЛ» в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды в XXI веке: Приказ ПАО «ЛУКОЙЛ» от 14.05.2024 № 92.
6. Политика Группы «ЛУКОЙЛ» в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды в XXI веке: Приказ ПАО «ЛУКОЙЛ» от 14.05.2024 № 92.

7. Череповицын А.Е., Третьяков Н.А. Разработка новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 628-642.

8. Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Кинжаев Р.Р., Арзамазова А.В., Рогова О.Б., Мельник М.А. Особенности почвенно-растительного покрова восстанавливающихся нефтезагрязненных участков олиготрофных болот в Среднем Приобье // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. Т. 79, № 2. С. 119-135.

© Бадретдинов В.В., Еременко К.Ю., 2026

Бикшанова Ю.К., Кочина Т.Б.

Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫСЛОВЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ САМОТЛОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Коррозия нефтепроводов является одной из основных причин аварий и значительных экономических потерь в нефтяной отрасли. Самотлорское месторождение, учитывая масштаб добычи и протяжённость инфраструктуры, требует эффективных методов мониторинга состояния трубопроводов для обеспечения их надежной эксплуатации. На сегодняшний день задача повышения точности и оперативности выявления коррозионных повреждений особенно актуальна. Цель данной статьи – провести анализ ключевых технологий коррозионного мониторинга, используемых в нефтегазовой отрасли, с последующим обоснованием выбора метода как наиболее эффективного для промысловых нефтепроводов Самотлорского месторождения [4; 6].

На сегодняшний день существует ряд специализированных методов, позволяющих оценить интенсивность коррозионных процессов и определить характер повреждений. Далее будет проведён обзор существующих методов коррозионного мониторинга с анализом их преимуществ и недостатков, а также обоснованным выбором наиболее эффективного метода для практического применения на Самотлорском месторождении.

1. Гравиметрический метод – наиболее часто применяемая техника мониторинга. Образцы-свидетели относительно дешевы, очень полезны в режиме штатного ингибирования, а также в тех местах, где применение электрических приборов по каким-то причинам невозможно.

На Самотлорском месторождении в настоящее время используется исключительно гравиметрический метод определения коррозии, основными недостатками которого являются длительное время получения данных, отсутствие возможности непрерывного мониторинга и необходимость работы персонала в условиях повышенного давления.



Рис. 1. Типичные образцы-свидетели до и после выдержки в агрессивной среде

2. Метод электросопротивления относится к группе массометрических методов. В отличие от гравиметрического, потеря массы чувствительного элемента вследствие экспозиции в агрессивной среде оценивается по результатам измерений электрического сопротивления [2; 5].

3. Метод сопротивления линейной поляризации основан на измерении электрохимических свойств поверхности корродирующего металла, он обладает очень высокой чувствительностью и практически мгновенным откликом [2; 5].

Основное ограничение метода – работоспособность только в токопроводящей среде (электролите). Наличие нефтепродуктов в воде, способных загрязнять поверхность электродов, может не только затруднить интерпретацию результатов, но и полностью сделать измерения невозможными [3].



Рис. 2. Пример датчиков электросопротивления [5]

Таблица 1

Достоинства и недостатки методов коррозионного мониторинга [составлено автором]

Наименование метода	Достоинства	Недостатки
Гравиметрический метод	– применим в любых средах; – отсутствие сложного оборудования; – дешевизна и легкость применения; – визуальная оценка: выявляет характер разрушений/механизм коррозии; – доступность: возможность исследования продуктов коррозии и проведения металлографических исследований	– длительное время получения и интерпретации данных; – невысокая чувствительность и запаздывающий результат (констатация факта – реактивный характер); – низкая частота измерений – практически дискретный интегральный характер результата; – работа персонала на объектах высокого давления.
Метод электрического сопротивления (ER)	– не требует наличия проводящей среды – применим в любых средах; – чувствительность превосходит чувствительность гравиметрического метода; – возможность отслеживания коррозии в режиме реального времени.	– чувствителен к температурным колебаниям; – требует тщательности при выборе места УКК и исполнения чувствительного элемента.
Метод сопротивления линейной поляризации (LPR)	– очень быстрое измерение агрессивности среды; – очень чувствителен к любым изменениям условий эксплуатации – температуры, давления,	– необходима токопроводящая среда; – измеряет скорость только общей коррозии; – отражает только мгновенную агрессивность в момент измерения;

	обводненности, содержанию агрессивных компонентов и т. д.	– более характеризует тенденцию агрессивности, а не абсолютное значение скорости коррозии; – датчики подвержены загрязнениям; – в некоторых средах требуется квалификация персонала по электрохимзащите для интерпретации получаемых результатов; – присутствие сероводорода в воде может приводить к формированию проводящих сульфидных контактов между электродами, что полностью искажает полученные результаты.

Гравометрический метод используемый на Самотлорском месторождении имеет значительные ограничения в условиях реального воздействия коррозии в трубопроводах.

Установка образца в УКК показана на рисунке 4. Образец расположен на 2–3 см выше нижней стенки трубопровода, при этом во время прохождения газожидкостного потока основная масса жидкости распределена по стенке в виде кольца [7].

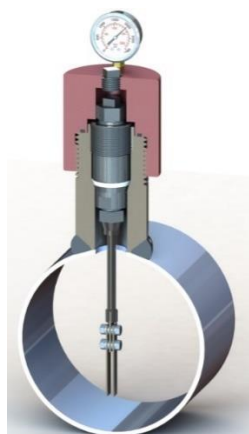


Рис. 3. Узел контроля коррозии [1]



Рис. 4. Ультразвуковая система мониторинга коррозии [7]

Из-за такого позиционирования датчика коррозия от основной массы жидкости, сосредоточенной у стенки, практически не воздействует на образец. Следовательно, показания гравиметрического метода (взвешивание) и электрического сопротивления не отражают реальную степень коррозии. Метод линейной поляризации также не эффективен из-за высокого газового содержания в потоке, что искажает измерения [3; 5].

Техническим решением этой проблемы будет внедрение ультразвуковой системы мониторинга, а именно технологии, которая основана на методе регистрации отраженных импульсов.

Ультразвуковой метод основан на измерении времени прохождения ультразвуковой волны в твёрдом теле. Ультразвуковой метод характеризуется высокой точностью измерений и с его помощью можно выявить коррозионные поражения, находящиеся на внутренней поверхности стенки трубы. Ультразвук проникает глубоко в материал и определяет дефекты или потери металла, связанные с коррозией или эрозией.

Данная система позволяет за короткий срок измерить наиболее точно степень эрозии и коррозии, также помогает эффективно оценить работу программ подачи ингибиторов коррозии в реальном времени. Изготавливается в общепромышленном и взрывозащищенном исполнении.

Применение высокотемпературных датчиков позволяет устанавливать ультразвуковую систему на поверхность с рабочей температурой до 500 °C [5].

Преимущества ультразвуковой системы:

- быстрая установка;
- пояс регулируется по диаметр трубопровода;
- не требует специальных навыков и подготовки;
- возможность переустановки и многократного использования;
- разрешающая способность измерения скорости уменьшения стенки = 0,0025 мм;
- мониторинг в режиме онлайн и в реальном времени.

Главная особенность данной системы – это точные измерения толщины стенок, независимо от скорости и вида потока смеси.

Существует множество технологий коррозионного мониторинга в трубопроводе, у каждого метода свои преимущества и недостатки в зависимости от условий эксплуатации трубопровода. В данной работе предложена ультразвуковая система мониторинга в условиях кольцевой газожидкостной среды на Самотлорском месторождении. Данная система отличается наиболее точными измерениями, которые напрямую связаны с толщиной стенки, а также не зависит от структуры и скорости газожидкостной среды, что делает данную систему наиболее актуальной в данных условиях.

Литература

1. Завьялов В.В. Проблемы эксплуатационной надёжности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2005. 332 с.

2. Лобова П.А. Коррозионный мониторинг как средство управления целостностью трубопроводов в нефтехимической промышленности // Современные технологии. 2014. № 3. 128 с.
3. Мамбетова Р.Ф., Кушнарченко В.М., Коньковой Н.А., Ефремова И.В. Контроль коррозии как метод повышения безопасности трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды // Нефтегазовое дело. 2020. № 3. С. 109-129.
4. Маркин А.Н., Ткачева Э.В., Дресвянников А.Ф., Ахметова А.Н. Коррозия и защита нефтепромыслового оборудования. Казань: Изд-во КНИТУ. 2022. 188 с.
5. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука, 2011. 288 с.
6. Нескромный Д.А. Применение систем для мониторинга коррозии технологического оборудования // Научный лидер. 2021. Вып. № 3.
7. Палладина Я.А., Закирова З.А. Повышение безопасности при эксплуатации нефтегазового оборудования с применением инновационного метода мониторинга остаточного ресурса металла // Проблемы сбора, подготовки и транспортировки нефти и нефтепродуктов, 2020. № 2. С. 113-119.

© Бикшанова Ю.К., Кочина Т.Б., 2026

Бучнев И.В., Шаньгин Е.С.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ РОССИИ И США

Информационное пространство переполнено спорами об искусственном интеллекте, и нефтегазовая отрасль не является исключением. Диапазон мнений очень широкий, различаясь от однозначного «за» до категорического «против». Тема, однако, далеко не нова, т.к. еще в 1832 году коллежский советник С.Н. Корсаков описал устройство, названное им «интеллектуальной машиной» для частичной механизации умственной деятельности [5]. Сегодня же, когда разработчики нейронных сетей ставят перед собой задачу достижения уровня переработки информации, сравнимого с естественным мышлением человека, вопрос о практическом применении ИИ в промышленности встает особенно остро.

Интерес к теме устойчиво нарастает. Анализ научной литературы по базе данных Scopus, проведенный Lima et al., выявил среднегодовой прирост публикаций по ИИ в нефтегазовой отрасли около 15% в период с 2015 по 2024 год [8]. Систематический обзор Waqar et al., охвативший 115 статей за 2011–2022 годы, показывает устойчивую положительную тенденцию в исследованиях ИИ применительно к нефтегазовому строительству, особенно ускорившуюся после 2016 года [11]. Вместе с тем реальное промышленное внедрение пока разительно расходится с исследовательским энтузиазмом. По данным независимой консалтинговой организации DNV (<https://tinyurl.com/uscxjvcww>), лишь 15% нефтегазовых компаний реально используют ИИ в ежедневных операциях, и только 3% сообщают о высоко интегрированном применении. Специалисты DNV также фиксируют глобальный дефицит кадров, способных совмещать компетенции в области ИИ и нефтегазовых систем одновременно.

Авторы ACS Omega выделяют ключевые направления применения ИИ непосредственно в добыче: динамический анализ пластов, интеллектуальная адаптация истории разработки и оптимизация планов добычи [12]. ИИ позволяет решать задачи, традиционно требующие многолетнего экспертного опыта, – оценку параметров пласта, прогнозирование дебита скважин, управление закачкой. Ukato A. et al. рассматривают применение ИИ в логистике технического обслуживания на шельфовых объектах [9]. Системы предиктивного обслуживания на основе ИИ позволяют заблаговременно выявлять износ оборудования, сокращать внеплановые остановки и снижать риск аварий.

Вместе с тем общемировые тенденции конкретизируются по-разному в зависимости от национальных особенностей регулирования, структуры отрасли и технологической культуры. Наибольший интерес для понимания перспектив развития представляет сопоставление подходов двух крупнейших нефтедобывающих стран – США и России. В США драйверами выступают развитый сервисный рынок и доступ к глобальным технологиям, в то время как в России ключевую роль играют вертикальная интеграция крупных компаний и государственная поддержка цифровизации [1-3; 6; 8].

В нефтедобыче США и России ИИ уже применяется по схожим направлениям (геологоразведка, бурение, управление добычей, предиктивная диагностика), но масштабы, глубина интеграции и организационная среда заметно различаются. Обобщение основных различий представлено в таблице 1. Сильной стороной США остается развитый сервисный рынок: крупные сервисные компании предлагают готовые платформы ИИ и цифровых двойников, которые можно быстро масштабировать на разных клиентах [11]. Глобальный доступ к капиталу и технологиям позволяет легче финансировать дорогие R&D-проекты для сложных морских и сланцевых месторождений [8; 11]. Кроме того, в США достигнут более высокий уровень стандартизации и качества данных, что критично для обучения моделей машинного обучения [11].

Таблица 1

Ключевые различия в применении ИИ в нефтедобыче США и России [составлено автором]

Аспект	США	Россия
Масштаб внедрения	Крупные международные компании (ExxonMobil, Chevron и др.) используют ИИ по всей цепочке от разведки до НПЗ, включая глобальные портфели активов [9-11].	Внедрение концентрируется в крупнейших игроках («Роснефть», «Газпром нефть», ЛУКОЙЛ), с фокусом на отдельных месторождениях и пилотных проектах [1-3].
Основные задачи	Оптимизация глобальных портфелей скважин, снижение Lifting Cost, комплексные цифровые двойники, предиктивная аналитика для сложных офшорных проектов [9; 11].	Цифровые двойники отдельных месторождений и процессов, оптимизация ППД и фонда скважин, снижение простоев оборудования, интерпретация сейсмики и ГИС [1-3; 6].
Степень автоматизации	Более широкие проекты полуавтономного управления (интеллектуальные буровые, автоматизация режимов добычи на зрелых активах) [10; 11].	Преобладают системы поддержки принятия решений и «умные» АСУ ТП, где ИИ предлагает режимы или решения, а инженер утверждает их вручную [1-3].
Данные и инфраструктура	Более высокая насыщенность датчиками, зрелые стандарты работы с данными, развитые облачные платформы и экосистемы ИИ у сервисных компаний (Schlumberger, Halliburton и др.) [9; 11].	Интенсивная цифровизация в крупных компаниях, но неоднородность по отрасли; значительные объемы «наследственных» данных и инфраструктурные ограничения, особенно у средних и малых производителей [1-3; 6].
Регулирование и риски	Сильный акцент на ESG, кибербезопасности, управлении рисками для критической инфраструктуры, развитая контрактная база для аутсорсинга ИИ-решений [7; 10].	Жесткие требования по промышленной безопасности и импортозамещению, что стимулирует собственные разработки, но усложняет доступ к зарубежным платформам и кадровому ресурсу [1-3].
Экономический эффект	Рост добычи на зрелых активах, сокращение аварий и CAPEX/OPEX; оценочный мировой эффект ИИ в нефтегазе – сотни миллиардов долларов в год [9-11].	Минэнерго РФ оценивает потенциальный эффект от ИИ в нефтегазе до 700 млрд руб. (https://tinyurl.com/bdh6um67) в год и 5,4 трлн руб. к 2040 г.; аналитики ИА «Девон» дают сопоставимые данные (https://tinyurl.com/43p63tau).

Россия, в свою очередь, опирается на преимущества вертикально интегрированных компаний, которые концентрируют данные по целым регионам. Это создает хорошие возможности для построения цифровых двойников и предиктивной аналитики на зрелых месторождениях [1-3]. Государственная поддержка цифровизации и ИИ официально декларирует целевые эффекты, что по данным РБК (<https://tinyurl.com/bdh6um67>) стимулирует программы по развитию ИИ в ТЭК. Активно развиваются собственные решения: «цифровые месторождения», что отмечает агентство Интерфакс (<https://tinyurl.com/yaz6m459>), а также отечественные платформы предиктивной аналитики, цифровые двойники сейсморазведки, систем управления добычей и поддержания пластового давления [1-3; 9].

И в США, и в России ИИ уже стал стандартным инструментом для анализа сейсмики, оптимизации бурения и разработки зрелых месторождений, включая поиск остаточной нефти и снижение аварийности оборудования [1; 3; 9]. На горизонте ближайших 10–15 лет ключевым направлением будет развитие цифровых двойников, интеграция ИИ с Интернетом вещей и робототехникой, а также переход от рекомендательных систем к полуавтономному управлению при жестком инженерном и регуляторном контроле [1-3].

Однако, несмотря на впечатляющие перспективы, применение ИИ сопряжено с серьезными рисками. Наиболее осторожные оппоненты предлагают законодательно ограничить использование ИИ в критически важных отраслях, и небезосновательно. Ukato A. et al. прямо указывают, что системы технического обслуживания на базе ИИ уязвимы для кибератак, которые могут иметь серьезные последствия для шельфовых операций [9]. Среди рисков он выделяет несанкционированный доступ к конфиденциальным промысловым данным, внедрение вредоносного программного обеспечения и перегрузка систем управления. Комплексный обзор на платформе ScienceDirect выявляет более глубокие системные риски: предвзятость данных, алгоритмическую непрозрачность (проблема «черного ящика»), чрезмерную зависимость от автоматизации [7]. Авторы отмечают, что данные, на которых обучаются модели, нередко отражают исторические несовершенства и ошибки. Lima et al. акцентируют этическое измерение, т.к. алгоритмическая предвзятость при распределении ресурсов (например, автоматизированная приоритизация обслуживания инфраструктуры) может отражать или даже усугублять социальное неравенство [8]. Управление данными и объяснимость моделей (Explainable AI) названы ключевыми условиями справедливого применения ИИ.

Вопрос о том, что и как регулировать, вышел за пределы академических аудиторий. Министерство энергетики США в докладе CESER, подготовленном во исполнение Исполнительного указа № 14110, систематизирует потенциальные выгоды ИИ для энергетической инфраструктуры, одновременно анализируя ключевые источники рисков при его применении [10]. Доклад примечателен тем, что рассматривает не только технические, но и системные угрозы: как именно риски возникают при наложении возможностей ИИ на критическую энергетическую инфраструктуру. Обсуждаются предложения создать межведомственную комиссию по типу МАГАТЭ для дозированного допуска инновационных разработок ИИ к реальным объектам.

Представленные выше точки зрения демонстрируют отсутствие единого мнения относительно роли и перспектив искусственного интеллекта в нефтегазовом комплексе. Более того, дискуссия о допустимых границах машинного мышления выходит далеко за пределы сугубо технических или экономических аспектов, затрагивая фундаментальные вопросы философии техники, эпистемологии и даже социальной этики. Анализ научной литературы последних лет позволяет выделить три основные группы исследователей, различающихся по своим исходным предпосылкам и выводам. Первую группу составляют технооптимисты, которые рассматривают ИИ как безусловное благо и главный драйвер прогресса. Для них внедрение интеллектуальных систем является вопросом конкурентоспособности и выживания в новой технологической реальности. Вторую группу образуют умеренные реалисты, признающие мощь ИИ, но настаивающие на сохранении человеческого контроля и поэтапном, хорошо просчитанном внедрении. Наконец, третью группу составляют скептики, которые указывают на неустранимые ограничения машинного обучения, риски потери управления и этические ловушки, призывая к законодательному ограничению автономных систем в чувствительных сферах. Обобщение позиций каждой из этих групп (табл. 2) позволяет не только увидеть весь спектр существующих подходов, но и понять, на каких основаниях должны строиться стратегии внедрения ИИ в критически важных отраслях.

Таблица 2

**Сравнение позиций исследователей по отношению к ИИ в нефтегазовой отрасли
[составлено автором]**

Критерий	Оптимисты (технооптимисты)	Умеренные (реалисты)	Скептики (осторожные)
Взгляд на потенциал ИИ	ИИ способен революционизировать отрасль: полностью автоматизировать добычу,кратно повысить эффективность, открыть недоступные ранее ресурсы. Рассматривают ИИ как «новую нефть» [9].	ИИ – мощный инструмент поддержки решений, но не замена человеческому опыту. Позволяет оптимизировать отдельные процессы, требует контроля и донастройки [11].	Возможности ИИ преувеличены; реальное внедрение сталкивается с непреодолимыми ограничениями (качество данных, сложность интерпретации, уязвимость). ИИ не способен учитывать контекст и нестандартные ситуации [7].
Отношение к рискам	Риски управляемы, выгоды перевешивают. Кибербезопасность и этические проблемы можно решить по мере развития технологий. Главное – не отстать в гонке [9; 10].	Риски существенны, но минимизируемы при разумном регулировании, стандартизации данных и развитии объяснимого ИИ. Необходимы гибридные системы «человек-машина» [11].	Риски катастрофичны: потеря управления, кибератаки, системные сбои, усугубление неравенства, непрозрачность «черного ящика». Требуется жесткое законодательное ограничение применения в критической инфраструктуре [8, 10, 7].

Примеры аргументов / представители	Lima G.B.A. et al. [8]: среднегодовой рост публикаций 15%, ИИ – драйвер устойчивого развития. Ukato A. et al. [9]: предиктивная аналитика сокращает простои.	Waqar A. et al. [11]: ИИ эффективен в строительстве, но требует качественных данных и экспертной валидации. По данным DNV лишь 3% компаний имеют высокую интеграцию ИИ, необходимы кадры и стандарты.	U.S. Department of Energy [10]: риски для критической инфраструктуры требуют межведомственного контроля. ScienceDirect [7]: проблема «черного ящика» и предвзятости данных.
Рекомендации	Форсировать внедрение, инвестировать в R&D, создавать регуляторные «песочницы».	Развивать объяснимый ИИ, обучать гибридные команды, внедрять поэтапно с сохранением человеческого контроля.	Ввести мораторий на автономные системы в критических процессах, создать независимый надзорный орган (по аналогии с МАГАТЭ).

В заключение важно подчеркнуть, что вопрос о роли человека в производственных процессах остается центральным. Как справедливо отмечают Г. Киссинджер с соавторами, слияние человеческого и машинного разума ставит фундаментальные вопросы о будущем принятия решений [4]. Ж.-Л. Лорьер в своем классическом труде задолго до современного бума ИИ предупреждал о необходимости четкого определения границ машинного мышления [6]. Увлекаясь игрой в машинный разум, стоит помнить, что любая деятельность в реальном производстве связана тысячами технологических цепочек с выпуском конечной продукции. Для того чтобы виртуальная деятельность «мыслящей» машины могла что-то делать в реальном мире, необходимо снабдить ее источниками информации и рабочими органами, а главное сохранить контроль над источниками энергии, питающими эти машины. Данные независимой норвежской организации DNV (<https://tinyurl.com/ycxjvcww>) подтверждают, что только 3 % нефтегазовых компаний реализуют высоко интегрированное применение ИИ, и это разумная осторожность, а не отставание. Если ИИ остается помощником в реальной деятельности, то это благо, но передача ему всех мыслительных процессов и их реализации без участия человека может привести к непредсказуемым последствиям. Баланс между автоматизацией и человеческим контролем, подкрепленный продуманным регулированием, определит место искусственного интеллекта в нефтегазовом комплексе на долгие годы вперед.

Литература

1. Бруссард М. Искусственный интеллект. Пределы возможного. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 240 с.
2. Девяткин В.В. Системы искусственного интеллекта / Гл. ред. И.Б. Федоров. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 352 с.
3. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 359 с.

4. Киссинджер Г., Шмидт Э., Хоттенлокер Д. Искусственный разум и новая эра человечества. М.: Альпина ПРО, 2022. 200 с.
5. Корсаков С.Н. Начертание нового способа исследования при помощи машин, сравнивающих идеи / Под ред. А.С. Михайлова. М.: МИФИ, 2009. 44 с.
6. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. М.: Мир, 1991. 568 с.
7. Artificial Intelligence in Energy Pipelines: Opportunities and Risks // ScienceDirect. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809925005508> (дата обращения: 24.02.2026).
8. Lima G.B.A. et al. Artificial Intelligence in the Oil and Gas Industry: Applications, Challenges, and Future Directions // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 14. P. 7918. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/14/7918> (дата обращения: 24.02.2026).
9. Ukato A. et al. Optimizing maintenance logistics on offshore platforms with AI: Current strategies and future innovations // World Journal of Advanced Research and Reviews. 2024. Т. 22. №. 1. С. 1920-1929. <https://doi.org/https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1315>
10. U.S. Department of Energy, CESER. Potential Benefits and Risks of Artificial Intelligence for the Energy Sector. Washington, 2024. 85 с. URL: <https://clck.ru/3TiQ6G> (дата обращения: 24.02.2026).
11. Waqar A. et al. Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: a systematic literature review // Artificial Intelligence Review. 2023. Vol. 56, No. 8. P. 1023-1045. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10462-023-10467-7>
12. Zhuang X. et al. Current Status and Prospects of Artificial Intelligence Technology Application in Oil and Gas Field Development // ACS Omega. 2024. Vol. 9, No. 1. P. 12-25. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10809235> (дата обращения: 24.02.2026).

© Бучнев И.В., Шаньгин Е.С., 2026

Волкова А.Ю., Кочина Т.Б.

Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

БЕСТРАНШЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Для повышения надежности транспорта продукции нефтяных скважин и обеспечения их безаварийной работы нефтегазодобывающие предприятия ежегодно вкладывают значительные средства в реконструкцию (замену) и ремонт нефтепромысловых трубопроводов. Причем, требуемый ежегодный объем замены (от 5 до 7%) существенно превышает экономические возможности предприятий и фактический объем замены составляет от 1,5 до 3% от протяженности трубопроводного парка. Особенно большие капитальные вложения требуются для проведения замены трубопроводов большого диаметра. Так, например, в условиях болотистой местности Западно-Сибирского региона стоимость строительства трубопровода диаметром 530 мм достигает 30–50 млн. рублей за один километр, а для газопроводов низкого давления $\phi 720, 1020$ мм – до 100 млн. р/км. Причем, в зависимости от условий, на земляные работы, отсыпку вдоль трассовых проездов приходится до 40% от общей стоимости строительства.

Срок службы нефтепромысловых трубопроводов значительно ниже, чем у нефтепроводов и газопроводов магистрального транспорта. Коррозия металлических трубопроводов и оборудования наносит большой материальный и экономический ущерб всей нефтегазовой промышленности [12; 13]. Причем, основная причина отказов – внутренняя коррозия, на долю которой приходится 70–90% от общего количества отказов. Это обусловлено в первую очередь наличием в транспортируемой продукции минерализованной подтоварной воды с растворенными агрессивными газами (углекислого газа – CO_2 , сероводорода – H_2S и кислорода – O_2). Проблема коррозии нефтепромыслового оборудования особенно актуальна для зрелых месторождений, характеризующихся высоким значением обводненности добываемой продукции. Так, например, для Самотлорского месторождения средняя обводненность добываемой продукции к настоящему времени превысила 95%. При этом, срок службы трубопроводов системы нефтегазосбора составляет 10–15 лет, а водоводов низкого и высокого давления системы поддержания пластового давления (ППД) часто не превышает 10 лет.

Поэтому, в последние годы нефтегазодобывающие предприятия ищут альтернативные способы повышения срока службы нефтепромысловых трубопроводов, а также снижения затрат на их замену.

