САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II

unesco
Центр
под эгидой ЮНЕСКО

Международный центр компетенций
в горнотехническом образовании
под эгидой ЮНЕСКО

НЕДРА
Общественно-профессиональное
сообщество вузов России
КОНСОРЦИУМ НЕДРА

XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС
ПРОЕКТОВ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ»

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ТОМ 1

06-10
АПРЕЛЯ
2026
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС ПРОЕКТОВ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

06–10 апреля 2026 г.

Тезисы докладов

Том 1

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2026

УДК 00 (622+55+665.6/7+620.9+621+669)
ББК 2 (65.304.11+33.36+31+34.3)
А 437

Представлены тезисы докладов молодых исследователей, участников XXI Всероссийской конференции-конкурса проектов студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 6–10 апреля 2026 г.). Тезисы представляют интерес для широкого круга исследователей, ученых, педагогов, специалистов, руководителей промышленных предприятий и предпринимателей, работающих в области поиска, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых.

Редакционная коллегия: *Петраков Д.Г.* (председатель), *Прищепа О.М., Борзенков В.Т., Мартемьянова А.Н., Степук Е.И., Зимин Р.Ю.*

ISBN 978-5-00253-035-9
ISBN 978-5-00253-036-6 (Том 1)

© Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, 2026

Содержание

Секция 1. НЕФТЕГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 10

Аленькин И.А. Прогнозирование и подбор рецептуры жидкостей гидроразрыва пласта на основе параметров водной среды с применением методов искусственного интеллекта 10

Апоян С.С. Совершенствование методов ингибиторной защиты скважинного оборудования от солеотложений и коррозии с использованием погружных контейнерных систем 13

Гайсин А.Р. Смещение зависимостей относительных фазовых проницаемостей при создании и эксплуатации ПХГ в коллекторах трещиновато-порового типа 15

Гайфуллин Т.Л. Применение тепловых карт для анализа эффективности растворителей асфальтосмолопарафиновых отложений в системе «скважинная жидкость – растворитель – АСПО» 17

Гумбатов Э.Э. Подход к предварительной оценке эффективности газовых методов увеличения нефтеотдачи на основе ограниченного набора исходных данных 20

Зарецкий А.Д. Повышение энергетической эффективности технологической системы «УКПГ – ДКС-2 – НТС – ДКС-1» путем определения наиболее рационального распределения отношений давлений между ДКС-1 И ДКС-2 22

Иванов З.Г. Разработка стенда для исследования процессов вытеснения остаточной нефти 23

Иванцова М.С., Лапенате М.Е. Разработка комбинированного метода, сочетающего цифровую и физическую оптимизацию на нефтегазоконденсатном месторождении имени Ю. Корчагина 26

Кашапов Д.О. Исследование устойчивости материалов для гидроразрыва пласта к механическим нагрузкам 28

Кириков Д.В. Новая концепция проектирования алмазного бурового инструмента для геологоразведочного бурения комплексами ССК в твёрдых горных породах 32

Кошелев Д.И., Матвеева Ю.Г., Плотникова К.И., Голунцов А.С. Оценка эффективности противотурбулентных присадок при транспортировке нефти по магистральным трубопроводам 35

Лысаков Д.В., Комаровский И.А. Совершенствование технологий направленного бурения с использованием комплексов ССК 40

Медведева М.М. Разработка мероприятий по автоматизированному зональному управлению подогревом и теплоизоляции нефтепроводов на терминале «Пригородное» 42

Морозов Д.О. Технология бурения нефтяных и газовых скважин секционными винтовыми забойными двигателями 44

Мусихин Д.В., Апоян С.С. Совершенствование методов ингибиторной защиты скважинного оборудования от солеотложений и коррозии с использованием погружных контейнерных систем 47

Овчинников С.Ю. Анализ нормативных требований к водоотдаче тампонажных растворов и методик ее определения 49

Паутова А.С., Бунин В.А., Алексанова Ю.К. Проведение ультразвуковых измерений для выявления механических примесей в скважинной продукции 51

Подрезов Д.Б. Гибридный подход к проектированию цифровых двойников в бурении 53

Прохоров В.В., Дерендяев В.В. Оценка самовосстанавливающих свойств тампонажного камня, модифицированного эластомерами 55