Одним из способов существенного продления ресурса трубопроводного парка являются применение бестраншейных технологий ремонта. Бестраншейные технологии в настоящее время широко применяются в коммунальном хозяйстве с его насыщенной инфраструктурой и разветвленной сетью различного рода коммуникаций и приводят к значительной экономии времени и средств для восстановления изношенных трубопроводных сетей [1; 2; 6; 8; 9]. Суть бестраншейной технологии восстановления состоит в использовании внутреннего объема

изношенного трубопровода для прокладки новой трубы. При этом исключается рытье траншей вдоль трассы трубопровода, а ограничиваются рытьем котлованов в доступных местах на определенном расстоянии друг от друга.

В литературе для процесса восстановления трубопроводов без проведения их демонтажа употребляется общий термин – санация. Санация включает в себя различные бестраншейные методы – реновацию, напыление, релайнинг, чулочные технологии (CIPP).

В данной работе не рассматриваются технологии реновации с протаскивания полиэтиленовой трубы с разрушением старого стального трубопровода, а также технология нанесения цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность стального трубопровода с помощью торовых приводов [6]. Первая из данных технологий применима для очень стесненных условий, характерных для городских коммуникаций, а для протяженных нефтепромысловых трубопроводов применение ее не целесообразно как с экономической, так и с экологической точки зрения. Вторая технология рекомендована для восстановления трубопроводов с низким давлением или самотечных участков городской канализации и водоснабжения, а для опасных производственных объектов, транспортирующих под высоким давлением (более 1,0 МПа) горючие смеси и агрессивную минерализованную среду (подтоварную воду) – несет высокие производственные риски при длительной эксплуатации.

Релайнинг и метод CIPP также подразделяются на несколько подвидов. Проблеме выбора технологий, проведению расчетов конструкций труб, рукавов и оболочек из неметаллических материалов и соединительных деталей (фитингов) к ним, проведению расчетов их напряженно-деформированного состояния при различных диаметрах и условиях эксплуатации (температурах, давлениях, транспортируемым средам) применительно к возможности проведения санации нефтепромысловых трубопроводов посвящены ряд статей и кандидатских диссертаций [3-5; 7].

На сегодняшний день разработано и применяется много материалов, обеспечивающих противокоррозионную защиту магистральных трубопроводов и оборудования. Это полимерные ленты и обертки, полимерные липкие ленты, ленты и пленки термоусаживающиеся на основе радиационно-модифицированных термопластов, полимерно-битумные ленты, битумные и битумно-полимерные грунтовки и мастики, битумные и термореактивные полимерные материалы для изоляции стыков, колен и отводов трубопроводов и изоляции внутренней поверхности труб [10; 11].

Во всех ниже рассматриваемых случаях для восстановления используются пластиковые трубы из полиэтилена, полиуретана, гибкие полимерные трубопроводы и рукава. Общим для всех методов является предварительная очистка внутренней полости ремонтируемого трубопровода от отложений с помощью протягивания специальных устройств – поршней, снарядов.

Метод «труба в трубе»

Метод, получивший данное наименование состоит в том, что внутрь изношенного трубопровода протаскивается полиэтиленовая труба меньшего диаметра. В этом случае между внутренним диаметром стальной трубы и наружным диаметром полиэтиленовой трубы

имеется определенный зазор, поэтому полиэтиленовая труба полностью воспринимает нагрузку, вызванную внутренним давлением транспортируемой среды.

Недостатком данной технологии является существенное снижение проходного сечения трубы, что приведет к снижению ее пропускной способности. Кроме, того, в случае непредвиденной разгерметизации полиэтиленовой трубы нефтесодержащий продукт будет заполнять внутреннее пространство всего трубопровода, что затруднит обнаружение места утечки и проведение ремонтных работ, а в случае нарушения целостности стального трубопровода, место выхода утечки на поверхность может составлять сотни метров от места утечки в полиэтиленовой трубе.

Разновидностью данного метода является технология, при которой межтрубное пространство заполняется цементным раствором, а нагрузка от внутреннего давления в полиэтиленовом трубопроводе передается цементному камню и через него ремонтируемому стальному трубопроводу. Основные проблемы, связанные с данной технологией возникают на этапе заполнения межтрубного пространства цементным раствором на горизонтальных участках, а так же прочностью цементной оболочки в случае нарушения герметичности полиэтиленовой оболочки при давлениях более 1,0 МПа.

Второй разновидностью данного метода является пропуск внутрь стального трубопровода полиэтиленового трубопровода с наружным диаметром несколько больше внутреннего диаметра стального трубопровода, – так называемая технология сведжлайнинга. Полиэтиленовые трубы свариваются в плети, протяженностью до 200 метров, перед подачей в свободный конец стального трубопровода нагреваются и проходят через сжимающее устройство. Внутри стального трубопровода полиэтилен расправляется и жестко упирается во внутреннюю поверхность стенки стальной трубы. Успешные испытания данной технологии прошли на Самотлорском месторождении в 2010 году на водоводе низкого давления Ду400мм и на трубопроводах системы нефтесбора Ду150мм. В дальнейшем данная технология не применялась ввиду того, что современная система нефтепромысловых трубопроводов не предусматривает резервных ниток для возможности перевода продукции на время ремонта. Однако, в настоящее время разработаны мобильные трубопроводные системы – гибкие трубопроводы и рукава диаметром до Ду400мм, позволяющие в короткие сроки производить монтаж байпасных линий на время проведения ремонта. По окончании работ и запуска отремонтированного трубопровода в работу байпасная линия освобождается от продукта путем пропуска поролонового поршня, наматывается на барабаны и перевозится на базу для дальнейшего повторного применения.

Метод «чулка»

Суть метода состоит в том, что внутрь трубопровода протаскивается специальный подогнанный по размеру полимерный рукав склеенный или сшитый с одной стороны. Поэтому рукав напоминает по форме чулок, что дало название данному методу. Под действием давления внутри «чулка», создаваемого паром или горячей водой он расправляется и плотно прилегает к стенке трубопровода. Затем под действием температуры или ультрафиолетового излучения происходит полимеризация материала и образуется прочная оболочка.

Технология «Феникс» также относится к одному из виду «чулочных» технологий. предусматривает введение гибкого рукава, изготовленного из армированного стекловолокна или войлока, пропитанного изнутри эпоксидной смолой. В заводских условиях рукав складывается определенным образом. При введении в стальной трубопровод рукав выворачивается наизнанку под давлением воды или воздуха, прилипает клеящей стороной к внутренней поверхности стальной трубы и в дальнейшем полимеризуется при нагревании (рис. 1).



Рис. 1. Восстановление трубопровода протаскиванием «чулка» по технологии «Феникс»
[<https://linertec.ru/wp-content/uploads/2023/09/vosstanovlenie-trub-2.jpg>]

«Чулочные» технологии предъявляют большие требования к очистке внутренней поверхности стального трубопровода, строгого соблюдения технологии отверждения смол, которыми пропитывается материал «чулка» (паром, горячей водой), что трудно осуществимо в полевых условиях.

Технология «11-лайнер»

Свое наименование данная технология получила от первого применения при прокладке рукава диаметром 110 мм. Тонкостенная полимерная оболочка предварительно складывается так, что сечение принимает U-образную форму, и оборачивается защитной пленкой. Благодаря уменьшенному диаметру она легко протягивается через восстанавливаемую трубу. Во время протяжки пленка защищает оболочку от царапин. После ввода в трубопровод полимерная оболочка расширяется под воздействием давления, подаваемого внутрь, до тех пор, пока она не примет круглое сечение и не приляжет плотно к существующей трубе.

Для применения данной технологии для восстановления трубопроводов, транспортирующих продукцию нефтяных скважин предъявляются высокие требования по прочности для восприятия высокого давления (до 4,0 МПа) и герметичности для предотвращения пропуска через рукав нефтяного газа. Запас прочности должен составлять не менее 3. То есть, при кратковременных испытаниях рукав должен выдерживать внутреннее давление не менее, чем в 3 раза больше от рабочего. Поэтому, рукава выполняются в виде 3-х слойных оболочек (рис. 3). Внутренний полиэтиленовый слой препятствует проникновению газа и стоек к истиранию механическими примесями. Средний слой изготавливается из высокопрочных кевларовых нитей – пара-aramидного волокна Kevlar, разработанного компанией DuPont. Данные волокна имеют прочность в 5–10 раз, превышающую прочность стали при той же массе. Наружная полиэтиленовая оболочка выполняет защитные свойства от действия окружающей среды (проникновение влаги, повреждений при протаскивании).

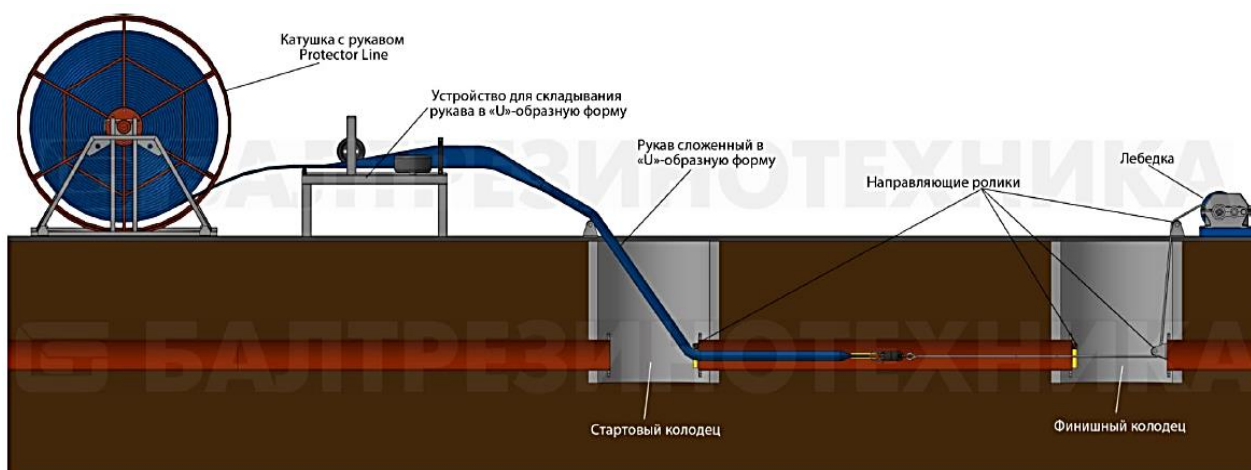


Рис. 2. Технология прокладки полимерного рукава (лайнера), предварительно сложенного в U-образную форму [https://www.baltrti.ru/assets/files/hoses/Presentation-Protector-Line.pdf, с. 14]

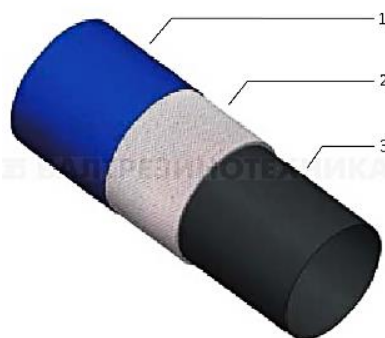


Рис. 3. Структура полимерного рукава

[https://www.baltrti.ru/assets/files/hoses/Presentation-Protector-Line.pdf, с. 8].

1 – Модифицированный износостойкий полиэтилен PE; 2 – армирующий слой из кевларовых нитей; 3 – защитная оболочка из модифицированного полиэтилена PE

Все рассмотренные бестраншейные технологии могут успешно применяться для проведения ремонта нефтепромысловых трубопроводов. Наибольший эффект от их применения следует ожидать для трубопроводов, пересекающих водные объекты, болота 1 и 2 категорий, автодороги и железнодорожные пути.

Закключение.

На зрелых месторождениях, характеризующихся падающей добычей и ограничением финансирования затрат на поддержание целостности нефтепромыслового оборудования особенно актуальным стоит вопрос о продлении срока службы существующих нефтепромысловых трубопроводов. В условиях болотистой местности Западно-Сибирского региона земляные работы, включая отсыпку подъездных путей и разработку траншей, занимают значительную долю (до 40%) от общих капитальных затрат на строительство объектов. Внедрение бестраншейных технологий, широко применяемых в настоящее время для ремонта городских сетей тепло-, водо-, и газоснабжения позволяют существенно сэкономить на подготовительных работах и продлить срок безаварийной работы нефтепромысловых трубопроводов.

Бестраншейные технологии для ремонта нефтепромысловых трубопроводов до настоящего времени не нашли широкого применения, хотя опыт их применения, в целом, можно считать успешным.

В данной работе проанализированы существующие бестраншейные технологии ремонта и определены наиболее перспективные для применения к протяженным участкам нефтепромысловых трубопроводов нефтяных месторождений Западно-Сибирского региона. Такими технологиями являются различные методы «труба в трубе» – технология свэрджлайнинга с протаскивания внутрь стального трубопровода сжатой полиэтиленовой трубы, а также метод релейнинга с протяжкой трехслойного рукава U- liner.

Литература

1. Агапчев В.И., Виноградов Д.А., Фаттахов М.М. Бестраншейные технологии восстановления и сооружения трубопроводов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005. 141 с.
2. Агапчев В.И., Пермяков Н.Г. Восстановление изношенных трубопроводов путем введения в них пластмассовых труб // Прикладная синергетика и проблемы безопасности. Сб. научн. трудов. Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2003. С. 43-47.
3. Агапчев В.И., Фаттахов М.М., Виноградов Д.А., Шамсиев Р.Ф. Развитие бестраншейных технологий при сооружении трубопроводных систем // Нефтегазовое дело. 2006. Т. 4. № 1. С. 317321.
4. Алексеев А.В. Разработка бестраншейной технологии восстановления изношенных трубопроводов установкой внутренней оболочки: Автореферат дисс. канд. техн. наук: 25.00.19. Уфа: Изд-во ИПТЭР, 2013. 24 с.
5. Алявдин Д.В. Совершенствование технологии восстановления нефтегазопромысловых трубопроводов методом протяжки полимерного лайнера: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.19. Уфа: Изд-во ИПТЭР, 2014. 152 с.
6. Вельмисов П.А., Тамарова Ю.А., Ликанин А.В. Исследование динамической устойчивости трубопровода с учётом предварительного изгиба // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2025. № 1(93). С. 13-20.
7. Давыденко О.В. Повышение эффективности и надежности бестраншейного восстановления трубопроводов с применением торковых приводов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Волгоград, 2013. 142 с.
8. Ладыгин И. В. Основные методы бестраншейной замены и ремонта трубопроводов // Строительные материалы и технологии. 2001. № 3. С. 12-15.
9. Орлов В.А. Бестраншейные технологии строительства и восстановления трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения. Вологда: Изд. Инфра-Инженерия, 2024. 228 с.
10. Поварова Л.В., Самарин М.А., Тараник Р.А. Причины коррозии нефтепромысловых трубопроводов и способы их защиты // Булатовские чтения: материалы V Международной научно-практической конференции (Краснодар, 31 марта 2021 года). Краснодар: Юг, 2021. С. 32-39.

11. Ревин П.О., Макаренко А.В, Губенков А.А. Исследование методов ремонта изоляционных покрытий магистральных нефтепроводов в полевых условиях // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 3-4. С. 50-56.

12. Фот К.С., Ткачева В.Э., Гарфутдинов И.Ф., Маркин А.Н. Эффективные дозировки ингибиторов коррозии для защиты нефтепромыслового оборудования от локальной углекислой коррозии // Нефтегазовое дело. 2024. № 5. С. 157.

13. Шаповалов В.М., Атвиновская Т.В., Дубодел В.П., Злотников И.И. Разработка битумно-полимерного композиционного материала для защиты и ремонта нефтепромысловых трубопроводов и оборудования от коррозионных и механических повреждений // Вестник Гомельского государственного технического университета. 2025. № 2. С. 33-40.

© Волкова А.Ю., Кочина Т.Б., 2026

Ефимов М.Э., Чубарова О.И.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБКОЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ

Промывка скважин после проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП) является одним из ключевых этапов восстановления и стабилизации технологического процесса добычи. На данной стадии осуществляется удаление проппанта и механических примесей из ствола скважины, что напрямую влияет на коэффициент продуктивности и дальнейшую надежность эксплуатации. В современных условиях широкое распространение получили технологии очистки с применением гибкой насосно-компрессорной трубы (ГНКТ), позволяющие выполнять работы без глушения скважины и сохранять пластовое давление. Эффективность и экономическая целесообразность таких операций подтверждены в ряде исследований [1; 3; 6].

Качество промывки в значительной степени определяется свойствами технологической жидкости. С точки зрения реологии гелеобразующие системы, применяемые при промывке скважин, относятся к неньютоновским жидкостям псевдопластического типа. Их особенностью является снижение кажущейся вязкости с ростом скорости сдвига. Данное свойство имеет принципиальное значение при циркуляции жидкости в стволе скважины, поскольку обеспечивает снижение гидравлических потерь при высоких скоростях прокачки и одновременно сохранение структурной прочности при малых скоростях движения. Для эффективного выноса проппанта важны три ключевых параметра: кажущаяся вязкость, предел текучести и способность системы к структурообразованию. При остановке циркуляции или снижении скорости потока система должна препятствовать быстрому оседанию твердых частиц. Недостаточная структурная прочность приводит к формированию песчаных пробок и необходимости повторных промывок. Избыточная вязкость, в свою очередь, увеличивает гидравлическое сопротивление и нагрузку на оборудование. Таким образом, подбор концентрации гелеобразователя представляет собой задачу поиска оптимального баланса между транспортирующей способностью жидкости и технологическими ограничениями по давлению и нагрузке на колонну ГНКТ. Для обеспечения выноса проппанта необходима система, обладающая достаточной вязкостью и структурной прочностью при различных скоростях сдвига. Традиционно в качестве гелеобразователя применяется гуаровая камедь, однако в последние годы все активнее используются синтетические полиакриламидные системы, отличающиеся быстрой гидратацией, устойчивостью в минерализованных водах и отсутствием нерастворимого остатка [5].

Практика эксплуатации показала, что при использовании синтетического гелеобразователя FX-1 в концентрации 2 кг/м³ в процессе подъема ГНКТ наблюдались затяжки веса трубы. Эмпирически установлено, что обработка поверхности лимонной кислотой устраняла данное явление, что свидетельствует об образовании адгезионной пленки на металлической поверхности. Указанное обстоятельство создало риск внеплановых

простоев и обусловило необходимость лабораторного подбора оптимальной концентрации реагента с учетом баланса между несущей способностью жидкости и вероятностью адгезионных осложнений.

В качестве эталона принят линейный гуаровый гель WGA NG-1 в концентрации $3,6 \text{ кг/м}^3$, обеспечивающий транспортировку проппанта на поверхность. Синтетический гель FX-1 исследован в концентрациях $2,0$ и $1,5 \text{ кг/м}^3$. Растворы готовились при температуре 23°C с использованием верхнеприводной мешалки (600 об/мин , 10 минут до полной гидратации). Реологические характеристики определялись на вискозиметре FANN (рис. 1) при частотах вращения ротора $3, 6, 100, 200, 300$ и 600 об/мин .



Рис. 1. Фотография примененного лабораторного оборудования [составлено автором]

Выбор диапазона скоростей вращения ротора ($3\text{--}600 \text{ об/мин}$) обусловлен необходимостью моделирования различных режимов течения жидкости в скважине. Показания при 3 и 6 об/мин характеризуют структурную прочность системы и ее способность удерживать твердые частицы во взвешенном состоянии при минимальных скоростях движения. Диапазон $100\text{--}300 \text{ об/мин}$ отражает условия умеренной циркуляции, а значение 600 об/мин соответствует режиму интенсивной прокачки.

Применение ротационного вискозиметра FANN позволяет получить сопоставимые данные в соответствии с отраслевой практикой оценки буровых и технологических жидкостей. Данный прибор широко используется при лабораторных испытаниях благодаря воспроизводимости результатов и возможности оперативного сравнения различных рецептур.

Анализ полученных данных (табл.) показывает, что при концентрации $2,0 \text{ кг/м}^3$ синтетический гель FX-1 демонстрирует реологические характеристики, сопоставимые с эталонным гуаровым гелем. Для наглядности зависимости вязкости от скорости вращения ротора результаты представлены графически (рис. 2).

Таблица 1

Реологические характеристики исследуемых гелеобразующих систем [составлено автором]

Частота вращения, об/мин	WGA NG-1 3,6 кг/м ³ , мПа·с	FX-1 1,5 кг/м ³ , мПа·с	FX-1 2,0 кг/м ³ , мПа·с
3	2	3	4
6	3	4	6
100	14	10	12
200	19	13	17
300	23	17	22
600	32	26	36

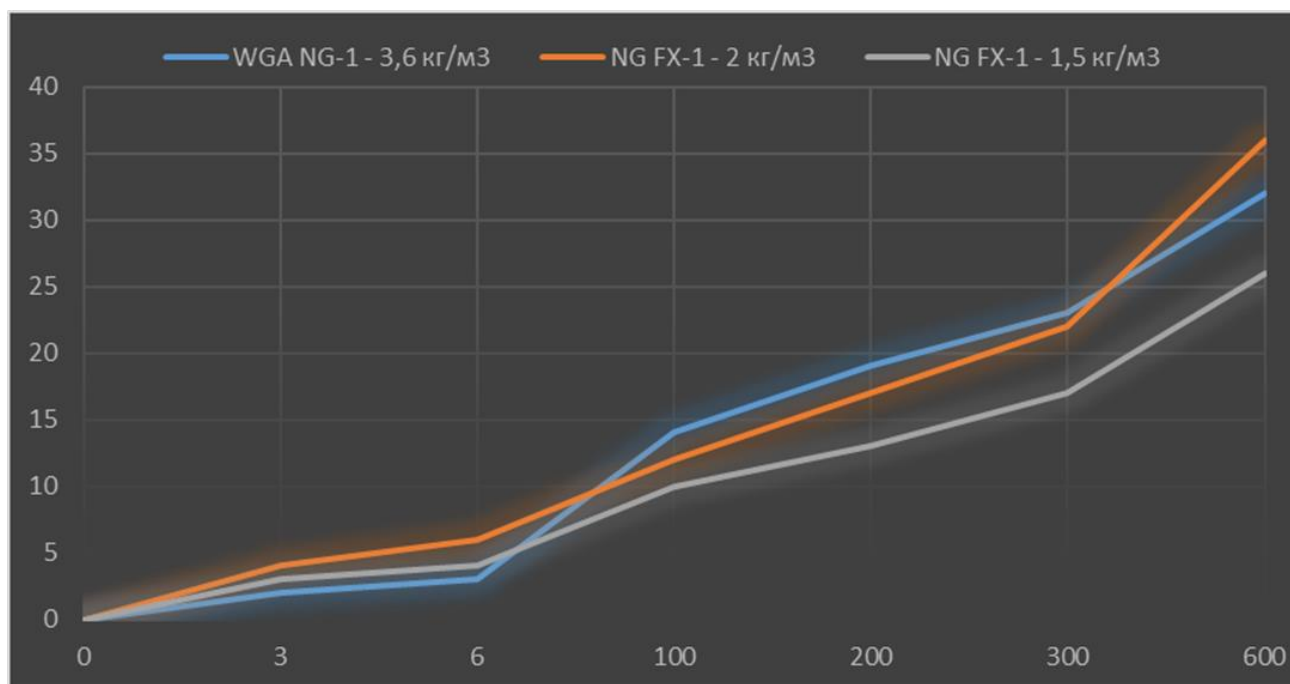


Рис. 2. Зависимость кажущейся вязкости гелеобразующих систем от скорости вращения ротора [составлено автором]

В диапазоне высоких скоростей сдвига (300–600 об/мин), соответствующих интенсивной циркуляции в стволе скважины, значения вязкости практически идентичны, а при 600 об/мин показатель FX-1 даже превышает гуаровый гель (36 против 32 мПа·с). Это свидетельствует о достаточной транспортирующей способности синтетической системы.

Следует отметить, что в области малых скоростей сдвига различия между исследуемыми системами проявляются наиболее отчетливо. Повышенные значения вязкости при 3–6 об/мин свидетельствуют о сформированной пространственной структуре полимерной сетки, обеспечивающей устойчивость суспензии проппанта. Для синтетической системы при концентрации 1,5 кг/м³ наблюдается снижение структурной прочности, что потенциально может привести к ускоренному оседанию твердых частиц при остановке циркуляции.

С молекулярной точки зрения различие в поведении гуаровой и полиакриламидной систем обусловлено механизмом структурообразования. Гуаровая камедь формирует пространственную сеть преимущественно за счет водородных связей, тогда как полиакриламидные сополимеры создают структуру посредством переплетения

макромолекулярных цепей. При повышении концентрации синтетического геля возрастает вероятность формирования более плотной адгезионной пленки на металлической поверхности, что согласуется с наблюдаемыми промысловыми осложнениями.

В области малых скоростей сдвига (3–6 об/мин), характеризующих структурную прочность и способность удерживать твердые частицы во взвешенном состоянии, FX-1 в концентрации $2,0 \text{ кг/м}^3$ также демонстрирует устойчивую структуру. Снижение концентрации до $1,5 \text{ кг/м}^3$ приводит к уменьшению вязкости, особенно при низких скоростях, что указывает на снижение степени пространственной структурированности полимерной сетки. Тем не менее при высоких скоростях различия становятся менее выраженными, что позволяет рассматривать концентрацию $1,5 \text{ кг/м}^3$ как потенциально допустимую при благоприятных гидродинамических условиях и небольшом объеме проппанта. Подобный подход согласуется с выводами исследователей, подчеркивающих решающую роль режима течения при выборе технологической жидкости [2].

При движении технологической жидкости по кольцевому пространству скважины формируется сложная картина течения, зависящая от реологических свойств системы, диаметра колонны ГНКТ и обсадной колонны, а также скорости закачки. В условиях малых скоростей течение, как правило, носит ламинарный характер, что повышает риск стратификации потока и оседания проппанта в нижней части ствола. При увеличении расхода возможен переход к турбулентному или переходному режиму, при котором усиливается перемешивание и повышается эффективность транспортировки частиц. Для псевдопластических жидкостей характерно выравнивание профиля скоростей по сечению потока по сравнению с ньютоновскими системами. Это способствует более равномерному распределению твердых частиц и снижает вероятность локального накопления проппанта. Следовательно, адекватная оценка реологических характеристик гелеобразующей системы является неотъемлемой частью обоснования технологического режима промывки.

Проблема адгезии синтетических полиакриламидных систем к металлической поверхности требует дополнительного изучения. В литературе отмечается, что остаточные эффекты полимерных систем могут приводить к образованию устойчивых пленок и осложнениям при эксплуатации оборудования [4]. Следовательно, выбор концентрации должен учитывать не только реологические параметры, но и эксплуатационные риски.

С практической точки зрения рекомендуется внедрение весового метода дозирования гелеобразователя в полевых условиях, что позволит исключить субъективное определение концентрации «на глаз» и обеспечить воспроизводимость технологических параметров. Кроме того, целесообразно проведение опытно-промысловых испытаний концентрации $1,5 \text{ кг/м}^3$ для оценки возможности снижения расхода реагента без ухудшения качества промывки.