Сидоров А.И. Удаление отложений с поверхностей нефтепромыслового оборудования 58

Унштейнберг В.Е., Казанцев С.В., Дерендяев В.В. Сравнительный анализ сухокислотных составов для повышения нефтеотдачи карбонатных коллекторов на основе сульфаминовой кислоты 61

Цуканов С.А. Оценка метода разбавления высоковязкой нефти с целью повышения эффективности транспортировки 64

Щеголев Д.А. Повышение эффективности внутритрубной диагностики самотечных участков магистральных нефтепроводов 66

Секция 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ 69

Джагиев А.Г., Галушкина Е.Ю. Петрогенезис щелочных габброидов массива Цънелисс (Южная Осетия) 69

Ибрахим М.А.А. Петрогенезис и оловосодержание гранитов Нумби, пояс Киву 72

Конопинский К.А. Геология и проект на поиски россыпного золота на Арбынском участке 75

Никитенкова А.В. Исследование факторов изменчивости химического состава подземных вод Республики Хакасия 77

Подопригорова А.А., Востриков Н.Н. Уточнение геологического строения центральной части гряды Чернышева Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции 80

Рахматуллина Л.И. Создание интерактивной базы данных Крымского учебного полигона с помощью ГИС-технологий 83

Семёнов Н.А. Оценка перспектив применения сейсморазведки в пределах изученных геофизических аномалий 85

Смирнов Д.М. Ихнологический анализ как метод получения палеогеографической информации на примере керна скважины 3-Нерутынская (тиманский и саргаевский горизонт, Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) 88

Смук Г.В. Развитие методологии интерпретации потенциальных полей с использованием аналитического продолжения цепной дробью 91

Тоторина К.А. Особенности проведения магниторазведочных работ в условиях прибрежных зон Антарктиды 93

Трифонов И.В., Сычев С.Н., Федосеева К.А. Первые результаты применения LiDAR при структурном анализе Cu-Ag рудопроявления Агынджа (Рассохинский террейн, Северо-Восточная Якутия) 95

Хасанова А.О., Яшмолкин А.М. Геохимическая характеристика отложений малышевской, гольчихинской и шуратовской свит Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции 98

Цокова Б.Х., Галушкина Е.Ю. Особенности кристаллизации и анализ генезиса силла «Треугольник», Атагский хребет.....100

Юнюшина Д.С. Сравнительный анализ скоростных разрезов, полученных путем обработки данных традиционной сейсморазведки и распределенного акустического зондирования (DAS) методом MASW.....103

Секция 3. ЭКОЛОГИЯ..... 105

Амер Адам Мохамед М.Е., Алексашин А.В. Оценка эффективности сорбционно-биологической технологии рекультивации нефтезагрязненных земель 105

Вдовина В.А., Зинуров В.Э. Мультивихревой классификатор-пылеуловитель для энергоэффективных систем пылегазоочистки горных предприятий.....108

Галеев Р.Р. Исследование влияния электромагнитного поля на разделение нефтешламовых эмульсий при их утилизации 111

Каганович Н.И. Модульная технология биологической очистки сточных вод для удаления соединений азотной группы и тяжелых металлов 113

Казанина Е.В. Стратегия аккумуляции тяжёлых металлов кипреем узколистным Chamaenerion angustifolium (L.) на техногенно нарушенных почвах Крайнего Севера.....116

Кальсин Н.А. Разработка технологического решения по переработке листового опада с получением сорбентов для очистки сточных вод горно-обогатительных комбинатов 118

Медведев С.А. Эффективность лесохозяйственной рекультивации россыпных месторождений драгоценных металлов в условиях Среднего Урала в контексте рационального природопользования.....120

Мельникова А.С. Разработка комплексной системы оценки нефтесорбентов на основе структурных и эксплуатационных характеристик 123

Панин Н.Е. Оценка и снижение негативного воздействия нефтесодержащих отходов на окружающую среду.....125

Проказов Н. Очистка сточных вод от нефти гидрофобизированным бентонитом.....128

Семенова П.А., Семенов А.О., Павлов А.Т. Обоснование возможности предотвращения вторичного засоления полей при мелиорации.....130