Ограничением настоящего исследования является проведение испытаний при комнатной температуре. Для получения более точных данных необходимо проведение реометрических исследований при пластовых температурах с определением вязкоупругих характеристик (G' , G''), а также моделирование адгезии геля к стали ГНКТ в лабораторных условиях.

Внедрение результатов исследования в промышленную практику целесообразно осуществлять поэтапно. На первом этапе рекомендуется проведение опытно-промышленных испытаний с концентрацией $1,5 \text{ кг/м}^3$ в скважинах с относительно небольшим объемом проппанта и стабильными гидродинамическими условиями. При этом необходимо осуществлять непрерывный мониторинг веса ГНКТ при подъеме, фиксируя возможные отклонения от расчетных значений.

На втором этапе следует разработать регламент дозирования реагента с обязательным использованием весового метода. Стандартизация процедуры приготовления раствора позволит исключить вариации концентрации, связанные с человеческим фактором, и обеспечить воспроизводимость результатов. Дополнительно рекомендуется разработать инструкции по оперативной кислотной обработке в случае выявления признаков адгезии.

Таким образом, концентрация FX-1 $2,0 \text{ кг/м}^3$ обеспечивает требуемые реологические параметры, соответствующие гуаровому гелю, однако требует контроля адгезионных проявлений. Концентрация $1,5 \text{ кг/м}^3$ может быть рекомендована для дальнейших испытаний. Совершенствование технологии промывки скважин с применением ГНКТ должно базироваться на лабораторном обосновании параметров гелеобразующих систем и строгом контроле дозирования реагентов.

Необходимо подчеркнуть, что проведенные лабораторные испытания выполнены при температуре 23°C , тогда как реальные пластовые температуры могут существенно превышать указанные значения. Известно, что повышение температуры влияет на вязкость и степень гидратации полимерных систем. Кроме того, минерализация пластовой воды и наличие многовалентных катионов способны изменять характер межмолекулярных взаимодействий в растворе.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение испытаний при повышенных температурах с использованием реометров, позволяющих определять модули упругости и вязкости в динамическом режиме. Также представляется целесообразным создание лабораторного стенда для моделирования контакта геля с металлической поверхностью ГНКТ с целью количественной оценки адгезионных свойств.

Литература

1. Аржанников А.Е. Технологии повышения эффективности многостадийного гидравлического разрыва пласта с использованием гибкой трубы // StudNet. 2021. Т. 4, № 2. С. 7.
2. Березовский Д.А. и др. Технология проведения очистки скважин от песчаной пробки при проведении КРС на примере Конитлорского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2022. Т. 1. С. 154-158.
3. Рыбальченко Ю. М., Беляев К. В., Рыбалко Д. С. Вызов притока и освоение скважин колонной гибких труб (колтубингом) // Булатовские чтения: материалы V Международной научно-практической конференции (Краснодар, 31 марта 2021 года). Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2021. С. 382-384.

4. Савенок О.В. Использование колтюбинговых технологий для удаления гидратных пробок и растепления скважин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник): сборник трудов. Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017. Т. 2. С. 261-264.

5. Симонянц С.Л., Мартиросян Г.А. Опыт применения колтюбинга при ремонте нефтяных скважин // Булатовские чтения: материалы VII Международной научно-практической конференции (Краснодар, 31 марта 2023). Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2023. С. 373-375.

6. Таранченко Г. Д., Нигматов Л. Г. Применение технологии колтюбинга при освоении и ремонте нефтегазовых скважин // Вестник науки. 2025. Т. 2, № 12 (93). С. 1664-1671.

© Ефимов М.Э., Чубарова О.И., 2026

Землянушин М.С.

Нижневартковский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НА ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМЫ НЕФТЕГАЗОСБОРА

Утечки на нефтепромысловых трубопроводах приносят огромный ущерб нефтегазодобывающим предприятиям из-за потери в добыче: остановки добывающего фонда на время проведения ремонтных работ, затраты на восстановление загрязнённых земель в результате разливов нефти и подтоварной воды. Также в РФ с каждым годом ужесточаются штрафы за нарушение условий недропользования и нанесённый экологический ущерб. Величина штрафов кратно возрастает в случае разливов на пахотных землях и водоёмах. Это особенно актуально для условий Западной Сибири, характеризующейся болотистой местностью с разветвлённой сетью малых рек и озёр.

Ежегодные суммарные затраты крупных нефтедобывающих предприятий на восстановление трубопроводов и нарушенных земель, выплаты штрафов, предусмотренных законодательством, а также проведение реконструкции трубопроводов в результате преждевременного износа исчисляются миллиардами рублей [1, с. 368].

Наибольшее количество отказов (утечек) происходит на трубопроводах системы нефтегазосбора и трубопроводах поддержания пластового давления (ППД). Основная причина отказов – внутренняя коррозия труб в результате наличия большого количества минерализованной подтоварной воды. Согласно проведённым исследованиям, коррозия нефтепромысловых стальных труб на месторождениях Западной Сибири носит углекислотный характер вследствие наличия в подтоварной воде растворённого углекислого газа [6, с. 171], по механизму взаимодействия с окружающей средой является электрохимической, а по характеру разрушения – локальной: язвенной и ручейковой.

Нефтедобывающие предприятия предпринимают значительные усилия по нивелированию агрессивного воздействия подтоварной воды путём строительства трубопроводов из сталей повышенной коррозионной стойкости, нанесения внутреннего защитного покрытия на внутреннюю поверхность труб, закачки в трубопроводы химических реагентов – ингибиторов коррозии, уменьшающих скорость коррозии, строительства трубопроводов из неметаллических материалов.

Однако, несмотря на колоссальные усилия и большие капитальные вложения, утечки на внутрипромысловых трубопроводах снижаются очень медленными темпами.

Для обнаружения нарушения целостности (разгерметизации) трубопроводов разработано множество систем обнаружения утечек (СОУ). Однако все существующие СОУ предназначены для обнаружения утечек в жидкой однофазной среде, в основном – напорных промысловых нефтепроводах, характеризующихся низкой обводнённостью транспортируемой продукции, и магистральных нефтепроводах [2, с. 18; 3, с. 35-39].

Основная причина, по которой данные СОУ не применяются на трубопроводах системы нефтегазосбора, состоит в том, что в данных трубопроводах помимо жидкой фазы (нефти и подтоварной воды) транспортируется большое количество попутного нефтяного газа, который в силу большой сжимаемости по сравнению с жидкой фазой вносит значительную погрешность в методы анализа. Также вследствие сильно разветвлённой сети трубопроводов с многочисленными врезками, телескопического характера трубопроводов и переходов на другой диаметр создание рабочей СОУ представляется труднореализуемым и требующим больших затрат.

Поэтому актуальной является разработка параметрической СОУ, основанной на параметрах работы нефтяных скважин, продукция которых транспортируется по системе нефтегазосбора. В статье авторов [4] был представлен подробный анализ существующих СОУ, принцип их работы и количественные показатели точности определения координат и величин утечек, а также намечен механизм разработки параметрической системы для нефтесборных трубопроводов на основе статистического анализа данных давления, дебита добывающих скважин, их корреляций при отсутствии и наличии утечки.

В данной работе представлен детализированный анализ сбора и обработки информации и предложен конкретный алгоритм для реализации параметрической СОУ для трубопроводов системы нефтегазосбора.

Для контроля за работой нефтепромыслового оборудования кустовой площадки имеется интерфейс оператора производственно-диспетчерской службы (ПДС) (рис. 1). В данном интерфейсе можно вывести текущую информацию по работе наземного и подземного оборудования КП: давление в АГЗУ, устье добывающих скважин, токовые нагрузки погружных электродвигателей и их температуру. На рисунке представлена мнемосхема КП с информацией о работе каждой скважины: состоянии (работа/остановка), дате запуска после ремонта, текущих дебитах по жидкости и нефти, обводнённости добываемой продукции.

Описание	49	51	68	104p	110a	111	112	113a	114a	115a	116a	117
1186	119a	1246	125	127	1280	1296	1345	147	148	243a	244	
245	246	247	248	250	251	2516	266	453	592	5935	1003	
1004	1005	1008	1010	1011b	1011a	1012	10126	1015	1017	10176	1019	
1020	10205	1021	1022	1023	10256	1025a	1053	1054	10546	1055	1057	
1116	1119	1120	11205	1121	1700a	1703	1733	1736	17365	17386	1739	
1740	1741	1742	1743a	1744	17456	1745a	17466	1746a	17486	1748a	17506	
1750a	1759	1766	1767	1768	17696	1769a	17706	1771	1778	1780	1782	
1783	17836	1783b	17845	1784a	1785	17866	1786a	1787	1789a	1790	1795	
1797	1798	1799	1800	18016	1803	1804	1807	1808	1810	18105		
1811	1813	1815	1816	1817	1818	2172	2176	2197	2198	2227	4347	
4350												

Рис. 1. Интерфейс оператора ПДС ЦДНГ [составлено автором]

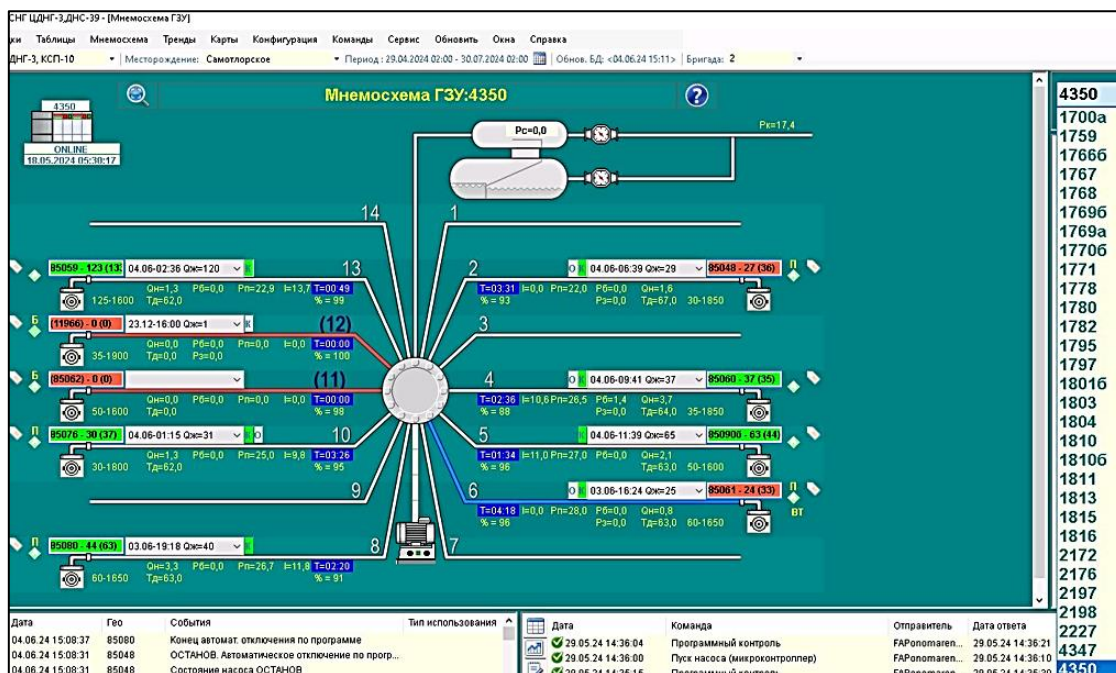


Рис. 2. Мнемосхема АЗГУ [составлено автором]

Информация об изменениях, отклонениях от установленных режимов работы выводится на ПУ оператора ПДС. Таким образом, информация о запусках и остановках нефтяного фонда (по токовой нагрузке ПЭД) фиксируется незамедлительно.

Контроль за показаниями давления в начале нефтесборного трубопровода от каждой КП производится по датчикам давления, установленным в АЗГУ. Так как необоснованное снижение давления может указывать на возможную разгерметизацию трубопровода (отказ), то для каждой КП устанавливают верхнюю и нижнюю границу допустимого давления – так называемую уставку.

Контроль за давлениями в трубопроводе осуществляют операторы ПУ ПДС цехов эксплуатации и ремонта трубопроводов (ЦЭРТ), работающих в круглосуточном режиме.

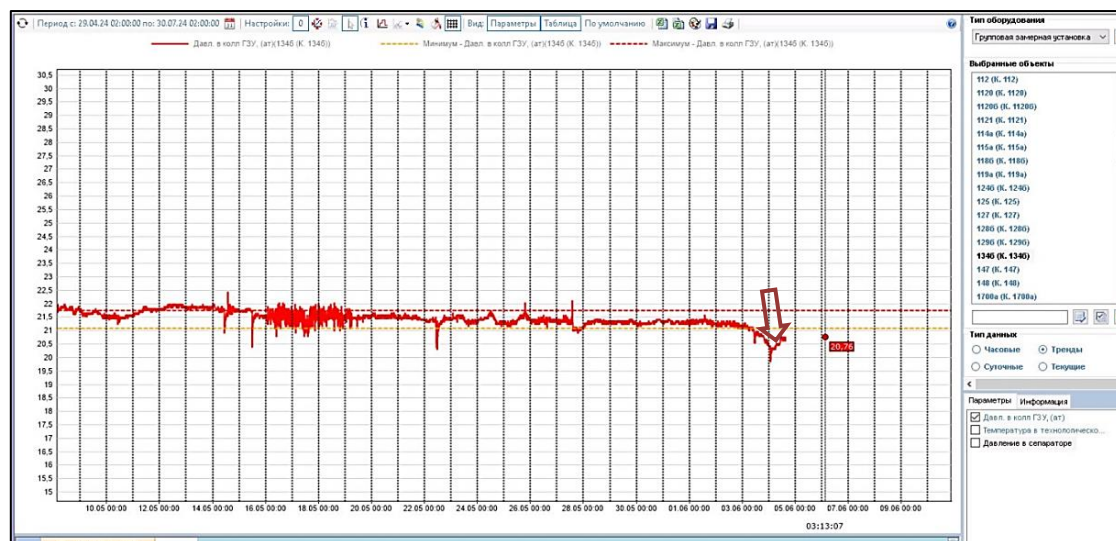


Рис. 3. Изменение давления в АЗГУ КП на входе в нефтесборный трубопровод [составлено автором]

На данном рисунке представлен реальный график давления (тренд) в АГЗУ одной из кустовых площадок Самотлорского месторождения. По горизонтальной оси указана дата и время, по вертикальной – значение показания датчика давления (в атм) в момент измерения. Замеры производятся с периодичностью 5–7 минут. Красная пунктирная горизонтальная линия – уставка по верхнему давлению, жёлтая пунктирная линия – уставка по нижнему давлению. Как видно, показания датчиков имеют разброс значений, в определённые моменты проскакивают случайные всплески в большую или меньшую сторону, которые в последующие моменты времени не подтверждаются. В некоторый момент времени (указан стрелкой) давление снизилось ниже уставки. Данное снижение может быть вызвано либо остановкой скважины, либо разгерметизацией.

Ежесуточно выходят тысячи аварийных сигналов (алармов) по снижению давления ниже уставки, отработать каждый из них не представляется возможным, поэтому приходится огрублять параметры уставок с целью снижения количества аварийных сигналов, что, в конечном счёте, существенно снижает эффективность контроля: большая часть утечек своевременно не обнаруживается.

Сущность представленного алгоритма состоит в том, что на основе регрессионного анализа данных работы скважин – давления, дебита, времени запусков и остановок добывающего фонда, а также давлений на входной гребёнке цехов подготовки и перекачки нефти (ППН) [5, с. 52-62] – устанавливается плавающее значение нижней уставки. В дальнейшем система сама анализирует тренды давления, сопоставляя значения, выходящие за пределы уставки, с наличием остановок фонда в предшествующий промежуток времени и давлением на входной гребёнке ППН.

Блок-схема реализации алгоритма параметрической СОУ представлена на рисунке 4.

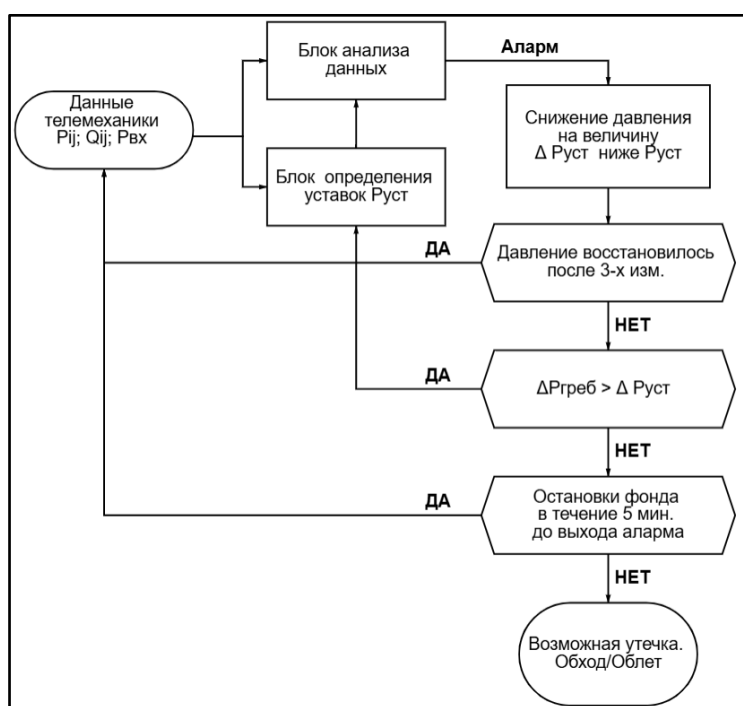


Рис. 4. Блок-схема работы алгоритма определения утечки в трубопроводе системы нефтегазосбора [составлено автором]

Этот алгоритм позволяет постоянно контролировать ситуацию и реагировать на малейшие признаки возможной утечки, снижая риск серьёзных аварий.

Система разработана в среде PyScripter (Python 3) с использованием библиотек:

- Pandas – для обработки и анализа структурированных данных;
- NumPy – для выполнения математических операций и работы с массивами;
- Matplotlib – для визуализации данных и построения графиков.

Эти инструменты обеспечивают высокую производительность при работе с большими объёмами данных в реальном времени.

Автоматический мониторинг уменьшает необходимость ручного контроля, снижает риск ошибок и позволяет перераспределить ресурсы на решение других задач. За счёт интеграции с системами управления создаётся единая система контроля и автоматизируется процесс принятия решений при авариях. Кроме того, параметрическую СОУ легко адаптировать к разным технологическим условиям, модернизировать и расширять, что гарантирует её актуальность и пользу в будущем.

Параметрическая система обнаружения утечек – это современный инструмент, который повышает надёжность и безопасность эксплуатации трубопроводов в нефтегазовой отрасли. Внедрение этой системы помогает снизить риски аварий, уменьшить экологические последствия и сократить расходы. Ликвидация последствий экологической катастрофы в Республике Коми [<https://clck.ru/3Savw4>].

Литература

1. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г., Юфин В.А., Яковлев Е.И. Трубопроводный транспорт нефти и газа. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988. 368 с.
2. Антонов О.В., Райкова Е.Ф. Активный метод обнаружения утечек для межпромысловых трубопроводов на основе эффекта гидродинамического зеркала // Научный диалог. 2024. № 3. С. 18.
3. Банькова К.Ю., Никитина А.В., Ем Ю.М. Обзор способов мониторинга трубопроводов и обнаружения утечек нефти // Научный альманах. 2021. № 4-2. С. 35-39.
4. Землянушин М.С., Парипский А.В. Определение утечек в трубопроводах системы нефтегазосбора по параметрам работы нефтепромыслового оборудования // XXVIII всероссийская студенческая научно-практическая конференция нижневартовского государственного университета (Нижневартовск, 09–10 апреля 2025 года). Ч. 1. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2025. С. 372-377.
5. Сыпэн Ж., Мамонова Т. Е. Модельный эксперимент параметров трубопровода с утечками в среде COMSOL MULTIPHYSICS // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 1. С. 52-62.
6. Ткачева В.Э., Бриков А.В., Лунин Д.А., Маркин А.Н. Локальная CO₂-коррозия нефтепромыслового оборудования. Уфа: БашНИПИнефть, 2021. 171 с.

Исаньюлова У.Е., Савельева Н.Н.

филиал Тюменского индустриального университета
г. Нижневартовск, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В нефтегазодобывающей отрасли добыча нефти ведется с помощью механизированных добывающих скважин. В процессе добычи на поверхность поднимается сложная многофазная система, состоящая из нефти, пластовой воды, попутного газа и механических примесей (частицы горной породы), а также продукты строительства скважин – раздробленный цемент, цельный проппант или разрушенные частицы проппанта (после ГРП).

В зависимости от размера месторождений и содержания в их залежах пластовой продукции, а также стадии разработки, на которой находятся месторождения, зависят объёмы поднимаемых: нефти, пластовой воды и газа. Система сбора и подготовки является сложным комплексом взаимосвязанных технологических процессов, состоящий из совокупности сложнопостроенных трубопроводов различного назначения, блоков оборудования и аппаратов, оснащённых автоматизированными средствами.

Из-за особенностей каждого месторождения (топография местности, климатическая обстановка, размер, форма, схема расположения скважин, технологии добычи пластовой продукции и ее физико-химические свойства, а также ее добываемые объёмы) типовая система сбора и подготовки скважиной продукции отсутствует. Особую сложность добавляет, что большинство месторождений Западной Сибири находятся на четвертой стадии разработки и входят в разряд трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Для месторождений Западной Сибири свойственны схожие параметры, по которым формируются системы сбора и подготовки пластовой продукции, такие как: применение кустового бурения из-за болотистой местности; длинная и сложная система трубопроводов, изношенных на 48–82%; объединение всех элементов системы подготовки на унифицированных полигонах; интенсивный рост добычи нефти на начальных этапах разработки месторождений и её быстрая обводнённость.

В трубопроводах месторождений Западной Сибири образуется разрушительная коррозия, образуются локальные (местные) коррозионные участки на внутренних частях труб [3; 7]. Происходит этого из-за того, что обычно нефти лёгкие, маловязкие и неустойчивые, вследствие чего пластовая вода легко отделяется от эмульсии и перемещается в свободном виде. Пластовая вода характерна маломинерализованным составом и имеет слабокислотную среду, pH которой равен 6,2–6,8 [1]. Как результат, в настоящее время актуальной проблемой является стремление к замене стальных труб на неметаллические трубы [6], так как стальные изделия подвержены коррозионным процессам. В результате коррозии образуются трещины, отверстия, через которые происходят утечки транспортируемой жидкости. Коррозия может быть локальной [2; 4], сплошной и межкристаллической. Безвозвратные потери и утечки, возникающие в результате разрушений металла, наносят вред окружающей среде. Также потери перекачиваемой жидкости возникают за счет утечек в корродирующих муфтовых соединениях. При движении грунтов возможно возникновение изгиб и смятие труб. Большой

проблемой является нежелательные изменения геометрии резьбовых соединений при низких температурах в условиях Крайнего Севера. При промерзаниях трубопроводов с большим количеством воды возможен разрыв трубы из-за увеличения воды при замерзании в объеме, что влечет установку трубопровода. Множество негативных явлений при применении металлических труб в системах сбора и подготовки на месторождениях натолкнуло на мысль, что возможно поменять материал труб для устранения вышеперечисленных недостатков.

Одним из направлений борьбы с нежелательными авариями и утечками является замена металлических труб на неметаллическими. Неметаллические трубы могут быть композиционными, пластмассовыми, резиновыми и др. Широкое распространение получили композиционные трубы. Первые попытки применения неметаллических труб были в середине прошлого века. По причине отсутствия коррозионных процессов уже через пару десятка лет композиционные трубы получили широкое распространение. Многие компании в России и зарубежом приступили к их изготовлению. Важным фактором спешности композиционных трубопроводов из нетрадиционного материала – это предотвращение фактора коррозии.

Для изучения видов и свойств различных неметаллических труб сравним их технические характеристики. В таблице приведем список компании различных стран, занимающиеся изготовлением труб из композиционных материалов.

Таблица

Список компаний, изготавливающих неметаллические трубы (составлена автором)

Производитель	Страна	Ассортимент	Давление, МПа	Температура, °С
ЗСТ	Россия	Диаметр 50–200 мм, армирование стекловолокном	До 27,6	До 110
ООО «Татнефть – Пресскомпозит»	Россия	Диаметр 50–600 мм, армирование стекловолокном	До 28	До 100
ARMGLASS	Россия	Диаметр 200–2600 мм, стекловолокно армирование	До 25	До 100
«ООО» ТрубопроводСпецСтрой	Россия	Диаметр от 50–830 мм, армирование стекловолокном	До 6,3	До 120
FIBERGLASS SYSTEMS	США	Диаметр 50–254 мм, армирование высокопрочными стекловолокнонными нитями	До 17,2	До 82,2
FlexSteel	США	Диаметр 50–200 мм, армирование сталью	До 3,5	До 65
Soluforce	Нидерланды	Диаметр 101–152 мм, армирование нитями	До 46	До 105
CNPS	Китай	Диаметр 43,5–1638 мм. армирование стекловолокном	До 34,5	До 93

ЗСТ – ведущий поставщик стеклопластиковых труб. Производство находится в России и Казахстане. Год основания предприятия – 2001. Последнее время стеклопластиковые трубы применяются для транспортировки скважинной продукции по промышленным трубопроводам,

показывают неплохую прочность, износостойкость и устойчивость к коррозии. Трубы производства ЗСТ получили сертификат качества Американского нефтяного института (АНИ), поэтому могут поставляться во все страны мира. Также компания ЗСТ может выпускать стеклопластиковые трубы нестандартных типоразмеров по индивидуальному запросу заказчика, по американским и европейским стандартам.

Также можно отметить, что стандарты американского нефтяного института существенно отличаются от российских стандартов, так называемых ГОСТов. Предприятию ЗСТ для соответствия выпускаемой продукции американским стандартам пришлось провести перевооружение производства: закупить новое оборудование, установки для технологического процесса изготовления стеклопластиковых труб, переобучить технический персонал и рабочих на новые технологические операции.



Рис. Стеклопластиковые трубы. ООО НПП «ЗСТ». Казань (clck.ru/3Sg7Tf)

ООО «Татнефть – Пресскомполит», производитель Россия. Российское производство неметаллических труб выпускает различные виды труб с 2016 года. На производстве стоят трубы разного сортамента, типоразмера, для разных отраслей промышленности и разных видов перекачиваемых жидкостей. Здесь также выпускаются насосно-компрессорные трубы из неметаллических материалов, что также является актуальным для добычи нефти.

ARMGLASS, производитель Россия. Выпуск неметаллических труб ведется на предприятии с 2010 года. Производятся множество изделий разной формы и профилей. В этом уникальность производства. Для трубопроводного транспорта выпускают трубы высокопрочные для трубопроводов высокого давления, большую длину труб. Все эти преимущества делает востребованной уникальную продукцию завода.

ООО «ТрубопроводСпецСтрой», производитель Россия. Компания основана в 2006 году в результате слияния двух предприятий: ООО «Пласт» и ЗАО «Научно-производственное предприятие Композит нефть». Отличительной особенностью компании является изготовление абразивостойких керамических и резиновых, футерованных стеклопластиковых трубопроводов. Также, для сборки трубопровода компания предоставляет на выбор фланцевый, раструбно-ниппельный и муфтовый тип стыка [5].

FIBERGLASS SYSTEMS, производитель США. Начало деятельности компании – 1948 год. Производитель предоставляет линейную трубу, состоящую из внутреннего термопластичного слоя, армируемого высокопрочным стекло – волокном. Фиберглассовые трубы давно известны в нашей стране. Они применялись для скважин, в которых нужно обеспечить не прямолинейный боковой ствол. То есть это специализированные трубы для специальных скважин со специфичными требованиями к конструкции скважины.

FlexSteel, производитель США. Компания основана в 2005 году. Основная особенность труб этого производителя состоит в технологии изготовления (намотки) труб, которая разработана специально для эксплуатации в морских условиях. Основные отличия от других производителей: отсутствие деградации, повышенная стойкость к воздействующим циклическим нагрузкам. Такие особенности позволяют обеспечить высокую безопасность трубопровода и обеспечить долгий безаварийный срок службы.

SoluForce, производитель Нидерланды. Компания начала свою деятельность в 1998 году, и на данный момент специализируется на изготовлении гибких труб имеющих уникальную структуру в виде связующего алюминиевого слоя, предназначенная для транспортировки газа. Такая технология обеспечивает очень высокий запас по давлению – до 46 МПа. В статье мы подробно рассмотрели производителей неметаллических труб и может отметить следующие значимые моменты:

1. Максимальное рабочее давление у российских трубопроводов 27,6 МПа, у зарубежного производителя оно составляет 46 МПа. В последнее время при капитальных ремонтах трубопроводов проводят замену металлических труб на композитные, что сразу исключает возможность возникновения коррозии, таким образом увеличивается межремонтный период и срок службы трубопровода [5].

2. Преимуществом российских труб является более высокий порог температур при котором трубы сохраняют работоспособность. Российские трубы выдерживают до 120° С, Иностранные трубы все лишь способны нормально функционировать до 105° С. Разница в 15°С является существенным преимуществом для перекачивания скважинной продукции около скважины, так как продукция скважин может выходить с устья с высокой температурой, особенно если глубина скважины небольшая 200–500 метров и мы добываем нефть в жаркой стране или регионе летом, где атмосфера может нагреваться до 50° С.

3. Российские компании отличаются большим диапазоном диаметров труб по сравнению с иностранными трубами: российские от 50 до 2600 мм, иностранные от 43,5 до 1638 мм.

Таким образом можно отметить, что в России производят качественные, отвечающие требованиям стандарта и производителей трубы. Также в нашей стране применяют трубы из Китая, как наиболее доступные территориально и по цене. Неметаллические трубы производят многие страны [7], но большинство из них не поставляют их в Россию. Поэтому для импортозамещения и достижения полной независимости от зарубежных производителей нужно развивать и расширять производство неметаллических труб в России в результате объявленных санкций. Также необходимо отметить в связи с большим количеством санкций недружественных государств России приходится быстро проводить импортозамещение и

стремиться всю продукцию необходимую для нефтегазового и других комплексов производить на территории своей страны. Все это будет способствовать независимости от других стран, технологическому лидерству, созданию высокотехнологичных производств и увеличения собираемости налогов.

Литература

1. Абдрахманова К.Н., Дягилев И.А., Абдрахманов Н.Х., Шайбаков Р.А. Проблемы защиты от коррозии при эксплуатации трубопроводных систем и оборудования нефтегазовой отрасли // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 3. С. 39-46.
2. Блохин В.А., Гафнер В.А., Доросинский А.Ю. [и др.]. Патент № 2791271 С1 Российская Федерация, МПК G01N 17/00. Способ индикации уровня локальной коррозии в трубопроводах систем сбора нефти и устройство для его осуществления: № 2022112704: заявл. 11.07.2022; опубл. 07.03.2023; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «Сонар».
3. Валекжанин И.В., Ахметов Э.А., Русанов А.Б. [и др.] Граничные условия эксплуатации марганцовистых трубных сталей в условиях углекислотной коррозии при наличии механических примесей // Нефтегазовое дело. 2023. № 1. С. 209-248. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2023-1-209-248>
4. Гладких Т.Д., Маркин А.Н. Оценка локальной коррозии по данным, получаемым с датчиков электрического сопротивления // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29, № 1. С. 20-26. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-2>
5. Мухаметзянов З.Р., Урманшина Н.Э., Фаюршин Р.А. Разработка метода капитального ремонта магистральных трубопроводов с применением композитных материалов // Вестник НИЦ Строительство. 2022. № 1(32). С. 141-153. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-141-153](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-141-153)
6. Чебанец Ю.А. Использование полимерно-армированного трубопровода в качестве замены проектного промыслового трубопровода // Нефтегазовый терминал: материалы Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья» (Тюмень, 25–26 апреля 2019 года). Т. 1. Вып. 17. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 329-333.
7. Saveleva N.N., Salyakhova A.R., Koretskiy K.E., Koretskiy P.E. Application of PCIU for protection of emergency pipelines against corrosion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Tyumen, 24–25 августа 2020 года). Tyumen, 2020. P. 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/952/1/012030>

© Исаньюлова У.Е., Савельева Н.Н., 2026

Курбанов А.Е.

Нижневартровский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЖИРОВОК ДЛЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПАНИЙ

Нефтегазовая отрасль России является стратегически важным сектором экономики, обеспечивающим энергетическую безопасность страны и значительную долю бюджетных поступлений. Эффективное функционирование данной отрасли напрямую зависит от профессиональных компетенций специалистов, работающих на предприятиях нефтегазового комплекса. Особую значимость приобретает вопрос подготовки молодых специалистов, которые должны не только обладать теоретическими знаниями, полученными в высших учебных заведениях, но и иметь практические навыки, позволяющие им эффективно выполнять свои должностные обязанности. В связи с этим, стажировки и производственные практики становятся ключевым элементом подготовки кадров для нефтегазовой отрасли.

Однако, как показывает анализ существующей системы стажировок, в данной сфере наблюдается ряд проблем, снижающих эффективность подготовки молодых специалистов. Среди этих проблем особенно выделяется формальный подход к организации стажировок, который выражается в отвлечении молодых специалистов на различные мероприятия (конференции, форумы), не связанные непосредственно с производственным процессом, а также преобладание «кабинетных» стажировок, не дающих реального представления о производственных процессах и технологиях, применяемых на предприятиях нефтегазового комплекса.

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения эффективности системы подготовки молодых специалистов для нефтегазовой отрасли через совершенствование программ стажировок и производственных практик. Решение данной проблемы позволит не только повысить качество кадрового потенциала отрасли, но и обеспечить более быструю и эффективную адаптацию молодых специалистов к реальным условиям производства.

Целью данного исследования является разработка предложений по повышению эффективности стажировок для молодых специалистов нефтегазовых компаний на основе анализа существующих проблем и лучших практик в данной области.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить ключевые проблемы, снижающие эффективность системы стажировок в нефтегазовых компаниях, на основе анализа мнений молодых специалистов и руководителей.
2. Разработать комплекс практических мер по совершенствованию системы стажировок, направленных на устранение выявленных проблем.

В современных условиях развития нефтегазовой отрасли особое внимание уделяется вопросам подготовки квалифицированных кадров, способных эффективно работать в условиях технологических изменений и инноваций. Согласно исследованиям Еремина И.Ю., Абдулкадырова А.С. и Эйрих Г.О., «в нефтегазовой отрасли наблюдается тенденция к

развитию инновационных форм занятости, что требует от молодых специалистов не только теоретических знаний, но и практических навыков работы с новейшими технологиями и оборудованием» [5, с. 56].

Однако, как отмечает Ермилов М.Ю., «в настоящее время в нефтегазовой отрасли наблюдается дефицит квалифицированных кадров, обладающих необходимыми компетенциями для работы в современных условиях» [6, с. 1014]. Это связано, в том числе, с недостаточной эффективностью системы подготовки молодых специалистов, включая программы стажировок и производственных практик.

Одной из ключевых проблем является формальный подход к организации стажировок, когда молодые специалисты не получают реального производственного опыта, а выполняют вспомогательные функции или привлекаются к участию в различных мероприятиях, не связанных непосредственно с производственным процессом. Как отмечают Айкашева К.В. и Кудлаева А.Р., «многие предприятия нефтегазового сектора сталкиваются с проблемой низкой эффективности программ адаптации молодых специалистов, что связано с отсутствием системного подхода к организации стажировок и производственных практик» [3, с. 40].

Другой проблемой является преобладание «кабинетных» стажировок, когда молодые специалисты не имеют возможности ознакомиться с реальными производственными процессами и технологиями, применяемыми на предприятиях нефтегазового комплекса. Это приводит к тому, что выпускники вузов, приходя на работу в нефтегазовые компании, не обладают необходимыми практическими навыками и нуждаются в дополнительном обучении и адаптации.

Для решения указанных проблем необходимо разработать комплекс мер по повышению эффективности стажировок для молодых специалистов нефтегазовых компаний. В качестве одного из ключевых предложений можно рассмотреть введение обязательной полевой практики продолжительностью в один год, которая позволит молодым специалистам овладеть базовым комплексом знаний по работе Цеха по добыче нефти и газа при различных климатических условиях.

Для оценки эффективности существующей системы стажировок в нефтегазовых компаниях в январе-феврале 2025 года автором было проведено социологическое исследование. В онлайн-опросе приняли участие 120 молодых специалистов (в возрасте 22-28 лет), прошедших стажировку или производственную практику в одной из крупнейших нефтегазовых компаний России в течение последних двух лет, а также 50 руководителей кадровых служб и наставников (сотрудников с опытом работы в отрасли от 5 лет) из 15 нефтегазовых предприятий. Результаты опроса представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Оценка эффективности системы стажировок молодыми специалистами нефтегазовой компании (по результатам авторского исследования, 2025 г., n=120)
[составлено автором на основе проведенного исследования]**

Критерий оценки	Высокая эффективность, %	Средняя эффективность, %	Низкая эффективность, %
Получение практических навыков работы	28	42	30
Знакомство с производственным процессом	35	40	25
Возможность применить теоретические знания на практике	30	45	25
Адаптация к корпоративной культуре компании	60	30	10
Общая оценка эффективности стажировки	38	42	20

Как видно из таблицы 1, общая оценка эффективности стажировок молодыми специалистами находится на среднем уровне. Наиболее высоко оценивается возможность адаптации к корпоративной культуре компании, в то время как получение практических навыков работы оценивается значительно ниже. Это подтверждает наличие проблемы формального подхода к организации стажировок, когда молодые специалисты не получают достаточного практического опыта.

Для более глубокого анализа проблем, связанных с организацией стажировок в нефтегазовых компаниях, был проведен опрос руководителей кадровых служб и наставников молодых специалистов. Результаты этого опроса представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Основные проблемы организации стажировок по мнению руководителей кадровых служб и наставников (по результатам авторского исследования, 2025 г., n=50)
[составлено автором на основе проведенного исследования]**

Проблема	Доля респондентов, указавших данную проблему, %
Отсутствие системного подхода к организации стажировок	65
Недостаточная продолжительность стажировок	70
Формальный подход к стажировкам	75
Отвлечение молодых специалистов на мероприятия, не связанные с производством	60
Преобладание «кабинетных» стажировок	80
Отсутствие четких критериев оценки результатов стажировок	55
Недостаточная мотивация наставников	50

Результаты исследования, представленные в таблице 2, показывают, что наиболее серьезными проблемами организации стажировок, по мнению руководителей кадровых служб и наставников, являются преобладание «кабинетных» стажировок (80% респондентов), формальный подход к стажировкам (75% респондентов) и недостаточная продолжительность стажировок (70% респондентов).

Опыт ведущих нефтегазовых компаний мира показывает, что для повышения эффективности подготовки молодых специалистов необходимо внедрение системного подхода к организации стажировок, включающего обязательную полевую практику и четкую систему оценки результатов. Как отмечает Гаврикова Н.В., «эффективное взаимодействие между предприятиями и образовательными учреждениями в подготовке кадров для нефтегазового комплекса является ключевым фактором повышения качества подготовки специалистов» [2, с. 13].

Интересен опыт подготовки кадров для совместных проектов России и Китая в Арктике. Как указывают Гайфиев А.Ш. и Афанасьев С.Н., «особое внимание уделяется практической подготовке молодых специалистов, которые должны обладать не только теоретическими знаниями, но и практическими навыками работы в экстремальных климатических условиях» [5, с. 209]. Этот опыт может быть использован при разработке программ стажировок для молодых специалистов нефтегазовых компаний, работающих в различных регионах России.

Важным аспектом повышения эффективности стажировок является внедрение системы оценки результатов и формирования индивидуальных планов развития молодых специалистов. Как отмечают Султанов Р.Ш. и Ишмухаметова А.Ф., «ключевым элементом эффективной подготовки управленческих кадров в нефтегазовых вузах является сочетание теоретической подготовки и практического опыта, получаемого в ходе стажировок на предприятиях отрасли» [7, с. 25].

На основе проведенного анализа и изучения лучших практик организации стажировок в нефтегазовой отрасли можно предложить следующие меры по повышению эффективности подготовки молодых специалистов:

1. Введение обязательной полевой практики продолжительностью в один год для овладения базовым комплексом знаний по работе Цеха по добыче нефти и газа при различных климатических условиях.
2. Разработка и внедрение обязательного табеля навыков, которыми должен овладеть практикант в ходе стажировки. Это позволит обеспечить системный подход к формированию необходимых компетенций и создаст основу для объективной оценки результатов стажировки.
3. Установление правила, согласно которому в течение года молодой специалист не должен быть оторван от непосредственной работы в «поле» (за исключением работы на ПДС, но не более чем на месяц). Это позволит избежать формального подхода к организации стажировок и обеспечит получение реального производственного опыта.
4. Разработка системы мотивации наставников, участвующих в подготовке молодых специалистов. Это может включать как материальное стимулирование, так и учет наставнической деятельности при принятии решений о карьерном продвижении.
5. Внедрение системы оценки эффективности стажировок, основанной на четких критериях и показателях, позволяющих объективно оценить уровень подготовки молодого специалиста и определить дальнейшие направления его развития.

Ключевым элементом предлагаемой системы является введение обязательной полевой практики продолжительностью в один год для молодых специалистов нефтегазовых

компаний. Полевая практика должна проводиться непосредственно на производственных объектах (месторождениях, установках подготовки нефти и газа, перерабатывающих заводах и т. д.) и обеспечивать освоение базового комплекса знаний и навыков по работе в реальных производственных условиях.

Особое внимание должно уделяться работе в Цехах по добыче нефти и газа, где молодые специалисты смогут ознакомиться со всеми этапами технологического процесса добычи, подготовки и транспортировки углеводородов. Важным аспектом полевой практики является возможность работы при различных климатических условиях, что особенно актуально для месторождений, расположенных в регионах с экстремальным климатом.

Как отмечает Гаврикова Н.В., «опыт работы в полевых условиях позволяет молодым специалистам не только освоить технические аспекты производственного процесса, но и развить такие качества, как ответственность, самостоятельность, умение работать в команде и принимать решения в сложных ситуациях» [2, с. 14].

Введение обязательной полевой практики позволит решить проблему преобладания «кабинетных» стажировок и обеспечить формирование практических навыков работы с оборудованием и технологиями.

Для обеспечения системного подхода к формированию профессиональных компетенций молодых специалистов предлагается разработать и внедрить обязательный табель навыков, которыми должен овладеть практикант в ходе стажировки. Табель навыков должен включать перечень конкретных компетенций и навыков, соответствующих специфике работы в нефтегазовой отрасли, и служить основой для разработки индивидуальных планов развития молодых специалистов [4, с. 1014].

Для каждого навыка должны быть определены критерии оценки и методы проверки уровня освоения. Как указывают Султанов Р.Ш. и Ишмухаметова А.Ф., «четкое определение требуемых компетенций и критериев их оценки позволяет создать прозрачную систему подготовки и развития молодых специалистов, ориентированную на конкретные результаты» [7, с. 27].

Внедрение табеля навыков позволит решить проблему отсутствия четких критериев оценки результатов стажировок и обеспечить формирование комплекса профессиональных компетенций, необходимых для успешной работы в нефтегазовой отрасли.

Для обеспечения эффективности полевой практики предлагается установить правило, согласно которому в течение года молодой специалист не должен быть оторван от непосредственной работы в «поле» (за исключением работы на ПДС, но не более чем на месяц). Это позволит избежать формального подхода к организации стажировок и обеспечит получение реального производственного опыта.

Как отмечает Ермилов М.Ю., «непрерывность полевой практики является ключевым фактором формирования устойчивых профессиональных навыков и адаптации к условиям работы в нефтегазовой отрасли» [6, с. 1016]. Особенно важно обеспечить возможность работы при различных климатических условиях, что позволит молодым специалистам освоить специфику производственных процессов в разные сезоны.

Важным элементом повышения эффективности стажировок является разработка системы мотивации наставников, участвующих в подготовке молодых специалистов. Данная система должна включать как материальные, так и нематериальные стимулы, обеспечивающие заинтересованность наставников в качественной подготовке молодых специалистов [1, с. 39].

Как отмечают Еремина И.Ю., Абдулкадыров А.С. и Эйрих Г.О., «эффективная система мотивации наставников должна обеспечивать баланс между материальными и нематериальными стимулами, учитывая индивидуальные потребности и мотивы наставников» [5, с. 58]. Внедрение такой системы позволит повысить качество наставнической деятельности и обеспечить более эффективную передачу профессиональных знаний и опыта молодым специалистам.

Проведенное исследование позволило достичь поставленной цели – на основе анализа проблем и лучших практик разработать предложения по повышению эффективности стажировок для молодых специалистов нефтегазовых компаний.

Эмпирическое исследование подтвердило наличие системных проблем, среди которых ключевыми являются формальный и «кабинетный» характер многих стажировок, их недостаточная продолжительность и отсутствие четких критериев оценки результатов.

В качестве основного механизма решения этих проблем предлагается внедрение обязательной годичной полевой практики, подкрепленной табелем базовых навыков, правилом непрерывности работы на производстве и системой мотивации наставников. Данный комплекс мер направлен на переход от теоретического ознакомления к формированию устойчивых практических компетенций, необходимых для работы в реальных производственных условиях, в том числе в различных климатических зонах.

Достигнутым результатом исследования является конкретный набор рекомендаций, готовый к апробации в рамках пилотных проектов на предприятиях отрасли. Практическое применение разработанных предложений позволит нефтегазовым компаниям повысить качество адаптации и подготовки молодых кадров, сократить период их вхождения в полноценную производственную деятельность и, как следствие, укрепить кадровый потенциал для решения стратегических задач отрасли. Реализация данных мер будет способствовать повышению конкурентоспособности российских нефтегазовых компаний на мировом рынке.

Литература

1. Айкашева К.В., Кудлаева А.Р. Способы привлечения молодежи на предприятие нефтегазового сектора // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: материалы XIV Международной научно-практической конференции (Уфа 20 октября 2022 года). Уфа, 2022. С. 39-44.
2. Гаврикова Н.В. Особенности взаимодействия между предприятиями и образовательными учреждениями в подготовке кадров для нефтегазового комплекса // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XX Всероссийской конференции-

конкурса студентов выпускного курса и аспирантов (Санкт-Петербург, 02-06 декабря 2024). Санкт-Петербург, 2025. С. 12-14.

3. Гайфиев А.Ш., Афанасьев С.Н. Подготовка молодых кадров для совместных проектов РФ и КНР в Арктике на примере Ямал СПГ // Гуманитарный форум в Политехническом: Материалы IV Всероссийской молодежной научно-практической конференции. В 4-х томах (Санкт-Петербург, 10–12 апреля 2025 года). Санкт-Петербург, 2025. С. 206-212.

4. Еремина И.Ю., Абдулкадыров А.С., Эйрих Г.О. Развитие инновационных форм занятости в нефтегазовых компаниях // Индустриальная экономика. 2022. № 1-1. С. 54-59.

5. Ермилов М.Ю. Проблема дефицита кадров нефтегазовой отрасли // Нефть и газ – 2025: Тезисы докладов 79-ой Международной молодежной научной конференции (Москва, 21–25 апреля 2025 года). М., 2025. С. 1014-1015.

6. Султанов Р.Ш., Ишмухаметова А.Ф. Анализ специфики подготовки управленческих кадров в нефтегазовых вузах России // Управление образованием: теория и практика. 2024. № 2-2. С. 21-29.

7. Шамордин Р.О. Значение подготовки юридических кадров в развитии недропользования в Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2024. № 3 (188). С. 26-29.

© Курбанов А.Е., 2026

Кучукбаева А.Р., Еременко К.Ю.
Югорский государственный университет
г. Ханты-Мансийск, Россия

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ

ХМАО-Югра является ключевым нефтегазоносным регионом, обеспечивающим энергетическую безопасность Российской Федерации. Многолетняя и интенсивная эксплуатация месторождений, сопряженная с развитой инфраструктурой добычи, транспортировки и переработки углеводородов, сформировала на территории округа беспрецедентную техногенную нагрузку. В этих условиях приобретает характер императива, требующего глубокого научного осмысления. Настоящее исследование посвящено анализу и минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса Югры, поскольку именно аварии представляют собой наиболее катастрофический сценарий воздействия на хрупкие экосистемы Севера, последствия которого имеют пролонгированный и трудно выполнимый характер.

На территории округа реализуется комплекс мер, направленных на обеспечение экологической безопасности и минимизацию рисков возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса. Данные меры включают совершенствование регионального законодательства, внедрение природосберегающих технологий, организацию системы мониторинга окружающей среды и развитие общественного экологического контроля. Несмотря на предпринимаемые усилия, эксплуатация нефтегазовых месторождений ХМАО-Югре сопряжена с рядом негативных факторов техногенного воздействия. К числу значимых проблем относится:

1. Загрязнение природной среды, выражающееся в поступлении нефтепродуктов, буровых отходов и технологических растворов в компоненты окружающей среды (почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух).

2. Деградация почвенного покрова, обусловленная нефтяным загрязнением при аварийных разливах утечках. Это приводит к угнетению и гибели растительности, снижению биологической продуктивности и плодородия земель, а также к нарушению процессов почвообразования.

3. Аварийность на трубопроводном транспорте. Основной причиной инцидентов является коррозионный износ металла, что влечет за собой разгерметизацию нефтепроводов. Последствиями аварий становится загрязнение атмосферы (вследствие испарения легких фракций), нефтенасыщение подстилающих грунтов и акваторий водных объектов, наносящее ущерб гидробионтам и экосистемам в целом.

Именно законодательное регулирование выступает тем фундаментом, который устанавливает обязательные стандарты безопасности, регламентирует процедуры промышленного и экологического контроля, а также определяет меры ответственности, направленные на минимизацию негативных последствий и предотвращение техногенных катастроф в регионе. Ключевым документом, определяющим приоритеты и механизмы

достижения устойчивого развития в этой сфере, выступает Концепция экологической безопасности ХМАО-Югры на период до 2030 года. (ред. от 25.05.2023 № 298-рп). Определяет цели и задачи охраны окружающей среды, основные направления и приоритетные меры (<https://clck.ru/3TiafN>).

К ключевым элементам институционального и нормативно-правового механизма экологической политики в регионе выступают взаимосвязанных документа. Основополагающей является Государственная программа ХМАО-Югры «Экологическая безопасность», утвержденная постановлением Правительства автономного округа от 31 октября 2021 года № 482-п, в которую интегрированы мероприятия нефтяных компаний, включая строительство объектов по утилизации попутного нефтяного газа и рекультивацию нефтезагрязненных земель.

Помимо программно-целевого метода, регулирование осуществляется через Соглашение о сотрудничестве Правительства округа со всеми крупными нефтегазодобывающими компаниями, в рамках которых предприятия принимают на себя повышение обязательства по разработке и реализации долгосрочных природоохранных программ. Базовые правовые основы деятельности в данной сфере закреплены Законом ХМАО-Югры от 18 апреля 2007 года № 31-из «О регулировании отдельных вопросов в области охраны окружающей среды в ХМАО-Югре», который регулирует широкий спектр вопросов: от охраны атмосферного воздуха и обращения с отходами производства до проведения экологической экспертизы.

Документы, регулирующие процесс рекультивации земель, включают Постановление Правительства ХМАО – Югры от 10.12.2004 № 466-п «Об утверждении регионального норматива «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» и согласованную проектную документацию.

Государственное освидетельствование рекультивированных земель осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства ХМАО – Югры от 29.07.2016 № 276-п «О порядке освидетельствования рекультивированных земельных участков, ранее загрязненных нефтью, нефтепродуктами, подтоварной водой, для исключения из реестра загрязненных нефтью, нефтепродуктами, подтоварной водой территорий и водных объектов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» [2].

В практике обеспечения экологической безопасности и предупреждения аварий на объектах нефтегазового комплекса Югры применяется широкий спектр технологических решений, направленных на диагностику, защиту и восстановление трубопроводных систем, а также ликвидацию последствий техногенного воздействия. Эти меры образуют целостную систему производственного экологического контроля и реабилитации нарушенных территорий.

Диагностика трубопроводов выступает фундаментальным элементом системы промышленной безопасности. Данный метод позволяет выявлять развитие дефектов (коррозионных повреждений, утонений стенок, трещин) на ранних стадиях и своевременно

проводить ремонтно-восстановительные работы, что подтверждается производственной практикой таких предприятий, как «РН-Юганскнефтегаз» на Приобском месторождении. Регулярный пропуск внутритрубных снарядов-дефектоскопов позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по фактическому техническому состоянию, существенно снижая риск аварийных разливов нефти (<https://angi.ru/news/2795671->).

Ингибиторная защита систем трубопроводов – метод торможения (снижения скорости) коррозии металла с помощью химических реагентов – ингибиторов коррозии. Принцип действия основан на образовании защитной адсорбционной пленки на внутренней поверхности труб, которая изолирует металл от контакта с агрессивными компонентами транспортируемой среды. Эффективность данного метода обоснована на научных исследованиях на примере Ватинского месторождения, а также подтверждена долгосрочными производственными программами «Варьеганнефти» и дочерних обществ НК «Роснефти», где применение ингибиторов является обязательным элементом технологических регламентов [3].

Очистка внутренней полости трубопроводов направлена на поддержание проектной пропускной способности и предупреждение образования застойных зон. В процессе эксплуатации на стенках труб накапливаются асфальтомолопарафиновые отложения, которые не сужают сечение, но и создают условия для подшламовой коррозии. Для их удаления применяются различные методы:

1. Механический – пропуск скребков и разделителей.
2. Гидродинамический – воздействие струями высокого давления.
3. Химический – промывка растворителями [1].

Так «ТМК Нефтегазсервис» в 2024 году приступил к механической очистке насосно-компрессорных труб на месторождениях ХМАО с использованием мобильных лабораторий, оснащенных специальными скребками для удаления тяжелых компонентов нефти (<https://clck.ru/3STiLi>).

В последние годы значительное развитие получило применение беспилотных летательных аппаратов для круглосуточного воздушного мониторинга нефтепромысловых трубопроводов в отдалённых и труднодоступных местах. БПЛА, оснащенные телевизорами, газоанализаторами и видеокамерами высокого разрешения, позволяют оперативно выявлять утечки и несанкционированные врезки в ранних стадиях. Только в 2025 году общая протяженность маршрутов беспилотных авиационных систем на территории Югры превысит 1,2 млн км, при этом регион выступает пилотной площадкой для интеграции беспилотных и космических систем наблюдения.

Учитывая высокую обводненность и заболоченность, в регионе широко применяется метод зимней рекультивации. Пионером в этой области выступило АО «Самотлорнефтегаз», которое первым в России внедрило данную технологию и с 2013 года успешно ее применяет/ Метод позволяет проводить технический этап очистки участков, недоступных в теплое время года, когда болота промерзают и выдерживают приход тяжелой техники (<https://www.angi.ru/news/2894793->).

Порядка 70% технических работ выполняется именно в период отрицательных температур и устойчивого снежного покрова. Помимо вывоза загрязненного грунта, предприятие применяет практику зимнего посева многолетних трав на участках, труднодоступных в теплое время года. За период с 2015 по 2020 год «Самотлорнефтегаз» восстановили более 1300 гектаров нарушенных земель исторического наследия при общем объеме финансирования свыше 4 млрд рублей, а в 2022 году было рекультивировано 126 гектаров (<https://vestipb.ru/indnews10114.html>).

Рассмотрим ключевой инструмент оценки текущего состояния окружающей среды в районах добычи углеводородов в Югре. Им выступает локальный экологический мониторинг, который представляет собой регулярные наблюдения за компонентами природной среды в границах лицензионных участков недропользования и зонах влияния производственных объектов.

Сеть наблюдений формируется с учетом ландшафтных особенностей и расположения потенциальных источников негативного воздействия. Как следует из отраслевых данных, пункты контроля устанавливаются на всех основных водных объектах, репрезентативных типах почв, а также вблизи промысловых сооружений. Такой подход позволяет отслеживать динамику состояния экосистем в условиях интенсивной техногенной нагрузки [4].

Масштаб этой работы предупреждается и финансированием. Например, в 2024 году ПАО «Сургутнефтегаз» направило на природоохранные мероприятия порядка 40 млрд рублей, из которых значительная часть была выделена на проведение мониторинга природной среды и промышленных объектов, а также на научно-исследовательскую работу в этой сфере. Это подчеркивает, что мониторинг является не просто формальной процедурой, а частью экологической политики (<https://clck.ru/3STiFt>).

Важнейшим элементом контроля за техногенной безопасностью является система учета аварийных ситуаций. В ХМАО-Югре функции по ведению официальной статистики выполняет Природнадзор Югры. В структуру ведомства входят территориальные отделы, которые проводят плановые и внеплановые проверки, обследования и рейды, а также фиксируют нарушения природоохранного законодательства [6].

Согласно открытым данным, Природнадзор ведет реестр, аккумулирующий информацию об инцидентах на нефтепромыслах. Ключевыми категориями учета являются разливы нефтепродуктов и подтоварной воды. Именно эти вещества представляют основную угрозу для уязвимых экосистем Севера. Информацию об авариях и уровне взаимодействия на окружающую среду также рассказывается крупнейшими недропользователями в рамках корпоративной отчетности, что обеспечивает дополнительную прозрачность их деятельности [5].

Критически важным аспектом объективности экологического мониторинга является достоверность полученных результатов. В ХМАО-Югре для обеспечения сходимости данных предоставляемых промышленными предприятиями, используется механизм ежегодных параллельных отборов проб. Эта процедура подразумевает, что на лицензионных участках одновременно работают специалисты как со стороны недропользователя, так и со стороны

уполномоченных государственных структур. Целью таких мероприятий является верификация результатов производственного экологического контроля и независимая оценка состояния окружающей среды. Правовой основой для подобного взаимодействия являются нормативные акты, регулирующие государственного экологического надзора и доступ к информации о состоянии окружающей среды (<http://sentyabrskiy.ru/2020/01/13862>).

Проведённый анализ позволяет заключить, что в ХМАО-Югре сформирована многоуровневая система обеспечения экологической безопасности, включающая жесткое региональное законодательство, современные технологии диагностики и предупреждения аварий, а также механизмы государственного мониторинга. Опыт округа демонстрирует переход от политики ликвидации последствий к политике их предотвращения, чему способствует как требование регуляторов, так и инвестиции крупных нефтяных компаний в природоохранные мероприятия.

Однако, несмотря на технологические порывы и миллиардные вложения, проблема аварийности, прежде всего из-за коррозии трубопроводов, сохраняет свою остроту не столько отсутствие технологий, сколько масштаб накопленного ущерба прошлых лет и необходимость обеспечения абсолютной надежности инфраструктуры в уязвимых экосистемах Севера. Дальнейшие исследования природоохранных мер и совершенствование методик оценки накопленного экологического ущерба.

Литература

1. Алимов В.В., Ахмадуллин Р.Р., Исламов И.И. [и др.]. Устройство для очистки призабойной зоны скважины: пат. 2689629 Российская Федерация, МПК E21B 43/25. № 2018137191; заявл. 22.10.2018; опубл. 28.05.2019. 8 с.
2. Вклад в достижение Целей ООН в области устойчивого развития // Роснефть: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3Tiakm> (дата обращения: 21.02.2026).
3. Отчет в области устойчивого развития // Газпромнефть-Хантос: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3TianB> (дата обращения: 21.02.2026).
4. Охрана водных ресурсов и рациональное водопользование // Сургутнефтегаз: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3Tianr> (дата обращения: 21.02.2026).
5. Показатели воздействия на окружающую среду // Сургутнефтегаз: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3Tiaou> (дата обращения: 21.02.2026).
6. Структура архивного отдела // Архивная служба Югры: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3Tiapo> (дата обращения: 21.02.2026).

© Кучукбаева А.Р., Еременко К.Ю., 2026

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ АКТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЕРЕКАЧИВАЕМУЮ СРЕДУ

Промысловые нефтепроводы перекачивают полностью или частично подготовленную нефть после отделения попутного нефтяного газа и воды с пунктов подготовки нефти, – дожимных насосных станций (ДНС), установок предварительного сброса воды (УПСВ), – до комплексных сборных пунктов (КСП) и центральных товарных парков (ЦТП). В дальнейшем товарная нефть поступает в систему магистральных нефтепроводов АК «Транснефть» для транспортировки до нефтеперерабатывающих заводов и нефтеналивных терминалов.

Утечки на промысловых нефтепроводах происходят гораздо чаще, чем в системе магистрального транспорта. Существует две основные причины образования утечек в промысловых нефтепроводах. Первая, – это сквозные повреждения в результате внутренней и наружной коррозии. Внутренняя коррозия вызвана в первую очередь наличием в перекачиваемой нефти остаточного небольшого количества подтоварной минерализованной воды (от 1 до 5%), вызывающую электрохимическую коррозию. Наружная коррозия также случается чаще. Несмотря на обязательное наличие наружной изоляции, в нефтепромысловых условиях, в отличие от магистрального транспорта, во многих случаях не применяется электрохимическая защита от коррозии (ЭХЗ). Это особенно характерно для компактных месторождений с насыщенной инфраструктурой трубопроводных коммуникаций, так как в этом случае вследствие наличия блуждающих токов, ЭХЗ конкретного трубопровода может способствовать повышенному коррозионному износу близлежащих коммуникаций.

Вторая причина утечек – хищение нефти в результате несанкционированных врезок в действующие нефтепроводы. Несмотря на усиленные меры по патрулированию трасс нефтепроводов, данная причина по-прежнему остается весьма актуальной.

Предприятия осуществляют также постоянный параметрический контроль за режимами работы нефтепроводов, контролируя такие параметры, как давление и объемы перекачки. Необоснованное снижение давления при неизменных режимах откачки, может говорить о наличии утечки. Однако, такой метод эффективен только при значительных утечках (более 5% от объемов перекачки). Поэтому, для обнаружения небольших утечек требуются дополнительные методы.

Разработано множество различных систем обнаружения утечек (СОУ) для трубопроводов различного назначения, – тепловодоснабжения, магистрального и промыслового транспорта нефти.

Однако, для промысловых нефтепроводов до настоящего времени СОУ не нашли широкого применения, хотя и установлены на некоторых трубопроводах. Основные причины редкого применения заключаются в необходимости устанавливать вдоль трасс

дополнительного оборудования, требующего подвода электрического тока и постоянного обслуживания. Также существенным фактором является низкое значение давления в конце промышленных трубопроводов.

Рассмотрим наиболее известные СОУ, которые были опробованы в условиях нефтепромысла [4]:

1. Наиболее распространенный – метод волны давления, образующейся в момент образования утечки. Местоположение утечки определяется по разнице времени распространения звуковых волн до 2-х приемников, расположенных вначале и в конце трубопровода [11; 12]. Такую систему необходимо поддерживать в постоянной готовности, так как, если первоначальная волна давления прошла и не была зафиксирована, то в дальнейшем система не обнаруживает уже образовавшуюся утечку. Также утечка не обнаруживается, если она образуется не скачкообразно, а постепенно, что и характерно для большинства случаев, а также зачастую для несанкционированного отбора.

2. Оптоволоконный метод предполагает прокладку вдоль трубопровода оптоволоконного кабеля, по которому регистрируются все шумы вдоль трубопровода, в том числе вызванные утечкой и изменение температуры в результате выхода продукта на поверхность [12]. Недостатком данного метода является необходимость обучения системы отфильтровывать все посторонние шумы. Кроме того, при прохождении трубопровода через водные объекты, болота 1–2 категории, характерные для местности Западно-Сибирского региона, точность обнаружения утечек низкая.

3. Метод фиксации инфразвуковых волн, распространяющихся от места утечки вдоль трубопровода. Это так называемая инфразвуковая система мониторинга трубопроводов (ИСМТ). Интенсивность шума, излучаемого утечкой, зависит от скорости выхода жидкости через образовавшееся отверстие, которая определяется перепадом давлений в трубопроводе в месте утечки и окружающей средой. Высокочастотный спектр колебаний быстро затухает по мере распространения, а низкочастотные (инфразвуковые) волны распространяются на большие расстояния и могут быть зафиксированы чувствительными микрофонами. Однако, при низкой скорости выхода продукта, интенсивность волн может быть недостаточна для их обнаружения. Это наиболее точный метод, определяющий малые утечки, величиной до 300 л/час, превосходящий по точности все остальные. Однако, для его применения необходимо оборудовать трубопровод колодцами с вырезкой окон в трубопроводе для установки специальных антенн. Утечки при данном методе обнаруживаются в нефтепроводах, давление в которых превышает 0,4 МПа в то время, как на входе в центральные товарные парки давление, как правило, меньше этой величины.

Таким образом, разработка методов обнаружения утечек, основанных на новых подходах, нивелирующих недостатки существующих СОУ, остается актуальной.

В данной работе предлагается метод обнаружения утечек, основанный на анализе спектра искусственно создаваемых волн давления. Распространение звуковых волн в трубопроводах, транспортирующих жидкие продукты хорошо изучено в теории гидроудара.

Теория гидроудара в трубопроводах была разработана великим российским ученым Н.Е. Жуковским [2]. Теория нестационарных процессов в трубопроводах в дальнейшем развита такими учеными, как И.А. Чарный, А. Г. Гумеров, К.Г. Асатур, М. В. Лурье и другими авторами [1; 5; 6; 9; 10]. Большинство работ посвящено предотвращению явления гидроудара и сглаживанию волн давления в трубопроводах, так как большие скачки давления, возникающие при гидроударе, могут привести к разгерметизации трубопровода.

Пусть имеется трубопровод, протяженностью L (м.), по которому перекачивается жидкость плотностью ρ (кг/м³) со скоростью w (м/с). Если в конце трубопровода мгновенно закрыть секущую задвижку, то жидкость, непосредственно прилегающая к запорной арматуре, остановится. При этом возникнет заброс давления на величину, определяемую по формуле Н.Е. Жуковского:

$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot w \quad (1)$$

где c – скорость распространения звука в среде. Скорость распространения звука в жидкой среде определяется ее модулем упругости $E_{ж}$ и плотностью. В трубопроводах вследствие деформации его стенок при росте давления, скорость распространения звука уменьшается и зависит также от модуля упругости материала, из которого изготовлен трубопровод E_m , его диаметра D и толщины стенки δ [7; 8]:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{DE_{ж}}{E_m \delta}}} \quad (2)$$

После закрытия секущей задвижки и полной остановки прилегающего потока жидкости, в дальнейшем происходит натекание жидкости из более отдаленных сечений, пока вся жидкость в трубопроводе полностью не остановится. Время, за которое произойдет полная остановка потока жидкости будет равно:

$$t_1 = \frac{L}{c} \quad (3)$$

В это время заброс давления, определяемый формулой (1), охватит всю длину трубопровода, то есть вся жидкость в трубопроводе будет находиться в сжатом состоянии. В дальнейшем, происходит постепенное разряжение сжатой области. Полное время скачка (заброса) давления будет составлять удвоенное значения от (3), которое называется фазой гидравлического удара. После промежутка времени $t = 2t_1$, жидкость в районе затвора начнет отходить от затвора и перемещаться в обратном направлении, образуя волну разряжения.

Если не учитывать диссипацию вследствие процессов внутреннего трения, при мгновенном закрытии затвора график изменения давления в месте затвора будет представлять периодическую кривую прямоугольной формы. В случае, если время закрытия затвора не превышает фазу гидравлического удара t , график изменения давления будет представлять собой трапецеидальную форму с прежней максимальной амплитудой величины заброса давления. Если же время закрытия затвора превысит величину $2L/c$, в этом случае величина заброса давления будет уменьшаться.

Таким образом, регулируя время перекрытия затвора можно управлять величиной заброса давления (рис. 3). Также величину заброса давления можно регулировать согласно

временно уменьшая загрузку трубопровода и тем самым снижая скорость потока. В реальной жидкости из-за вязкости происходит диссипация энергии волны. В результате чего амплитуда волн затухает по экспоненциальному закону.

Испытания волновых процессов были проведены на лабораторной установке по исследованию гидравлических сопротивлений трубопроводов и регулирующей арматуры при стационарных режимах течения, а также волновых процессов, возникающих при гидроударе (рис. 1). В качестве рабочей жидкости применялась пресная вода. Центробежным насосом вода забирается из бака с водой и нагнетается в трубопровод спиралевидной формы, изготовленным из металлопластика с модулем упругости $E_m = 15$ ГПа, внутренним диаметром $d=12$ и толщиной стенки $\delta=3$ мм. Протяженность трубопровода составляет $L = 25$ м. На концах трубопровода установлены датчики давления ДД1, ДД2, а также электромагнитные задвижки ЗД1 и ЗД2. Регулирование величины потока жидкости производится с помощью задвижки З1. Основные параметры датчиков давления и расходомера РМ1 выводятся на пульт, а также в программу обработки данных на ноутбуке. Запись результатов измерений на ноутбуке производится с частотой 50 измерений за 0,01 с.

Гидравлический удар был смоделирован путем резкого перекрытия запорной арматуры в конце трубопровода (электромагнитной задвижкой ЗД2). Давление в конце трубопровода возросло с 100 кПа (1 бар) до 1200 кПа (12 бар). Далее волна давления, многократно отражаясь от концов трубопровода постепенно затухает по амплитуде. Максимальный первоначальный заброс давления полностью соответствует формуле Н.Е. Жуковского (1) (рис. 2). Так как первоначальное давление в конце трубопровода имело низкое значение, то давление волны разрежения опустилась на меньшую амплитуду, чем при забросе, ввиду ограничения по нижней границе, – опустилось практически до состояния вакуума, а точнее до давления насыщенных паров воды при температуре измерения. Поэтому, из-за наличия паровой фазы, скорость распространения звуковой волны при разрежении существенно уменьшилась, что на графике отображено в увеличении времени прохождения волны разрежения по сравнению с волной сжатия практически в 2 раза.

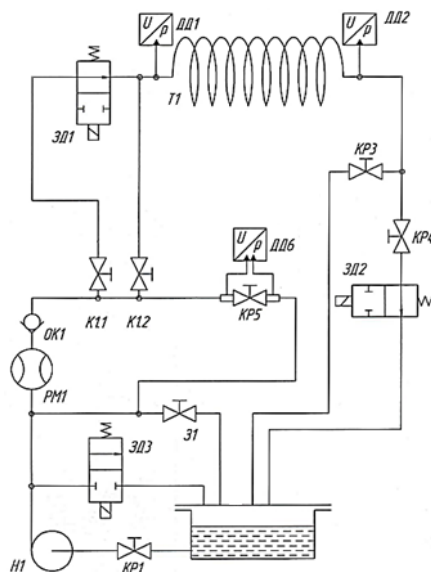


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для исследования гидроудара [составлено автором]

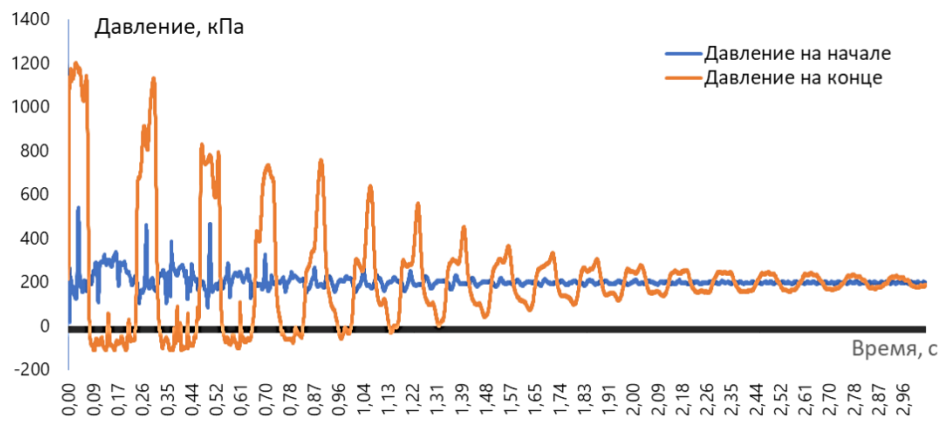


Рис. 2. Запись гидроудара по изменению величины давления от времени по датчикам давления ДД1 ДД2 в начале и в конце трубопровода [составлено автором]



Рис. 3. Запись гидроудара при регулировании времени перекрытия затвора [составлено автором]

Идея данной работы состоит в том, что при возникновении в трубопроводе утечки, волна давления будет отражаться не только от концов трубопровода, но и от сильного возмущения потока в месте утечки. Первоначальная волна и отраженная волна от утечки будут накладываться друг на друга и изменять структуру графика. На графике в области фазы гидроудара возникнет дополнительный пик (или впадина) на определенном расстоянии от начала. Зная местоположение возмущения Δt_{yt} на графике, можно определить расстояние до утечки:

$$L_{yt} = c \cdot \Delta t_{yt} / 2 \quad (4)$$

Так как визуально определить изменение графика давления, вызванное утечкой не всегда возможно, а график давления представляет собой периодическую затухающую волну, предлагается разложить его в ряд Фурье [3].

$$P(t) = \int_0^\infty [A(\omega) \cos(\omega t) + B(\omega) \sin(\omega t)] d\omega, \quad (5)$$

где спектральные коэффициенты $A(\omega)$ и $B(\omega)$ определяются через параметры графика давления $P(t)$:

$$A(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty P(t) \cos(\omega t) dt, \quad B(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty P(t) \sin(\omega t) dt \quad (6)$$

Суммарная амплитуда двух волн (5) определяется как корень квадратный из суммы квадратов амплитуд:

$$C(\omega) = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2} \quad (7)$$

После разложения функции $P(t)$ в спектр получены следующее распределение суммарной амплитуды волны $C(\omega)$ от частоты (рис. 4):



Рис.4 Разложение волны давления по показаниям датчика ДД2 в амплитудный спектр по частоте (Гц) [составлено автором]

Угловая скорость ω (рад/с) связана с частотой ν (Гц) соотношением $\omega=2\pi\nu$

Так как функция $P(t)$ является периодической, но с затухающей амплитудой колебаний, ее удобно представить через коэффициент затухания, a , определяемый экспериментально.

$$P(t) = e^{-at} f(t) \quad (8)$$

и уже в ряд Фурье раскладывать не затухающую по верхней амплитуде периодическую функцию $f(t)$. В этом случае частотные пики будут выражены более явно, что будет способствовать более детальной интерпретации результатов. Для этого можно определить коэффициент затухания аппроксимируя прямую по пиковым значениям давления при гидроударе в логарифмическом масштабе. Для более точного определения утечек можно собрать эталонные амплитудные спектры исследуемого трубопровода, после чего сравнивая с ними текущие значения видеть изменения значений амплитуд, это позволит анализировать трубопроводы, в которых проходящая волна давления будет отражаться от различных препятствий создавая пики на амплитудном спектре, не связанные с утечками.

Заключение

В работе дано обоснование возможности разработки нового метода определения утечек в трубопроводах, транспортирующих жидкие продукты путем искусственно создаваемых волн давления, основанных на теории гидроудара. В месте утечки возникает сильное возмущение, от которого происходит частичное отражение волн давления, которое вносит изменение в существующий график давления, фиксируемый заранее до начала утечки. Путем регулирования времени закрытия запорной арматуры, а также изменением скорости потока на время измерений, можно контролировать весь процесс, а допустимую величину заброса давления заранее согласовывать с эксплуатирующей организацией. Также волны давления можно создавать при запусках и остановках насосного оборудования.

Для проведения дальнейших экспериментальных исследований предлагается произвести модернизацию существующего лабораторного стенда для моделирования величин утечек и их влияния на спектральные характеристики волновых процессов. Конечным результатом работ будет разработка новой СОУ и ее апробация в промышленных условиях.

Литература

1. Адоевский А.В., Арбузов Н.С., Левченко Е.Л., Лурье М.В. Защита нефтепроводов от гидроударных явлений системами сглаживания волн давления // Нефтяное хозяйство. 2011. № 9. С. 119-121.
2. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. 105 с.
3. Китаева Е.В. Ряды и интегралы Фурье: учебное пособие. Самара: Издательство Самарского университета, 2025. 64 с.
4. Кондратенко В.С., Рогов А.Ю., Цветков А.И. Концепция устройства обнаружения и оповещения о местоположении утечек углеводородов // Базис. 2022. № 2(12). С. 21-27.
5. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: учебное пособие. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 336 с.
6. Ляшенко А.Л., Морева С.Л., Кабанов О.В., Ледовский Г.Н. Моделирование гидравлического удара в трубопроводах // Третий национальный научный форум «Актуальные проблемы гидросферы»: сборник докладов (Кисловодск, 23–25 сентября 2015 года). Кисловодск: Изд-во РИА-КМВ, 2015. С. 632-640.
7. Моргунов К.П. Механика жидкости и газа: учебное пособие для вузов. 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 208 с.
8. Смирнов Д.Н., Зубов Л.Б. Гидравлический удар в напорных водоводах. М.: Стройиздат, 1975. 125 с.
9. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах, перевод с английского Н. И. Хвостова. М.: Энергоиздат, 1981. 248 с.
10. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. Государственное издательство технико-теоретической литературы. М.; Ленинград, 1951. 224 с.
11. Черкасский В.В. Использование автоматизированной системы обнаружения утечек, построенной на методе обнаружения негативной волны давления: экономическая эффективность применения // Вестник экономических и социологических исследований. 2024. № 3. С. 36-42.
12. Zhang J., Liang L., Mawien K., Feng K. Leak detection of gathering pipeline based on sensitive designed fiber Bragg grating pressure sensing system // Opticheskiy Zhurnal. 2023. Vol. 90, No. 6. P. 70-79. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2023-90-06-70-79>

© Миллер М.А., Парипский А.В., 2026

Облетова В.А., Шевляков В.В., Некрасов А.В.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ В ИЗВЛЕЧЕНИИ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: ТЕХНОЛОГИИ, РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Попутно-добываемые воды (ПДВ) нефтяных месторождений на протяжении десятилетий рассматривались исключительно как технологические отходы, требующие утилизации путем закачки в пласт или глубокого захоронения. В среднем на каждый баррель добываемой нефти в мире извлекается от трех до десяти баррелей высокоминерализованных пластовых вод – это делает ПДВ крупнейшим жидким отходом отрасли. Суммарный мировой объем составляет около 300 млн. баррелей в сутки [3; 5]. Однако в последнее десятилетие данная парадигма кардинально пересматривается под воздействием двух факторов. Во-первых, стремительный рост спроса на стратегические металлы (литий, магний, стронций, рубидий, редкоземельные элементы (РЗЭ)) в связи с развитием «зеленой» энергетики, электромобилестроения и высокотехнологичных производств делает привлекательным любой альтернативный источник этих элементов. Во-вторых, развитие методов машинного обучения и создание открытых геохимических баз данных обеспечили инструментарий для масштабной ресурсной оценки ранее неизученных объектов [2; 4].

Принципиально важно, что речь идет не только о литии, т.к. современные исследования охватывают широкий спектр компонентов. ПДВ представляют собой многокомпонентные рассолы, из которых при правильной технологической схеме можно одновременно извлекать несколько ценных элементов. Именно этот комплексный подход определяет экономическую привлекательность и стратегическую ценность нового направления по извлечению гидроминерального сырья из подтоварной воды.

Цель настоящей статьи – систематизировать международный опыт формирования геохимических баз данных и государственных программ оценки гидроминерального потенциала ПДВ, а также обосновать методологические подходы, применимые в условиях Ханты-Мансийского автономного округа.

Наиболее масштабная и методологически проработанная работа по оценке гидроминерального потенциала ПДВ реализуется в Соединенных Штатах в рамках проекта Геологической службы США (USGS) – Oil and Gas Waters Project. Проект объединяет несколько взаимосвязанных направлений: создание открытой геохимической базы данных, разработку прогностических моделей распределения ресурсов и анализ технологических перспектив извлечения.

Базовым инструментом служит Национальная геохимическая база данных пластовых вод (National Produced Waters Geochemical Database, PWGD), версия 3.0 которой опубликована в декабре 2023 года [1]. База содержит сведения о составе вод более чем 18 000 индивидуальных скважин на всей территории США – от Аляски до Мексиканского залива. Она аккумулирует данные по макро- и микрокомпонентному составу, изотопным соотношениям ($^7\text{Li}/^6\text{Li}$, $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$, $^{138}\text{Ba}/^{134}\text{Ba}$), физическим параметрам вод и характеристикам

вмещающих пород. Все записи сформированы на основе многоуровневой системы контроля качества. Принципиально, что база находится в открытом доступе – это обеспечивает ее использование широким научным сообществом и интеграцию с алгоритмами машинного обучения.

На основе данных PWGD совместно с вновь собранными полевыми пробами была выполнена количественная оценка ресурсов лития в рассолах формации Смаковер (Smackover Formation) – регионального нефтематеринского горизонта юрского возраста на юге США. Применение алгоритма случайного леса (Random Forest), обученного на совокупности геохимических и геологических параметров, позволило построить пространственно-непрерывные прогнозные карты и оценить суммарные ресурсы в южном Арканзасе в диапазоне 5,1–19,0 млн. тонн, что сопоставимо с ранее учтенными ресурсами лития по всей стране [4]. Показательно, что только в 2022 году в Арканзасе с пластовыми водами было попутно извлечено около 5 000 тонн растворенного лития, который в отсутствие технологий извлечения закачивался обратно в пласт.

Важно подчеркнуть, что американская модель изначально не ограничивалась литием. В рамках проекта USGS анализируются также бром, магний, стронций и барий – то есть реализуется именно комплексный подход к оценке гидроминерального потенциала. Параллельно Министерство энергетики США (DOE) через Национальную энергетическую технологическую лабораторию (NETL) поддерживает программу Produced Water Consortium, нацеленную на разработку технологий использования ПДВ как ресурса, включая извлечение редких металлов и критически важных элементов.

В Европейском союзе развитие направления связано с реализацией Critical Raw Materials Act (2023), устанавливающего целевые показатели по внутренней добыче и переработке стратегических металлов. Хотя крупные нефтегазовые провинции на территории ЕС ограничены, направление активно развивается применительно к геотермальным рассолам, которые по геохимическим характеристикам близки к нефтегазовым пластовым водам.

В Германии Исследовательский центр геонаук (GFZ Potsdam) реализует Geothermal Brine Monitoring Program применительно к высокоминерализованным водам Верхнерейнского грабена. Мониторинг охватывает более 50 геохимических параметров и показал значимые концентрации лития (до 160 мг/л), цезия, рубидия и стронция [5]. Ряд пилотных установок по извлечению лития уже прошел апробацию в геотермальных контурах Эльзаса и Бадена. Принципиально, что здесь извлечение минералов интегрировано непосредственно в теплоэнергетическую инфраструктуру – без отдельного горнодобывающего производства.

Во Франции аналогичная работа ведется в рамках проекта GEOLITH, оценивающего потенциал геотермальных рассолов Парижского бассейна и Центрального Массива. В Нидерландах и Дании рассматривается гидроминеральный потенциал рассолов Северного моря – как в действующих, так и в выводимых из эксплуатации нефтяных скважинах. Европейский подход в целом характеризуется акцентом на экологичность технологий, сокращение углеродного следа и синергию с ВИЭ-инфраструктурой.

Австралия занимает особое место в международном опыте, поскольку здесь масштабная проблема попутных вод возникла прежде всего в связи с добычей угольного метана (CSG – coal seam gas). Национальное объединение научных исследований CSIRO реализует Produced Water Initiative, в рамках которой созданы геохимические базы данных по угольным и нефтяным формациям нескольких бассейнов. Австралийская база ABIN (Australian Brine Initiative Network) интегрирует данные о пластовых водах из штатов Квинсленд, Новый Южный Уэльс и Западная Австралия. Принципиальной особенностью австралийского подхода является разработка геохимических «паспортов» формаций – стандартизованных профилей, позволяющих быстро оценить потенциал каждого горизонта для комплексного извлечения компонентов. Это прямой аналог подхода USGS, адаптированный к региональной геологии. Помимо лития и магния, австралийские исследователи уделяют внимание потенциалу извлечения стронция и калия [3].

Китай занимает лидирующую позицию в технологическом масштабировании извлечения лития из рассолов. Государственные корпорации SINOPEC и CNPC ведут геохимические базы данных по пластовым водам нескольких бассейнов, однако они остаются закрытыми. Принципиальная особенность китайского подхода – ориентация на немедленное промышленное применение. Крупные DLE-установки на соляных озерах Тибетского нагорья отработывают технологии, которые затем тиражируются на нефтегазовые рассолы. В отличие от США, где акцент сделан на геологической оценке ресурсов, в Китае доминирует технологически-производственный вектор: комбинированные схемы позволяют одновременно получать литий, магний и калий [2].

Аргентина, Боливия и Чили традиционно ассоциируются с солевыми месторождениями лития в соляных озерах (саларах). Однако в последние годы национальные агентства CONICET (Аргентина) и международные организации (JICA, Всемирный банк) финансируют создание геохимических баз данных, охватывающих не только саларе, но и пластовые воды нефтяных бассейнов. Исследования показывают, что рассолы нефтяных формаций в ряде провинций (Неукен, Сальта) содержат значимые концентрации лития (до 300 мг/л) и бора. Это расширяет ресурсную базу за пределы традиционного «Литиевого треугольника» и привлекает внимание к комплексному потенциалу нефтепромысловых вод [5]. В таблице ниже проведено обобщение проанализированной нами информации по разным странам.

Таблица

Международные геохимические базы данных и программы оценки гидроминерального потенциала попутно-добываемых вод (составлено авторами)

Страна / организация	Проект / база данных	Охват и содержание	Целевые компоненты
США (USGS)	National Produced Waters Geochemical Database v3.0 (PWGD); Oil and Gas Waters Project	18 000+ скважин; макро- и микрокомпоненты, изотопы, температура, литология; открытый доступ	Li, Br, Mg, Sr, Ba и др.
США (DOE / NETL)	Produced Water Management Information System (PWMIS); программа Produced Water Consortium	Технологические и геохимические данные; поддержка пилотных DLE-проектов	Li, редкие металлы, вода как ресурс

ЕС	Critical Raw Materials Act (2023); национальные программы Германии и Франции	Геотермальные и нефтегазовые рассолы; интеграция с ВИЭ-инфраструктурой	Li, Mg, REE (геотермальные воды)
Германия (GFZ Potsdam)	Geothermal Brine Monitoring Program; проект ATES	Рассолы Верхнерейнского грабена; мониторинг 50+ параметров	Li, Cs, Rb, Sr
Австралия	CSIRO Produced Water Initiative; базы данных ABIN	Данные по угольным и нефтяным скважинам; геохимические паспорта формаций	Li, Mg, K, Sr
Китай	Государственные программы SINOPEC / CNPC; цифровые базы рассолов калийных бассейнов	Промышленная интеграция; масштабные DLE-установки; данные соляных озер	Li, Mg, K, B
Аргентина / Боливия / Чили	Геохимические базы «Литиевого треугольника»; CONICET, JICA	Соляные озера и пластовые рассолы; геохимические карты ресурсного потенциала	Li, K, B, Mg

Ранние исследования и большинство первых пилотных проектов были сфокусированы исключительно на литии как наиболее востребованном стратегическом металле. Однако современные геохимические данные убедительно свидетельствуют о том, что пластовые воды представляют собой многокомпонентные системы, экономически привлекательные именно в комплексном освоении. Моноэлементный подход не только уступает комплексному по экономической эффективности, но и создает уязвимость перед волатильностью цены одного металла.

Международный опыт демонстрирует постепенное осознание этой логики. В рамках проекта USGS анализ формации Смаковер изначально охватывал бром, который коммерчески извлекался там с 1950-х годов, и лишь затем расширился на литий и другие компоненты. Немецкий проект GFZ с самого начала ориентирован на мультиэлементный мониторинг. Австралийские геохимические «паспорта» формаций включают полный спектр потенциально ценных компонентов.

Особую роль в переходе к комплексному подходу играет переосмысление экономики извлечения. При наличии уже построенной установки для извлечения одного элемента (например, лития) дополнительные затраты на добавление стадии извлечения брома или стронция существенно ниже, чем строительство отдельного производства. Это создает синергетический экономический эффект, обоснование которого стало стандартной частью современных технико-экономических оценок [3; 5].

Анализ международного опыта позволяет выделить методологическую последовательность, которую реально воспроизвести в условиях нефтегазоносных регионов России. В качестве модельного объекта рассматривается Ханты-Мансийский автономный округ – один из крупнейших нефтедобывающих регионов мира с колоссальными объемами попутных вод.

Первый этап – инвентаризация и оцифровка архивных геохимических данных. В российских нефтегазовых регионах накоплены десятки тысяч анализов состава пластовых вод,

однако они фрагментированы по ведомственным хранилищам и не объединены в единую цифровую систему. Создание региональной базы данных по образцу USGS PWGD требует стандартизации форматов, унификации единиц измерения и верификации аналитических методик. Принципиально важным условием является обеспечение открытого доступа к базе для научного сообщества – именно это условие определило успех американского проекта.

Второй этап – статистическая очистка, нормализация массива данных и анализ геохимических ассоциаций. Международная практика показывает необходимость исключения выбросов, анализа полноты данных и применения методов многомерной статистики [1]. Принципиально важно учитывать корреляции между компонентами – ассоциации «Li–Br», «Sr–Ba», «Mg–K», поскольку именно они определяют стратегию комплексного освоения.

Третий этап – пространственное моделирование распределения компонентов. Здесь опыт USGS (алгоритмы Random Forest и NMFk) и австралийского CSIRO (геохимические «паспорта» формаций) может быть напрямую адаптирован к условиям Западной Сибири с учетом специфики терригенных коллекторов юрско-мелового возраста [4].

Четвертый этап – геолого-экономическая оценка потенциального ресурса. Базовый расчет выполняется по формуле 1:

$$R = C \times V \times k, \quad (1)$$

где R – потенциальный годовой ресурс компонента (кг/год);

C – средняя концентрация компонента (мг/л = г/м³);

V – годовой объем добываемой подтоварной воды (м³/год);

k – коэффициент технологического извлечения (доли единицы).

При средней концентрации 100 мг/л и годовом объеме 5 млн. м³ (типичный уровень крупного месторождения ХМАО) даже при $k = 0,5$ потенциальный ресурс составляет 250 т/год – значимый дополнительный товарный поток.

Пятый этап – технологическое ранжирование компонентов по приоритетности и выбор схемы комплексного извлечения. Международный опыт показывает, что оптимальная схема определяется не столько технологическими возможностями, сколько геохимическим профилем конкретной формации и рыночной конъюнктурой.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра обладает рядом объективных преимуществ для реализации проектов добычи гидроминерального сырья. Объемы попутно-добываемых вод здесь исчисляются сотнями миллионов кубометров в год, а существующая инфраструктура нефтедобычи создает готовую базу для размещения установок, при этом высококвалифицированные кадры нефтяной отрасли могут быть задействованы в новом направлении.

Реализуемый в ХМАО проект, ориентированный на извлечение элементов из подтоварной воды месторождений, принципиально не должен отличаться от большинства зарубежных аналогов и должен носить комплексный характер освоения. Подтоварные воды в этом контексте представляют собой дополнительный, нематериалоемкий источник.

Проект потенциально решает несколько взаимосвязанных задач: формирует дополнительный источник дохода для нефтедобывающих предприятий, продлевает срок

рентабельной эксплуатации зрелых месторождений, снижает зависимость страны от импорта стратегических элементов, создает новые рабочие места и новую инновационную научно-технологическую компетенцию в регионе. В сравнении с американской моделью (ориентированной преимущественно на ресурсную оценку) и европейской (акцент на экологическую интеграцию) данный проект должен логично совмещать в себе технологическую разработку с формированием региональной геохимической базы данных, что соответствует логике комплексного подхода, рекомендованного международной практикой.

Таким образом, международный опыт убедительно свидетельствует о формировании новой ресурсной ниши в нефтегазовой отрасли: попутно-добываемые воды превращаются из технологического отхода в объект комплексного гидроминерального освоения. Ключевыми институциональными условиями этого перехода являются открытые национальные геохимические базы данных (по образцу USGS PWGD, CSIRO ABIN), государственная поддержка пилотных проектов и нормативные стимулы (Critical Raw Materials Act EC).

Принципиальный вывод из анализа международного опыта состоит в следующем: экономическая эффективность освоения гидроминерального сырья достигается именно при комплексном подходе, охватывающем литий, бром, магний, стронций, РЗЭ и другие ценные компоненты, а не при моноэлементной добыче. Для Западной Сибири приоритетными задачами являются: создание открытой региональной геохимической базы данных пластовых вод; применение алгоритмов машинного обучения для прогнозного картирования ресурсного потенциала; реализация пилотных проектов по комплексному извлечению, включая РЗЭ и стронций наряду с литием. Интеграция в глобальный тренд гидроминерального освоения ПДВ может стать значимым вектором диверсификации экономики нефтедобывающих регионов России.

Литература

1. Blondes M.S., Knierim K.J., Croke M.R., Freeman P.A., Doolan C., Herzberg A.S., Shelton J.L. U.S. Geological Survey National Produced Waters Geochemical Database (ver. 3.0, December 2023) // U.S. Geological Survey data release. 2023. <https://doi.org/10.5066/P9DSRCZJ>.
2. Ettehad A., Chuprin M., Mokhtari M., Gang D., Wortman P., Heydari E. Geological Insights into Exploration and Extraction of Lithium from Oilfield Produced-Water in the USA: A Review // Energy & Fuels. 2024. Vol. 38, No. 12. P. 10517–10541. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c00732>
3. Khatoon R., Raksasat R., Ho Y.C., Lim J.W., Jumbri K., Ho C.D., Chan Y.J., Abdelfattah E.A., Khoo K.S. Reviewing Advanced Treatment of Hydrocarbon-Contaminated Oilfield-Produced Water with Recovery of Lithium // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 22. P. 16016. <https://doi.org/10.3390/su152216016>.
4. Knierim K.J., Masterson A.L., Freeman P.A., McDevitt B., Herzberg A.H., Li P., Mills C., Doolan C., Jubb A.M., Ausbrooks S.M., Chenault J. Lithium resource in the Smackover Formation

brines of Southern Arkansas // U.S. Geological Survey Fact Sheet 2024–3052. 2024. 4 p.
<https://doi.org/10.3133/fs20243052>

5. Nikkhah H., Ipekçi D., Xiang W., Stoll Z., Xu P., Li B., McCutcheon J.R., Beykal B. Challenges and opportunities of recovering lithium from seawater, produced water, geothermal brines, and salt lakes using conventional and emerging technologies // Chemical Engineering Journal. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.155675>

© Облетьова В.А., Шевляков В.В., Некрасов А.В., 2026

Рыбакова Л.О., Черкасова Е.И., Бронская В.В.

Казанский национальный исследовательский технологический университет
г. Казань, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ И ОСУШКИ ГАЗА

В настоящее время мировое потребление нефти и газа по данным добычи горючих ископаемых в мире стремительно выросло. До данным с 1975 года по 1995 год, мировая добыча угля была соизмерима с добычей нефти. Однако по данным 2019 года добыча нефти заняла первое место во всей мировой добыче, второе место заняла добыча газа и только третье место заняла добыча угля [5]. По этим данным можно понять, что структура добычи и последующей переработки нефти и газа на соответствующих предприятиях нефтегазохимического профиля прочно вошла в нашу жизнь. Современные промышленные установки позволяют перерабатывать нефть и газ в крупных масштабах, а также получать высокомаржинальную продукцию, соответствующую стандартам качества.

Мировым лидером по добыче природного газа, а также лидером по его запасам является российская компания «Газпром» (<https://www.gazprom.ru/about/>). Дочерней компанией «Газпрома» является компания «Газпром переработка». «Газпром переработка» владеет заводами по переработке газа и газового конденсата. В состав этих заводов входит Оренбургский газоперерабатывающий завод (далее по тексту ОГПЗ). ОГПЗ является крупнейшим в России предприятием по переработке природного газа, а также единственным по производству природного одоранта. Завод выпускает следующую продукцию: природный газ; газ сжиженный; сера техническая жидкая, гранулированная, комовая; ШФЛУ (широкая фракция легких углеводородов); стабильный газовый конденсат в смеси с нефтью; природный одорант [3]. На ОГПЗ поступает сырье с нескольких месторождений, в том числе с уникального Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (далее по тексту ОНГКМ), открытого в 1966 году. ОНГКМ считается самым крупным в России и одним из крупнейших в мире сероводород- и гелийсодержащим (<https://clck.ru/3TibiL>). На ОГПЗ немалая часть установок направлена на переработку и очистку газа. Одной из таких установок является установка аминовой очистки и гликолевой осушки газа.

В качестве сырья процесса аминовой очистки на установку поступает газ со значительным содержанием кислых компонентов, таких как сероводород и диоксид серы. Процесс происходит в абсорбционных колоннах на контактных устройствах – тарелках или насадках. В результате на установке получают товарный газ и сероводород – сырье для установки производства серной кислоты или сырье для установки производства серы, например, методом Клауса. В качестве водных растворов реагентов (растворов для поглощения кислых компонентов) могут использоваться метилдиэтаноламин (МДЭА), моноэтаноламин (МЭА), диэтанолamina (ДЭА) и другие. Применение упомянутых трех видов поглотителей обуславливается следующими факторами:

– они не вступают в реакцию с углеводородными жидкостями, которые конденсируются из очищаемого газа;

– процесс очистки является обратимым, что позволяет выделять из раствора абсорбента (раствора-поглотителя) поглощаемый в ходе реакции сероводород на блоке регенерации амина;

– высокая степень очистки.

Однако этот процесс имеет свои недостатки, такие как: вспенивание раствора аминов; разрушение аминов с образованием продуктов их разложения, которые «забивают» оборудование; значительные энергозатраты на регенерацию раствора [2; 7].

Процесс осушки газа также является абсорбционным, как и описанная ранее аминовая очистка. В качестве поглотителей влаги может использоваться моноэтиленгликоль (далее по тексту МЭГ), диэтиленгликоль (далее ДЭГ) и триэтиленгликоль (далее ТЭГ). Степень осушки симбатно зависит от концентрации используемого гликоля [1; 4]. После насыщения влагой гликоль также направляется на блок регенерации.

Объектом исследования данной работы является изучение и оптимизация установки аминовой очистки и гликолевой осушки газа ОГПЗ посредством моделирования и рассмотрения результатов в специализированной программе. Установка состоит из трех блоков: блока механической сепарации природного газа, блока аминовой очистки газа от кислых компонентов и регенерации раствора амина, блока осушки очищенного газа и регенерации гликоля. На установке для очистки от кислых компонентов применяется раствор абсорбента «Новамин» (<https://clck.ru/3TibjS>), для осушки применяется МЭГ. Для оптимизации процесса используется симулятор химических процессов, который позволяет математически моделировать сложные химические массо- и теплообменные процессы, используя для этого набор математических уравнений, содержащихся в расчетных пакетах специализированного программного обеспечения. Сырьем процесса являются природные газы, поступающие с ОНГКМ, Карачаганакского НКГМ, газ рециркуляции.

Рассмотрим одну из нескольких установок очистки и осушки газа ОГПЗ. Установка состоит из двух одинаковых полулиний, на обе полулинии приходится один блок регенерации гликоля. Газ, поступающий на установку, содержит значительное количества кислых компонентов, в особенности сероводорода. Для достижения необходимой степени очистки газа используются жесткие технологические условия процесса. Смоделированный в программном продукте процесс представлен на рисунках 1, 2 и 3.

На рисунке 1 показано, что раствор абсорбента подается в колонну двумя потоками. Данная схема подачи обусловлена требованиями к очистке газа в связи с его составом. При такой схеме в среднюю часть колонны подается большее количество абсорбента, чем на верхнюю тарелку. Потоки абсорбента поступают в колонну при разных температурах, что приводит к созданию температурного градиента [6].

Раствор амина, применяемый на установке, является «гибридным», так как имеет добавку физического действия. Процентное содержание МДЭА в расчете на смесь МДЭА+ДЭА, содержащихся в растворе «Новамин» приблизительно равно 30/70% (<https://clck.ru/3TibjS>).

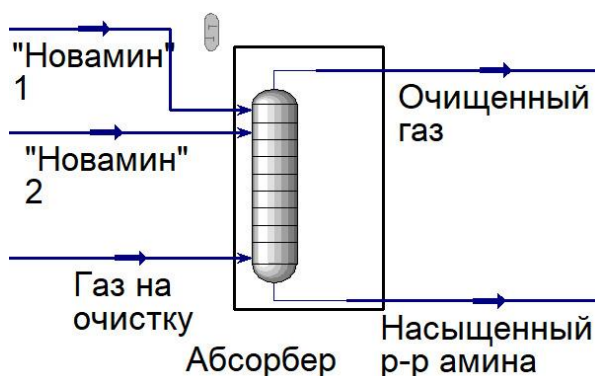


Рис. 1 Абсорбционная очистка сырьевого газа на первой полупилинии (составлено автором)

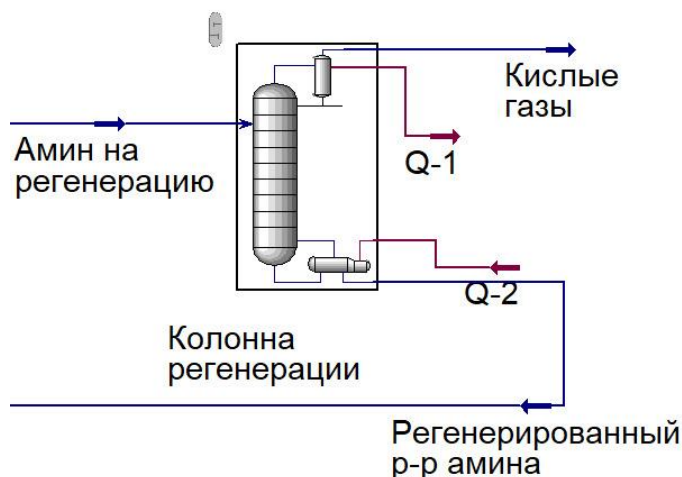


Рис. 2. Колонна регенерации насыщенного раствора амина на первой полупилинии (составлено автором)

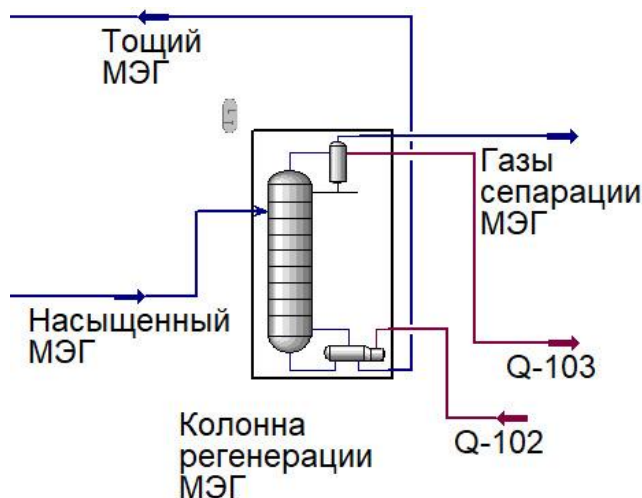


Рис. 3. Колонна регенерации насыщенного раствора МЭГ (составлено автором)

Смоделированный выше процесс является вариантом установки, которая функционирует на производстве в настоящее время. В ходе моделирования, было выявлено, что вода, уносимая с очищенным газом, не возвращается обратно в блок с регенерации аминового раствора, вследствие чего на поддержание концентрации абсорбента для очистки от кислых компонентов тратится дополнительное количество хим подготовленной воды

ежедневно. То есть, на поддержание заданной концентрации раствора, предприятие дополнительно тратит порядка 850 000 рублей ежегодно для приготовления водного раствора амина заданной концентрации.

В целях оптимизации процесса было решено смоделировать возвратный поток воды, получаемой с регенерации МЭГ, в процесс регенерации раствора амина. Ранее в колонне регенерации гликоля, представленной на рисунке 3, не было отбора дистиллята. То есть, колонна работала с бесконечным флегмовым числом. Решение по оптимизации процесса предлагает отбор дистиллята – воды, которая будет заводиться в поток насыщенного раствора амина, направляемого на регенерацию.

На рисунке 4 представлена усовершенствованная математическая модель блока регенерации амина. Вода, отбираемая с колонны регенерации МЭГ, прокачивается насосом и нагревается до необходимой температуры, далее разделяется на два равных по технологическим параметрам потока и направляется на подпитку раствора амина в колонны регенерации. Для примера на рисунке 4 приведена первая полулиния установки очистки и осушки газа.

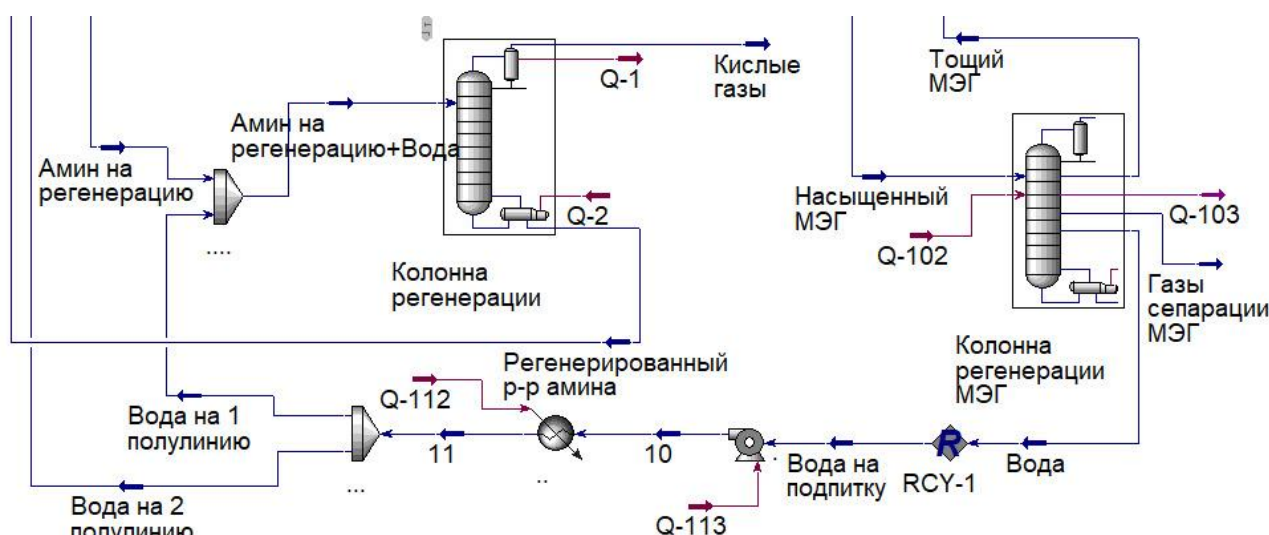


Рис. 4. Процесс регенерации раствора абсорбента

Результатами данного технологического решения методом математического моделирования в программе в специализированном программном продукте являются:

1. Снижение количества хим подготовленной воды, используемой для поддержания необходимой концентрации раствора абсорбента. Годовой расход энергоресурса снизился на 38,5 %, что приводит к снижению себестоимости готовой продукции.
2. Создания рецикла воды на установке с возможностью ее дальнейшего полезного использования.

Таким образом, моделирование действующей технологической установки в специализированном ПО позволяет выявить слабые места технологического процесса предложить способ оптимизации действующего процесса и спрогнозировать положительный экономический эффект при реализации данного предложения.

Литература

1. Атауллаев Ш.Н., Тиллоев Л.И., Халимов А.А. Анализ технологии глубокой осушки газа с применением растворов гликолей // Теория и практика современной науки. 2019. № 3(45). С. 33-35.
2. Ахмедова О.Б., Ахмедова Ш.У. Создание эффективной абсорбирующей композиции для абсорбционной очистке газа // Universum: технические науки. 2024. № 11(128). С. 67-71.
3. Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г., Худяков Д.С., Антонюк С.Н. ООО «Газпром переработка»: состояние и перспективы развития // НефтеГазоХимия. 2023. № 3-4. С. 7-14.
4. Муратова Э.Ж., Крапивин В.Б., Истомин В.А., Федулов Д.М. и др. Ингибитор гидратообразования на основе смесей моноэтиленгликоля и метанола // Вести газовой науки. 2023. № 4(56). С. 145-154.
5. Семин А.Н., Третьяков А.П., Данилова К.А. О добыче и запасах минеральных ресурсов крупнейших стран мира: рейтинговый анализ // ЭТАП. 2022. № 1. С. 7-27.
6. Хасанов А.С., Сатторов М.О., Ямалетдинова А.А. Технологическое оформление установок аминовой очистки газов // Молодой ученый. 2015. № 2(82). С. 225-226.
7. Юлдашев Т.Р. Актуальные проблемы аминной очистки природных газов и пути их использования // Universum: технические науки. 2023. № 4-6(109). С. 24-27.

© Рыбакова Л.О., Черкасова Е.И., Бронская В.В., 2026

Санников А.В., Медведев И.М., Соловьев А.А.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ВЫБОР СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Разработка программной реализации имитационной модели для оптимизации параметров установки извлечения гидроминерального сырья из подтоварной воды является логическим продолжением исследований, посвященных технологическим и экономическим аспектам данной тематики [4; 5]. В ранее выполненных работах обоснована технологическая схема переработки подтоварной воды и предложена экономико-математическая модель оценки эффективности внедрения установки с учетом неопределенности исходных параметров. Настоящая статья посвящена обоснованию выбора среды разработки для программной реализации указанной модели. Необходимость разработки специализированного программного продукта обусловлена тем, что имитационная модель предполагает многовариантные расчеты с учетом стохастического характера исходных данных (концентрации целевого компонента, коэффициента извлечения, рыночной цены продукции), а также построение распределений результатов и поиск оптимальных решений по критериям «доходность-риск». Реализация подобных задач в табличных процессорах либо в узкоспециализированных расчетных пакетах затруднительна при увеличении числа итераций и усложнении алгоритмов.

Цель данной статьи – разработать систему критериев выбора среды разработки для приложения имитационного моделирования методом Монте-Карло с учетом требований импортозамещения, провести сравнительный анализ доступных платформ и обосновать выбор конкретной среды разработки.

Для формирования системы критериев были проанализированы научные публикации 2021–2025 годов по тематике реализации имитационного моделирования методом Монте-Карло в различных программных средах, а также нормативные акты Российской Федерации в сфере импортозамещения ПО.

Метод Монте-Карло, представляющий собой класс численных методов, основанных на многократной генерации случайных величин для получения распределений вероятностей различных исходов, находит широкое применение в самых разных областях науки и техники. Анализ современных исследований демонстрирует его эффективность как универсального инструмента для анализа стохастических систем, где аналитические методы неприменимы или дают некорректные результаты. В частности, в сфере информационной безопасности имитационное моделирование методом Монте-Карло используется для оценки защищенности автоматизированных систем управления. Как показано в работе В.А. Вееводина, данный метод позволяет корректно оценить вероятность отказа сервера в условиях DDoS-атак, когда поток вредоносных заявок не является пуассоновским [2]. Моделирование, реализованное даже средствами табличного процессора, дает лицу, принимающему решения, научно обоснованный инструмент для оценки киберрисков и обоснования размера страховой премии,

а также позволяет сделать вывод о том, что повышение производительности сервера путем увеличения количества каналов обслуживания является более эффективной мерой, чем увеличение длины очереди.

В транспортно-логистической сфере метод Монте-Карло служит инструментом для анализа сложных систем взаимоотношений между участниками процесса. М.А. Шаповалова и А.Д. Семенов применили его для оценки эффективности взаимодействия оператора морского грузового терминала с таможенными органами [6]. Поскольку время выполнения отдельных операций в системе является случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения, исследователи использовали метод генерации Бокса-Мюллера для моделирования этих временных параметров. Алгоритм обхода сетевого графа в сочетании со стохастическим моделированием позволил определить распределение вероятностей общей продолжительности процесса и выявить критический путь. Результаты моделирования подтвердили эффективность применения технологии предварительного декларирования, что способствует ускорению грузовых операций и оптимизации работы портовой инфраструктуры.

В экономике и управлении инвестиционными проектами метод Монте-Карло является одним из ключевых инструментов для анализа рисков в условиях неопределенности. Е.Ю. Вардомацкая и П.С. Асobleва в своей статье демонстрируют его применение для оценки целесообразности инвестиций в производство нового изделия на основе показателя чистой приведенной стоимости (NPV) [1]. В отличие от детерминированных подходов, имитационное моделирование позволяет учесть стохастическую природу таких ключевых параметров, как переменные затраты, объем выпуска и цена продукции. Многократная генерация сценариев в среде MS Excel и последующий статистический анализ полученных распределений (расчет математического ожидания, доверительных интервалов, корреляционный анализ) дают возможность не только оценить вероятность получения убытка, но и найти параметры, обеспечивающие безубыточность или целевую доходность проекта, что делает этот метод незаменимым для поддержки принятия обоснованных управленческих решений.

Таким образом, представленные исследования подтверждают междисциплинарный характер и высокую практическую ценность метода Монте-Карло, который выступает в роли связующего звена между теоретическими вероятностными моделями и решением прикладных задач в области кибербезопасности, логистики и инвестиционного анализа.

В нашем случае имитационная модель в обобщенном виде (Формула 1) включает расчет материального потока извлекаемого компонента

$$M = Q \cdot C \cdot \eta, \quad (1)$$

где Q – дебит подтоварной воды,

C – концентрация целевого компонента,

η – коэффициент извлечения, зависящий от выбранной технологии.

Экономическая эффективность (Формула 2) определяется через показатель чистого дисконтированного дохода

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где I_0 – капитальные затраты,
 CF_t – денежный поток периода t ,
 r – ставка дисконтирования.

В условиях неопределенности параметры C , η и рыночная цена продукции моделируются как случайные величины, а оценка риска осуществляется на основе дисперсии или стандартного отклонения распределения NPV . Для обеспечения статистической достоверности требуется проведение не менее десяти тысяч итераций методом Монте-Карло.

Сравнительный анализ современных программных средств для имитационного моделирования, представлен в обзоре Lumina Decision Systems [7]. В результате анализа были выделены три блока критериев для выбора среды разработки имитационной модели:

1. Технические критерии. Ключевым техническим параметром для симуляции методом Монте-Карло является качество генератора псевдослучайных чисел. Точность метода напрямую зависит от числа итераций, при этом для задачи, описанной в [4], используется $N = 10000$ реализаций случайных параметров, что предъявляет умеренные требования к производительности, однако при расширении задачи (увеличении числа конфигураций установки) потребность в параллельных вычислениях возрастает. Среда разработки должна обеспечивать поддержку не менее 8–10 видов статистических распределений (нормального, логнормального, равномерного, треугольного, бета-распределения и других), поскольку входные параметры модели (концентрации компонентов, рыночные цены, коэффициенты извлечения) имеют различную природу стохастической изменчивости.

2. Критерии разработки. Программный комплекс предполагает создание базы данных по составу подтоварной воды, хранение сценариев колебаний рыночных цен и реализацию интерактивного интерфейса для выбора конфигурации установки. Это определяет требования к интеграции с системами управления базами данных, а также к наличию инструментов разработки пользовательского интерфейса. Дополнительно важна поддержка средств визуализации, позволяющих отображать Парето-оптимальное множество альтернатив в пространстве «прибыльность–риск». Критерий порога вхождения особенно значим в контексте последующего развития и сопровождения кода специалистами нефтегазовой отрасли, которые, как правило, не являются профессиональными разработчиками. Документация на русском языке и наличие активного русскоязычного сообщества рассматриваются как дополнительные преимущества.

3. Критерии цифрового суверенитета и импортозамещения. Начиная с марта 2022 года большинство крупных западных производителей программного обеспечения прекратили поставки продуктов и оказание технической поддержки на территории России. Под действие ограничений попали MathWorks MATLAB, Oracle Crystal Ball, Palisade @Risk, ряд продуктов Microsoft. Для организаций, относящихся к субъектам критической информационной инфраструктуры (в том числе нефтегазовых предприятий), переход на отечественное или открытое ПО стал нормативным требованием.

Перечисленные в статье [7] решения ориентированы преимущественно на научные или узкоспециализированные инженерные задачи и требуют глубокой настройки программной

среды. Кроме того, их применение в прикладных экономико-технологических расчетах, предназначенных для внедрения в производственных структурах, сопряжено с проблемами высокой цены, сложности интеграции и сопровождения. Все это позволило отсеять ряд решений и сформулировать критерии выбора из оставшейся совокупности.

С учетом специфики задачи были выделены критерии выбора среды разработки:

- вычислительная производительность при большом числе итераций;
- поддержка объектно-ориентированного программирования;
- наличие встроенных средств разработки графического интерфейса;
- возможность интеграции с базами данных и офисными приложениями;
- устойчивость и распространенность в корпоративной среде.

Для формализованной оценки альтернатив была использована адаптированная под условия решаемой задачи методология из статьи [3] и применена взвешенная модель (3):

$$K_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \quad (3)$$

где a_{ij} – оценка i -й среды по j -му критерию,

w_j – вес критерия.

В качестве альтернатив рассматривались:

1. Microsoft Excel (VBA);
2. MATLAB;
3. Python (с использованием библиотек NumPy, SciPy и специализированных пакетов);
4. Visual Studio (.NET, язык C#).

Результаты сравнительной оценки представлены в таблице. Полученные результаты показывают, что наибольшую интегральную оценку получает среда Visual Studio.

Таблица

Сравнительная оценка сред разработки [составлено автором]

Критерий	Excel	MATLAB	Python	Visual Studio
Производительность	2	4	4	4
Масштабируемость	2	4	4	5
Интерфейс	3	3	3	5
Интеграция с базой данных	2	3	4	5
Интеграция с корпоративным ПО	4	3	4	5
Интегральная оценка	2,6	3,4	3,8	4,8

Выбор Visual Studio обусловлен следующими факторами. Платформа .NET обеспечивает высокую производительность вычислений и поддержку многопоточности, что существенно сокращает время выполнения имитационных экспериментов. Язык C# предоставляет развитые средства работы с массивами данных и генерации случайных величин.

Среда содержит встроенные инструменты проектирования интерфейса (WPF, WinForms), позволяющие создать прикладное инженерное приложение с параметрическим вводом данных и визуализацией распределений результатов моделирования.

Visual Studio обеспечивает удобную интеграцию с реляционными базами данных и офисными приложениями, что позволяет формировать отчетность в формате, используемом в производственных и управленческих структурах. В отличие от MATLAB, не требует

дорогостоящих лицензий для конечных пользователей. По сравнению с Python-ориентированными решениями, Visual Studio предоставляет целостную интегрированную среду разработки и сопровождения проекта без необходимости дополнительной конфигурации зависимостей.

Таким образом, на основании сравнительного анализа и формализованной оценки альтернатив обоснован выбор среды разработки Visual Studio для программной реализации имитационной модели оптимизации параметров установки извлечения гидроминерального сырья. Принятое решение обеспечивает баланс вычислительной эффективности, архитектурной строгости и практической применимости разработанного программного комплекса. В статье разработана система из трех критериев выбора среды разработки для приложения имитационного моделирования методом Монте-Карло, включающая технические параметры, характеристики разработки и критерии цифрового суверенитета. Система применима в условиях санкционных ограничений и нормативных требований по импортозамещению.

Проведенный сравнительный анализ показал, что MATLAB стал недоступным для российских организаций. Из числа доступных вариантов наиболее оптимальным является среда Visual Studio, т. к. она обеспечивает полноту функционала для задачи, лицензионную независимость, совместимость с отечественным программным обеспечением.

Выбранная среда разработки обеспечивает реализацию всех ключевых компонентов программного комплекса: стохастическую генерацию параметров, вычисление показателей прибыльности и риска, построение Парето-оптимального множества конфигураций установки и интерактивный пользовательский интерфейс. Результаты данной статьи формируют методологическую основу для следующего этапа уже непосредственной программной реализации комплекса оптимизации технико-экономических параметров установок комплексного извлечения гидроминерального сырья.

Литература

1. Вардомацкая Е.Ю., Асоблева П.С. Имитационное моделирование инвестиционных рисков методом Монте-Карло // Материалы и технологии. 2022. Т. 9. № 1. С. 50-57.
2. Вееводин В.А., Черняев В.С., Нуценок Ц.М., Виноградов И.В. Методика оценки защищённости автоматизированной системы управления критической информационной инфраструктуры от DDoS-атак на основе имитационного моделирования методом Монте-Карло // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023. Т. 50. № 1. С. 62-74.
3. Голенищев Э.П., Клименко И.В. К вопросу выбора инструментального средства для разработки программного обеспечения // StudNet. 2022. Т. 5. № 2. С. 1083-1095.
4. Некрасов А.В., Соловьев А.А. Оптимизация технико-экономических параметров установки для извлечения гидроминерального сырья из подтоварной воды с помощью имитационного моделирования методом Монте-Карло // Вестник Югорского государственного университета. 2025. Т. 21, № 4. С. 78-86.

5. Облетова В.А., Шевляков В.В., Некрасов А.В. Технологические и экономические аспекты извлечения ценных компонентов из подтоварной воды // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета: Материалы конференции (Нижневартовск, 09–10 апреля 2025 года). Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2025. С. 401-407.

6. Шаповалова М.А., Семенов А.Д. Имитационное моделирование системы взаимоотношений участников транспортно-логистического процесса на морском грузовом терминале // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. 2022. Т. 14. №. 3. С. 336-345.

7. Lumina Decision Systems. Monte Carlo Simulation Software Comparison: [англ.] // Analytica: [сайт]. 2026. 3 Feb. URL: <https://clck.ru/3TicLu> (дата обращения: 24.02.2026).

© Санников А.В., Медведев И.М., Соловьев А.А., 2026

Спирина Ю.В., Мелкозерова Н.А.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Основное нефтепромысловое оборудование, – линейные и технологические трубопроводы, отстойники, сепараторы, – изготавливаются из различных марок низкоуглеродистой и легированной стали (например, Ст.20, 17Г1С, 09Г2С, 20ХФА). Такая сталь обладает высокими прочностными свойствами, хорошо сваривается обычной электродуговой сваркой. Насосно-компрессорные и обсадные трубы, к которым предъявляются более высокие прочностные требования, особенно к резьбовым соединениям, изготавливают из конструкционных легированных сталей с более высоким содержанием углерода. Наибольшее распространение получили такие марки сталей как 30ХМА, 30ХГСА, 40Х, 32Г2А, 25ХМА. Однако, по мере разработки нефтегазовых месторождений и увеличения обводненности добываемой продукции происходит рост отказов оборудования по причине нарушения целостности – сквозных коррозионных дефектов. Причина – электрохимическая коррозия, возникающая при контакте с подтоварной водой. Подтоварная вода, поступающая с нефтяных скважин характеризуется высокой минерализацией с растворенными в ней (в разной степени) агрессивными газами – углекислым газом и сероводородом (CO_2 , H_2S). Также в подтоварной воде по технологическим причинам может присутствовать растворенный кислород. Все эти факторы негативно сказываются на сроке службы трубопроводов и технологического оборудования, межремонтном периоде нефтяных скважин.

Особенно большой урон приносят отказы по причине коррозии на нефтепромысловых трубопроводах. Например, по трубопроводам системы нефтегазосбора транспортируется продукция от многих нефтяных скважин и при отказе на трубе большого диаметра на время проведения ремонтных работ приходится останавливать многие десятки скважин добывающего фонда. Это косвенные потери, которые влияют на объемы добычи предприятия и недополученную прибыль. Также в результате аварий на поверхность вливаются десятки тонн нефти и подтоварной воды, которые загрязняют окружающую среду. Эти потери называются прямыми и часто невосполнимые. Для очистки от загрязнений и восстановления нарушенных земель, выплаты штрафов, предприятия ежегодно затрачивают многомиллионные средства.

Средний срок службы трубопроводов системы нефтесбора и водоводов поддержания пластового давления составляет 10–15 лет. Это значит, что по истечению этого срока предприятия должны построить новый трубопровод. Общие капитальные затраты крупных нефтегазодобывающих предприятий на замену аварийных трубопроводов исчисляются миллиардами рублей.

Для снижения агрессивного действия подтоварной воды предприятия начали покрывать внутреннюю поверхность труб различными покрытиями. Наибольшее распространение получили эпоксидные покрытия. В 1996 году в Нижневартовском районе для этой цели был

построен завод по покрытию труб, который функционирует по настоящее время. Однако, в жестких условиях эксплуатации покрытия служат не более 10 лет. Накладываются также проблемы по надежности защиты области сварных стыков.

С конца 90-х трубопроводов системы нефтесбора и водоводов низкого давления в ограниченных объемах стали применять трубы, изготовленные из неметаллических материалов. Для трубопроводов малого диаметра (Ду80, Ду100) это гибкие полимерно-металлические трубопроводы, а для труб, охватывающих почти всю номенклатуру (от Ду80 до Ду500) – стеклопластиковые (фибергласовые) трубы. Вопросам применения труб из неметаллических материалов посвящено ряд научных исследований, отражающих различные аспекты комплексного подхода к их применению в нефтегазовом секторе, включающих их технические характеристики, перспективы использования в строительстве нефтепромысловых трубопроводов [1; 2], методы диагностики [6], порядок выбора технологий строительства и материалов для различных условий эксплуатации [3; 4; 7; 8], а также обобщению опыта их применения [10; 11].

Стеклопластиковые трубы – это композитные материалы, изготовленные из стекловолокна и связующего полимера (смолы). Трубопроводы, построенные из неметаллических материалов не подвержены коррозии. Стеклопластиковые трубы обладают достаточной прочностными свойствами для возможности их применения в условиях нефтепромысла. Однако, для строительства трубопроводов, построенных из таких труб, предъявляются повышенные требования к проектным решениям и качества СМР. Эти требования обусловлены тем обстоятельством, что при циклических нагрузках, изгибах, со временем возникают микротрещины, которые в дальнейшем могут привести к полному разрыву трубы. Разрыв на полное сечение приводит к существенно большим экологическим последствиям, чем утечки, вызванные локальной коррозией в стальных трубопроводах. В условиях местности со стабильными грунтами и на площадочных объектах, при правильной эксплуатации, такие трубы могут служить безаварийно в течение длительного периода. А в условиях Западно-Сибирского региона, где большую часть ландшафта составляют болота 1–3 категорий и многочисленные водные объекты (озера, реки, ручьи) с сезонной подвижкой грунтов к проектированию и прокладке трубопроводов из стеклопластика следует подходить очень ответственно. Например, – укладывать трубы на подушку из привозного песка, дополнительно укреплять (закреплять анкерными опорами) места врезок с другими трубопроводами. Совокупность этих факторов и несколько произошедших серьезных аварий привели к практически полному и на наш взгляд, необоснованному отказу от строительства стеклопластиковых трубопроводов в Западно-Сибирском регионе. На рисунке 1 представлено фото стеклопластиковых труб с типом их соединения «раструб–ниппель».



Рис. 1. Стеклопластиковые трубы с соединением «раструб-ниппель» (<https://clck.ru/3TicZg>)

Положительный опыт эксплуатации трубопроводов из стеклопластиковых труб имеет компания ООО «РИТЕК», входящая в структуру ПАО «Лукойл» [10].

ООО «РИТЭК» выполняет функции научно-технического полигона ПАО «ЛУКОЙЛ» и специализируется на разработке, испытаниях и внедрении новых технологий для эффективной добычи нефти. Трубная продукция из стеклопластиковых материалов начала применяться в ООО «РИТЭК» с 2018 года. На графике (рис. 2) представлена динамика роста протяженности трубопроводов из неметаллических стеклопластиковых материалов с 2018 по 2024 гг.



Рис.2 Динамика строительства трубопроводов из неметаллических материалов в ООО «РИТЭК» [10, с.8]

В системе водо и теплоснабжения городских коммуникаций успешно применяются пластиковые трубы, изготовленные из полиэтилена, полипропилена и полиуретана. Возможность их в применении данном случае обусловлена в первую очередь низкими давлениями перекачиваемой воды (до 1 МПа) и отсутствием экологических последствий в случае разгерметизации. На трубопроводах системы нефтесбора рабочие давления существенно выше и могут достигать 4 МПа. Прочностные свойства полиэтилена высокого давления не превышают 40 МПа. С увеличением диаметра труб и рабочего давления, пропорционально растут внутренние напряжения. Поэтому в настоящее время линейка труб из полиэтилена для нефтяников ограничена небольшими диаметрами (Ду80...Ду150). Наибольшее распространение получили гибкие полимерно-армированные трубы (ГПАТ). Для

усиления прочностных свойств их производят из различных слоев, каждый из которых имеет свое назначение (рис. 3).

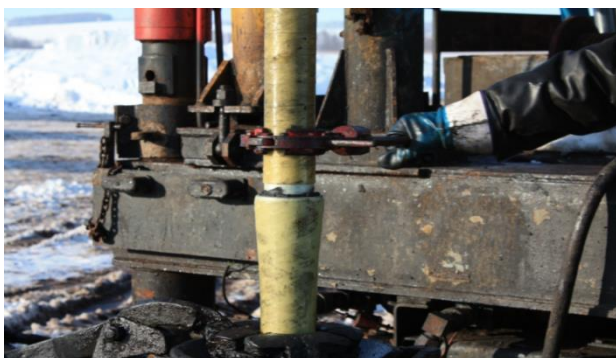


**Рис. 3. а) строение ГПАТ (<https://clck.ru/3Ticgw>),
б) поставляемая гибкая труба, намотанная на барабан (<https://clck.ru/3Tiche>)**

Внутренняя трубка – полимерный слой, который обеспечивает сохранность транспортируемого флюида. Изготавливается методом непрерывной экструзии из композиций на основе полиэтилена низкого давления. Армирующий слой – конструкционный элемент, состоящий из нескольких слоёв металлической, полимерной или полимерной армированной ленты, навитой в противоположных направлениях, который повышает сопротивление гибкой трубы внутреннему и наружному давлению, а также механическим нагрузкам. Противоизносный слой – неметаллический слой в виде ленточной обмотки, предназначенный для минимизации износа между слоями конструкции. Внешняя оболочка – полимерный слой, предназначенный для защиты армирующих элементов от коррозии, абразивного и механического повреждений, а также для их удержания в заданном после формирования положении. Внешняя оболочка изготавливается методом непрерывной экструзии из композиций на основе полиэтилена, устойчивого к ультрафиолетовому излучению.

Общая длина секций ГПАТ зависит от их диаметра и составляет от нескольких сот до 1500м. Они быстро разматываются в полевых условиях и экономят много времени и капитальных затрат при проведении строительно-монтажных работ (СМР). Трубы ГПАТ показали свою надежность, ремонтно-пригодность, имеют срок службы до 20 лет.

Стеклопластиковые материалы успешно применяются также для изготовления НКТ. Однако, ввиду более низких характеристик резьбовых соединений по сравнению со стальными НКТ, они не выдерживают большого количества скручиваний при проведении спускоподъемных операций (выдерживают до 7 скручиваний). Поэтому, для увеличения их срока службы, концы трубопроводов изготавливают из стальных вставок для нарезки резьбы (рис. 4).



а)



б)

Рис.4 НКТ из стеклопластиковых материалов; а) проведение спускоподъемных операций (<https://zst.ru/products/nkt/#photo-5>); б) стеклопластиковые НКТ с металлическими концами для резьбовых соединений (<https://bzs.ru/catalog/truby-nkt-stekloplastikovye>)

В последние несколько лет создана нормативная база (федеральные стандарты) для применения труб из неметаллических материалов для строительства нефтепромысловых трубопроводов [5; 9].

В России налажено производство труб из неметаллических материалов. Крупнейшими российскими производителями стеклопластиковых труб являются:

ООО НПП «Завод стеклопластиковых труб», г. Казань,
 ПК «Стеклокомпозит», г. Рязань,
 ООО «ТСТ» (технологии стеклопластиковых трубопроводов), г. Пермь,
 ООО «ТрубопроводСпецСтрой», г. Пермь,
 ООО «Новые композитные технологии», г. Курск,
 НПП «Алтик», г. Курган.
 Крупнейшие российские производители полимерных труб:
 Группа компаний «Полипластик»,
 Группа компаний «Евротрубопласт»,
 ООО «Энерготрубопласт» г. Можайск,
 ПАО «Казаньоргсинтез»,
 Группа компаний «Энергомаш-ВТС»,
 ООО «НАНО-ПЛАСТ», г. Екатеринбург.

Заключение

Трубы из неметаллических материалов находят все большее применение в нефтегазовой отрасли. Такие трубы имеют ряд существенных преимуществ перед стальными. Их вес в несколько раз меньше стальных (в 3–5 раз). А главное преимущество – они не подвержены коррозии, что существенно увеличивает их срок службы. Однако, для их широкого применения, особенно, изготовленных из стеклопластика, требуется высокая культура проектирования, строительства и эксплуатации.

Литература

1. Агапчев В.И., Виноградов Д.А. Металлопластовые трубы перспектива транспорта нефтепродуктов // Нефтяное хозяйство. 2005. № 2. С. 106-107.

2. Агапчев В.И., Виноградов Д.А., Абдуллин В.М. Трубопроводные системы из композиционных материалов в нефтегазовом строительстве // Известия Вузов. Нефть и газ. 2003. № 5. С. 91-95.
3. Андреева А.К., Терентьев А.Н. Исследование технологий строительства промысловых трубопроводов из неметаллических материалов // Вестник науки. 2024. Т. 4. № 10(79). С. 837-841.
4. Гарифуллин А.А., Буркутаев А.Б., Романчук А.С. и др. Подход к выбору типов полимерно – композитных труб для промысловых трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспортировки нефти и нефтепродуктов. 2023. № 6(148). С.86-100.
5. ГОСТ 70623-2023 «Трубопроводы из гибких полимерно-армированных труб. Правила проектирования, монтажа, эксплуатации».
6. Елизаров С.В., Терентьев Д.А., Медведев К.А., Иванов В.И., Халимов А.Г., Бардаков В.В. Акустико-эмиссионная диагностика стеклопластиковых труб и фитингов // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24. № 1(271). С. 12-25.
7. Меерович А.Ф. Возможность применение стеклопластиковых труб на скважинах Приобского месторождения // Энигма. 2020. № 27-3. С. 143-148.
8. Обидин С.Н. Повышение безопасности межпромысловых газопроводов в районах с холодным климатом за счет внедрения стеклопластиковых труб // Оригинальные исследования. 2024. Т. 14. № 9. С. 179-184.
9. СП 536.1325800.2024 «Трубопроводы промышленные из неметаллических труб. Правила проектирования и строительства».
10. Хаиров Д.К. Опыт эксплуатации трубопроводов в неметаллическом исполнении и планы модернизации трубопроводного парка ООО «РИТЭК» // Инженерная практика. 2022. № 1. С. 8-14.
11. Шлюнько И.В., Кондратьева Н.М., Литвинова В.А. Применение стеклопластиковых труб в нефтегазовой отрасли // Избранные доклады 68-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых (Томск, 16–20 апреля 2018 года). Томск, 2022. С. 272-274.

© Спирина Ю.В., Мелкозерова Н.А., 2026

Ташбулатова А.Р., Муфтахов В.З.
Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ

Глобальный переход к циркулярной экономике, подкреплённый ужесточением экологических стандартов (включая международные стандарты и российские национальные программы до 2030 года), актуализирует проблему утилизации буровых отходов в нефтегазовой отрасли. Эти отходы, традиционно рассматриваемые как экологическая угроза, обладают значительным потенциалом для трансформации в ценные ресурсы. Эффективная переработка позволит не только минимизировать антропогенное воздействие на окружающую среду, но и создать дополнительные источники дохода через производство востребованной вторичной продукции.

Современные методы утилизации характеризуются фрагментарностью управленческих и технологических подходов, что приводит к системным проблемам: коэффициент переработки не превышает 40%, а токсичные компоненты накапливаются на полигонах. Это влечёт за собой не только прямые экологические риски загрязнения почв и водоёмов, но и существенные финансовые потери из-за штрафов за несоблюдение нормативов. Отсутствие комплексных решений усугубляет ситуацию, ограничивая возможности отрасли в реализации принципов устойчивого развития.

В связи с этим, разработка интегрированной модели управленческих и технологических решений, обеспечивающей переработку не менее 70% буровых отходов в высококачественную вторичную продукцию является актуальной. В качестве целевых продуктов необходимо рассматривать композитные материалы для дорожного строительства, обладающие значительным рыночным потенциалом и вовлечением. Экономическая эффективность решений должна составлять не менее 15% от затрат на утилизацию, что подтвердит их практическую применимость.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: анализ состава и объёмов отходов для идентификации ценных компонентов; проектирование технологической схемы гидромеханической обработки с этапами сепарации и стабилизации; разработка управленческой модели, оптимизирующей логистику и распределение ресурсов; оценка экономико-экологической эффективности через сценарное моделирование на реальных данных. Результаты позволят сформировать научно обоснованные рекомендации для внедрения в отраслевую практику.

Состав и объёмы буровых отходов нефтегазовой отрасли РФ

Буровые отходы нефтегазовой отрасли РФ представляют собой сложные многокомпонентные системы, включающие буровые растворы, шламы и промывочные жидкости. Буровые растворы содержат нефтепродукты, глинистые частицы и химические реагенты. Шламы формируются из выбуренной породы с примесями буровых растворов и нефтепродуктов. Промывочные жидкости состоят преимущественно из водных растворов с добавлением поверхностно-активных веществ требующих специальных условий утилизации.

Ежегодные объёмы образования буровых отходов в России оцениваются в 1,2–1,5 млн тонн (~1 тыс. тонн на 1 скважину), причём основные объёмы приходятся на ключевые нефтедобывающие регионы. Ханты-Мансийский автономный округ и Ямало-Ненецкий автономный округ генерируют до 65% от общего объёма буровых отходов. Такая региональная концентрация отходов создаёт значительную нагрузку на локальные экосистемы и требует разработки дифференцированных подходов к утилизации [4].

Классификация буровых отходов по степени опасности и потенциалу вторичного использования

Классификация буровых отходов по степени опасности является основополагающим этапом для разработки стратегий их утилизации. Систематизация позволяет дифференцировать отходы по уровню негативного воздействия на окружающую среду и выделить группы, пригодные для рециклинга. «Полученные характеристики позволяют отнести буровые отходы, к IV классу опасности для окружающей среды. Этот класс опасности позволяет использовать буровые отходы в качестве сырья при производстве строительных материалов [5, с. 85]». Данная категоризация создаёт правовую и технологическую основу для организации процессов вторичного применения отходов бурения.

Современные подходы к утилизации буровых отходов: анализ эффективности и экологических рисков

Современные технологии утилизации буровых отходов включают термические, физико-химические и биологические методы, каждый из которых обладает специфическими преимуществами и ограничениями. Термические способы, такие как сжигание, обеспечивают значительное сокращение объёмов отходов, но сопровождаются риском выбросов токсичных веществ в атмосферу. Физико-химические методы, включая стабилизацию и отверждение, демонстрируют высокую эффективность в иммобилизации опасных компонентов, однако требуют существенных материальных затрат [1, с. 54]. Биологическая очистка рассматривается как экологически безопасный вариант, но её применение ограничено длительностью процессов и чувствительностью к составу отходов.

Технологическая схема переработки буровых отходов с получением вторичной продукции (композитные материалы)

Сепарация и очистка буровых отходов представляют собой фундаментальный этап технологической схемы переработки. На данной стадии осуществляется разделение глинистых суспензий, твёрдых частиц и нефтепродуктов с применением механических и физико-химических методов. Качественная очистка позволяет получить сырьё с предсказуемыми характеристиками, пригодное для дальнейшей переработки. Особое внимание уделяется удалению токсичных компонентов и стабилизации состава, что обеспечивает безопасность последующих технологических операций [3, с. 38].

Формирование композитных материалов из подготовленного сырья базируется на технологиях модификации и компаундирования. Обработанные отходы смешиваются с полимерными матрицами или минеральными вяжущими для создания материалов с заданными физико-механическими свойствами. Утилизация буровых отходов с получением

строительного материала производится путём внесения наполнителя, вяжущих и сорбирующих компонентов, с целью связывания мелкодисперсных частиц и свободной влаги бурового отхода в плотный массив материала комковатой структуры.

Рассмотрим на примере получения востребованного строительного материала «Ресоил» основные этапы получения которого представлены в таблице.

Таблица

**Утилизация отходов бурения с получением строительного материала «Ресоил»
[составлено автором]**

Этап 1. Внесение материалов	
	
Этап 2. Подготовка перемешивание материалов в шламовом амбаре	
	
Этап 3. Отбор проб и вывоз строительного материала на площадки вовлечения	
	

Контроль параметров отверждения и структурообразования позволяет регулировать прочностные характеристики, термостойкость и устойчивость к агрессивным средам. Полученная вторичная продукция применяется для рекультивации шламовых амбаров, отсыпки оснований кустовых площадок, строительства внутри промышленных автомобильных дорог, отсыпки рекультивированных шламовых амбаров и шламонакопителей, карьеров, выемок, свалок, полигонов ТБО, укрепления откосов дорог, обваловок кустов с учётом технических характеристик, установленных в технических условиях.

Интеграция технологических и управленческих решений для оптимизации процесса утилизации

Оптимизация процесса утилизации буровых отходов достигается за счёт синергетического взаимодействия технологических параметров переработки и управленческих алгоритмов распределения ресурсов. Технологическая схема, включающая этапы сепарации и стабилизации отходов, требует точной координации с логистическими операциями по сбору и транспортировке сырья. Управленческая модель обеспечивает своевременное распределение материальных и человеческих ресурсов между производственными участками, минимизируя простои оборудования. Такой подход позволяет повысить общую эффективность системы за счёт сокращения временных и энергетических затрат на каждом этапе переработки.

Методология оценки экономической эффективности внедрения решений по утилизации буровых отходов

Методология количественной оценки экономической эффективности базируется на трёх ключевых компонентах: капитальных затратах, операционных расходах и доходах от реализации вторичной продукции. Капитальные затраты включают инвестиции в строительство перерабатывающих мощностей и закупку специализированного оборудования для утилизации буровых отходов. Операционные расходы охватывают текущие затраты на транспортировку, обработку отходов и производство композитных материалов. Доходная часть формируется за счёт продажи полученных вторичных продуктов, что создаёт дополнительный экономический эффект от внедрения технологических решений.

Для оценки экономической целесообразности определяются три ключевых показателя: чистый дисконтированный доход, срок окупаемости и индекс рентабельности. Чистый дисконтированный доход рассчитывается как разница между дисконтированными денежными потоками от реализации проекта и объёмом первоначальных инвестиций. Срок окупаемости отражает период, необходимый для возврата капитальных вложений за счёт генерируемых доходов. Индекс рентабельности демонстрирует соотношение приведённой стоимости будущих денежных потоков к первоначальным инвестициям, что позволяет ранжировать проекты по эффективности использования ресурсов [2].

Применение технологий утилизации буровых отходов с получением вторичной продукции демонстрирует существенное снижение экологического ущерба по сравнению с традиционными методами захоронения. Традиционное захоронение приводит к долгосрочному загрязнению почв и грунтовых вод за счёт миграции токсичных компонентов, таких как тяжёлые металлы и углеводороды. Технологии переработки в композитные материалы минимизируют эти риски за счёт иммобилизации опасных веществ в твёрдой матрице. Это подтверждается снижением показателей химического загрязнения на 40-60% при лабораторных испытаниях образцов вторичной продукции.

Сравнительный анализ сценариев утилизации и рекомендации по внедрению

Сравнительный анализ сценариев утилизации буровых отходов устанавливает существенные различия в их экономической эффективности и экологической безопасности.

Наиболее оптимальным решением для промышленного внедрения признана комплексная технология переработки с получением вторичных композитных материалов, демонстрирующие наилучшее соотношение капитальных затрат и доходов от реализации вторичной продукции. Подобный подход обеспечивает снижение экологической нагрузки на 40-60% по сравнению с традиционными методами захоронения, что подтверждается результатами оценки жизненного цикла.

Заключение

Модель получения вторичных продуктов, востребованных в производственных циклах нефтегазовой отрасли демонстрирует высокую эффективность, обеспечив преобразование 72–75% отходов в композитные материалы для дорожного строительства. Экономическая рентабельность процесса по предварительным расчётам составляет 16–18%. Достижение данных результатов даёт возможность сделать вывод по возможному внедрению экономически обоснованной системы утилизации с организацией контроля характеристик вторичного продукта. Вовлечение вторичных продуктов от утилизации отходов бурения обеспечивает снижение экологической нагрузки на 40–45% за счёт полной ликвидации токсичных отвалов и предотвращения загрязнения почвенно-водных систем. Экологические показатели от применения подобных методов соответствуют принципам циркулярной экономики и международным стандартам по отходам.

Подобная модель обращения с отходами бурения показывает свою операционную жизнеспособность за счёт оптимизации логистических цепочек сбора и транспортировки отходов на территориях их образования, а также рационального распределения ресурсов. Интеграция технологических процессов с организационными механизмами контроля качества позволяет оценочно сократить издержки до 22–25%. Практическое внедрение решения по утилизации отходов бурения методом получения вторичных продуктов рекомендуется начинать с пилотных проектов на месторождениях Западной Сибири. Так как на рынке представлены несколько вариантов утилизации отходов бурения применением смесевых технологий и получением различных по свойствам вторичных продуктов. В связи с этим необходимо проверить технические характеристики получаемых продуктов и их применимость на конкретных условиях.

Литература

1. Гаевая Е.В., Тарасова С.С., Рудакова Л.В. Экологическая оценка буровых отходов и разработка способа их биоремедиации. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. 96 с.
2. Курбатова А.И., Савенкова Е.В., Рошин А.В. Системный подход к оценке устойчивости системы управления твердыми коммунальными отходами: аналитический обзор // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2025. № 1. С. 321-325.
3. Пугин К.Г., Пугина В.К. Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 2. С. 38-42.

4. Румянцева А.В., Березюк М.В., Пластинина Ю.В. Обоснование метода утилизации буровых отходов при добыче нефти на основе современных технологий // Вестник евразийской науки. 2023. № 2. С. 1-5.

5. Фадеев А.М., Лисунова Е.М. Технологическая обеспеченность проектов в Арктике: вызовы для науки и промышленности // Арктика – 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2021. № 2. С. 84-88.

© Ташбулатова А.Р., Муфтахов В.З., 2026

Чалей П.А., Рукин М.В.

Нижневартовский государственный университет
г. Нижневартовск, Россия

УПРАВЛЕНИЕ УТИЛИЗАЦИЕЙ БУРОВЫМИ ОТХОДАМИ: ОЦЕНКА МАСШТАБОВ, ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЙ И КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ

Буровые отходы (БО) являются неотъемлемым компонентом технологического цикла строительства скважин в нефтегазовой отрасли. Процесс бурения нефтяных скважин неизбежно сопровождается образованием значительных объёмов отходов, включающих выбуренную породу (шлам), которая представляет собой жидкую суспензию или пастообразную массу, образовавшуюся в процессе бурения нефтяных скважин, и состоит из частиц горной породы, измельченного бурового инструмента, воды и глинистых минералов, помимо шлама образуются отработанные буровые растворы и буровые сточные воды. При бурении нефтедобывающих скважин, буровой отход выносится на поверхность за счет циркуляции промывочной жидкости (воды, глинистого или полимерного раствора). Раствор подается под давлением, захватывает разрушенную породу на забое и выносит ее на поверхность, очищая скважину. В условиях Западной Сибири, где сосредоточено более 50% добываемой в Российской Федерации нефти, ежегодный объем образующихся буровых отходов оценивается в 1,5–2,0 млн. тонн [1, с. 15]. На один метр проходки в геолого-технологических условиях региона приходится от 0,35 до 0,58 м³ отходов бурения, что обусловлено сложными горно-геологическими условиями и необходимостью применения многофункциональных буровых растворов [1, с. 16]. Современные требования законодательства РФ (ФЗ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления») исключают практику длительного хранения БО в шламовых амбарах, что ставит перед нефтедобывающими предприятиями задачу оперативной утилизации непосредственно в ходе буровых работ.

Актуальные проблемы управления буровыми отходами в нефтегазовом секторе Западной Сибири носят преимущественно технологический характер. Во-первых, значительная часть образующихся отходов содержит барит (сульфат бария) в концентрации до 40–60%, что делает их непригодными для прямого использования в строительстве без предварительной переработки [2, с. 47]. Во-вторых, сезонность буровых работ в условиях Крайнего Севера (период зимней дороги) создает пики накопления отходов, требующие мобильных решений для их переработки на месторождении. В-третьих, отсутствие единой методологии оценки эффективности утилизации приводит к формальному подходу: предприятия фиксируют факт обработки отходов, но не контролируют качество получаемого вторичного продукта и его дальнейшую судьбу в производственном цикле.

Целью данной работы является анализ современных подходов к управлению утилизацией буровых отходов, включающий оценку масштабов их образования, обзор применяемых технологий обезвреживания и переработки, а также рассмотрение методов контроля эффективности утилизации. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи: охарактеризовать состав и свойства основных видов буровых отходов;

проанализировать существующие технологии их утилизации с выявлением преимуществ и ограничений каждого метода; рассмотреть критерии и инструменты оценки результативности процессов обезвреживания.

В современных условиях наиболее эффективными технологиями утилизации буровых отходов в нефтегазовой отрасли Западной Сибири признаны три направления, выбранных по критериям технологической зрелости, экономической целесообразности и возможности интеграции в производственный цикл бурения.

Термическая деструкция в вращающихся печах при температуре 600–850°C позволяет полностью разлагать органические компоненты бурового шлама с получением инертного минерального остатка, пригодного для использования в качестве наполнителя в дорожном строительстве [3, с. 92]. Данный метод выбран для условий Западной Сибири по двум причинам: во-первых, он не требует предварительной сортировки отходов, что критично при работе в удаленных районах; во-вторых, в качестве топлива может использоваться попутный нефтяной газ непосредственно с месторождения, что снижает себестоимость процесса. Реализация технологии подтверждена строительством линии термической деструкции на Ванкорском месторождении («Роснефть», 2023 г.), где в качестве топлива для печи используется газ, добываемый на месторождении (<https://clck.ru/3RrSsE>).

Физико-химическая стабилизация с применением минеральных вяжущих (портландцемент марки М400 в количестве 10–20% от массы шлама, зола-унос ТЭС) и структурообразователей позволяет переводить жидкие и полужидкие буровые отходы в твердую фазу с последующим использованием в качестве грунтового материала при обустройстве месторождений [2, с. 49]. Для утилизации таких буровых отходов сооружаются земляные емкости, так называемые шламовые амбары – шламонакопители, которые считаются одними из опасных источников загрязнения [6]. Технология особенно востребована при бурении на болотистых территориях Западной Сибири, где требуется постоянное пополнение грунтовых материалов для строительства технологических площадок и подъездных путей. Опытно-промышленные испытания технологии проведены на месторождениях ХМАО в 2020–2021 гг., где утилизация отходов осуществлялась параллельно процессу бурения в течение не более двух недель [1, с. 18]. Полученный материал соответствует требованиям ГОСТ 25100-2011 по физико-механическим характеристикам для использования в дорожном строительстве. По полученным данным 2025 года, на ключевом объекте инфраструктуры Самотлорского месторождения (кустовая площадка № 4303) была произведена утилизация 125 тыс. м³ буровых отходов. Данный объект остается единственным специализированным пунктом приема отходов для последующей физико-химической стабилизации в районе работ, что подтверждает высокую концентрацию потоков отходов на ограниченной инфраструктуре.

Внутрипластовая закачка буровых отходов представляет собой инновационный метод, исключая контакт отходов с окружающей средой. Технология реализована «Роснефтью» на Самотлорском месторождении (Нижневартковский район, 2017 г.) в опытно-промышленном масштабе (<https://clck.ru/3RrTEr>). Производительная мощность комплекса составляет более

140 тыс. м³ бурового шлама в год. Закачка осуществляется в специально выделенные геологические объекты с низкой проницаемостью, изолированные тектоническими экранами. Преимуществом метода является полное исключение этапов транспортировки и хранения отходов, а также снижение затрат на утилизацию на 30–40% по сравнению с традиционными методами [5, с. 118]. Подтверждением сохраняющейся актуальности проблемы служат данные 2025 года: на объекте 1771Б Самотлорского месторождения объем внутрислоистой закачки буровых отходов составил 151 тыс. м³. Данная цифра свидетельствует о том, что, несмотря на внедрение профилактических мер, отрасль продолжает сталкиваться со значительными масштабами образования отходов, требующими эффективных решений по утилизации.

При оценке экономической целесообразности технологий утилизации буровых отходов важным критерием является сравнительный анализ удельных затрат. Согласно исследованию Румянцевой А.В., Березюк М.В. и Пластиной Ю.В., полная себестоимость утилизации 1 м³ буровых отходов методом закачки в пласт при полной загрузке оборудования составляет 2 277,49 руб., что на 33,7% ниже стоимости услуг сторонних утилизирующих компаний (3 427,06 руб./м³) [4, с. 8]. При этом авторы отмечают, что эффективность технологии закачки напрямую зависит от объемов образующихся отходов: при снижении годовой загрузки установки ниже 100 тыс. м³ удельные постоянные расходы возрастают, что требует дополнительного вовлечения в переработку смежных видов нефтешламов для поддержания рентабельности процесса [4, с. 9].

На Самотлорском месторождении нефти и газа, ежегодно образуется около 400 тыс. м³ буровых отходов. Самый используемый метод утилизации (обезвреживания) уже образовавшихся буровых отходов на Самотлорском месторождении – физико-химическая стабилизация с последующим использованием обезвреженного материала в рекультивации или захоронении. Выбор физико-химической стабилизации (солидификации) в качестве основного метода утилизации буровых отходов на Самотлорском месторождении обусловлен комплексом технологических, экономических, климатических и нормативных факторов:

Климатические условия Западной Сибири.

Суровый климат с продолжительной зимой (до 7–8 месяцев отрицательных температур) делает многие технологии малоприменимыми. Например, биоремедиация требует положительных температур и вегетационного периода, что в условиях ХМАО возможно лишь 3–4 месяца в году. «Самотлорнефтегаз» первым в России внедрил технологию зимней рекультивации, позволяющую выполнять до 70% технических работ в период морозов – это стало возможным именно благодаря солидификации, которая не зависит от температуры окружающей среды

Экономическая эффективность.

Стоимость солидификации значительно ниже альтернативных методов:

Термическая деструкция требует капитальных вложений от 50 млн руб. на мобильную установку УТД-2 плюс высокие эксплуатационные расходы на энергоносители.

Закачка в пласт (CRI) требует инвестиций от 100 млн руб. на куст скважин для создания системы подготовки пульпы и контроля закачки.

Солидификация использует недорогие реагенты (цемент, известь, местные глины и сорбенты), что делает её экономически доступной даже для массового применения.

Таблица

Технологические ограничения альтернативных методов [составлено автором]

Метод	Ограничения для условий Самотлора
Термическая деструкция	Высокая энергоёмкость (требуется нагрев до 400–900°C), сложность эксплуатации в условиях Крайнего Севера, необходимость утилизации золы и контроля выбросов. На Самотлоре подтверждённых проектов термической деструкции нет.
Закачка в пласт	Требует наличия подходящих поглощающих горизонтов с определёнными фильтрационными свойствами; не применима на 30–40% месторождений Западной Сибири из-за геологических ограничений. На Самотлоре CRI применяется лишь в пилотном режиме с 2017 г.
Биоремедиация	Требует положительных температур, длительного времени (6–24 месяца), контроля влажности и аэрации – неприменима в условиях короткого лета и многолетней мерзлоты в отдельных районах региона.

Получение вторичного продукта для рекультивации.

Солидифицированный шлам превращается в искусственный грунт, пригодный для:

Засыпки исторических шламовых амбаров, создания оснований для дорог и площадок, рекультивации нарушенных земель

Эта технология позволила «Самотлорнефтегазу» завершить в 2024г. масштабную программу рекультивации земель «исторического наследия» общей площадью 2,2 тыс. га.

Соответствие нормативным требованиям.

ПНСТ 472-2020 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Общие требования по обращению с отходами бурения» допускает применение солидификации как одного из стандартных методов обезвреживания

После солидификации отходы могут быть классифицированы как менее опасные (с IV до V класса), что упрощает их дальнейшее размещение или использование.

Опыт применения и адаптация к местным условиям.

Технология солидификации с использованием местных материалов (глины, песка) была адаптирована самарскими учёными «Роснефти» специально для условий Западной Сибири и внедрена на Самотлоре.

Предприятие сформировало методологическую базу уникальных методов рекультивации в условиях северных территорий, включая комбинацию солидификации с фитомелиорацией.

Физико-химическая стабилизация выбрана как оптимальный компромисс между:

- доступностью и низкой стоимостью,
- независимостью от климатических условий,
- возможностью получения вторичного продукта для рекультивации,
- соответствием нормативным требованиям.

При этом следует отметить: основной акцент «Самотлорнефтегаза» сделан не на утилизацию уже образовавшихся отходов, а на предотвращение их образования через

безамбарное бурение (с 2003г.), что снижает объёмы отходов на 60–70% по сравнению с традиционными технологиями

Контроль эффективности утилизации буровых отходов должен осуществляться по трем критериям: технологическому (степень извлечения ценных компонентов и соответствие полученного продукта техническим регламентам), экономическому (снижение затрат на обращение с отходами) и ресурсному (объем полученного вторичного продукта, пригодного для использования в производственном цикле). Предлагается внедрить систему ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки утилизации: коэффициент возврата материалов (КВМ), рассчитываемый как отношение массы извлеченных компонентов к массе исходных отходов; экономический эффект утилизации (ЭЭУ) – разница между затратами на традиционное захоронение и затратами на переработку с учетом стоимости полученного продукта [2, с. 50].

Внедрение комплексного подхода к управлению буровыми отходами как к потенциальному вторичному сырью, а не к обременению производства, позволит нефтегазовым компаниям Западной Сибири снизить операционные затраты на 15–20% при одновременном повышении устойчивости производственных процессов. Ключевым условием успеха является интеграция технологий утилизации непосредственно в проект бурения скважины на стадии планирования, а не их применение как вынужденной меры по завершении работ. Перспективным направлением развития является создание модульных мобильных установок термической деструкции и стабилизации, способных работать в автономном режиме на удаленных кустах скважин в условиях Крайнего Севера.

Одновременно с этим современная промышленная политика ориентирована на принципы устойчивого развития и циркулярной экономики, которые предполагают максимальное вовлечение отходов во вторичный оборот и сведение к минимуму их воздействия на хрупкие экосистемы. Ситуацию усугубляет и экономический фактор – стоимость размещения и обезвреживания буровых отходов неуклонно растёт, что вынуждает недропользователей искать технологически и финансово оправданные решения.

В ходе проведённого анализа установлено, что проблема управления утилизацией буровых отходов сохраняет высокую актуальность ввиду значительных и продолжающих расти объёмов их образования.

Проведённый обзор также выявил, что в Российской Федерации обоснование выбора технологии обращения с буровыми отходами по-прежнему опирается преимущественно на технико-экономические расчёты и экспертные суждения, тогда как количественные методы экологической оценки, такие как анализ жизненного цикла, практически не задействованы. Между тем именно комплексный учёт состава отходов, геолого-климатических условий района работ и экологических последствий на всех стадиях обращения – от образования до конечного размещения – позволяет повысить обоснованность принимаемых решений и снизить совокупную антропогенную нагрузку на экосистемы нефтегазодобывающих регионов.

Литература

1. Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Апробация технологии утилизации буровых отходов в рамках опытно-промышленных испытаний // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 1. С. 14-20.
2. Гаевая Е.В., Тарасова С.С., Солонина В.А. Применение технологии утилизации буровых отходов с получением строительного материала на примере объектов нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 4. С. 45-51.
3. Куракова А.А. Обзор эффективных технологий утилизации отходов бурения на нефтяных и газовых месторождениях // Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22, № 1. С. 87-102.
4. Румянцева А.В., Березюк М.В., Пластинина Ю.В. Обоснование метода утилизации буровых отходов при добыче нефти на основе современных технологий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. С. 1-15.
5. Солодовников А.Ю., Соромотин А.В. Опыт утилизации отходов бурения в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 12. С. 44-48.
6. Ушаков К.В. Внутрипластовая закачка буровых отходов в тектонически экранированные ловушки // Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22, № 2. С. 112-125.

© Чалей П.А., Рукин М.В., 2026