Тараканов Д.А. Развитие методов геоэкологической оценки и моделирования загрязнения почв тяжелыми металлами в районах недропользования 134

Тармёнок Е.О. Эколого-геохимическая оценка района размещения глинозёмного производства по физико-химическим свойствам снежного покрова 136

Шиляев В.К. Оценка информативности спектральных индексов для выявления зон инфильтрации в районе хвостохранилищ.....138

Яковлева А.В. Постановка методики анализа модельной смеси керосин – ПМС-3 – фреон для исследования заливочной жидкости скважины 5Г-5 (ст. Восток, Антарктида).....142

Секция 4. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 144

Алмосова Я.В. Оценка профессионального риска травмирования работников как элемент системы управления персоналом угольных шахт 144

Белослудцев И.А., Киренберг Е.А. Перспектива использования отходов углеобогащения для борьбы с самовозгоранием угля 146

Блажнов В., Алтухова А.П. Комплексные решения охранно-пожарной сигнализации и модульных установок газового пожаротушения в Республике Казахстан 149

Болтов И.А. Модульная архитектура мультисенсорного датчика для комплексного мониторинга параметров пожарной и экологической безопасности 152

Вшивцев В.Д. Применение систем на основе нечеткой логики для прогнозирования взрывоопасности рудничной атмосферы 156

Галиуллина Р.А. Прогнозирование сейсмического воздействия массовых взрывов на неоднородный массив золоторудного месторождения с применением метода латинского гиперкуба и квантильной регрессии 158

Глум Т.П. Оценка влияния топологии карьерных дорог на обзорность трассы для водителя автотранспортного средства 161

Гусейнов Ф.А. Обоснование параметров схем проветривания выемочного участка газоносных угольных шахт с центральной воздухоподающей выработкой 164

Литвиненко М.М. Нормативное регулирование производственного шума при холодной обработке металлов 167

Медина С.Я. Обоснование технических мероприятий по обеспечению безопасности труда на откосах железоникелевого месторождения Camarioca Este 170

Меркулова З.А. Разработка расчетчика численности работников службы производственного контроля ОПО «Сеть газоснабжения» и «Сеть газопотребления» 173

Томилов М.К. Обоснование параметров процесса тушения пламени водными композициями, модифицированными неорганическими соединениями 175

Федосов В.А., Никитин Н.К. Оценка влияния пространственно-временной неоднородности температурных изменений на устойчивость минерально-сырьевого комплекса Республики Башкортостан 178

Секция 5. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА, СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА 181

Амосов А.А. Обоснование параметров привода вращения буросбоечной машины для бурения скважин изолированного отвода метана в угольных шахтах на этапе эскизного проектирования 181

Артемьев М.А. Исследование процессов структурообразования при сушке композиционных составов из торфа и биомассы 184

Бердникова С.А. Региональный прогноз зон опасных по ГДЯ в условиях Усть-Яйвинского участка ВКМКС 186

Блинов К.А. Оптимизация параметров уступов карьера на основе фотограмметрических данных и обратных расчётов 188

Богданов А.А. Влияние формы покрытия большепролетных сооружений на аэродинамическую нагрузку 190

Глазков И.Д., Стеблянко И.О. Совершенствование методов ведения буровзрывных работ при подземной разработке рудных месторождений 193

Гордин С.А. Исследование параметров краевого магнитного подвеса ленточного конвейера 196

Готман Н.З., Ле Чунг Хиеу. Оценка влияния различных факторов котлована на взаимодействие свай-баррет с окружающим грунтом 198

Долгушин Н.А. Особенности эксплуатации беспилотных карьерных автосамосвалов 200

Каплин В.М., Алексеев В.В. Анализ рациональных параметров и условий для применения типовых передвижных пульпоперекачных насосных станций при гидравлической закладке калийных рудников Верхнекамского месторождения 202

Кириленко В.И. Физическое моделирование процесса выпуска медно-никелевых руд при изменении параметров буровзрывных работ 206

Леженин А.И. Обоснование рациональных параметров рабочего процесса малопогружной эрлифтной установки для чистки шахтных водосборных емкостей 209

Мацаберидзе О.Р. Анализ поведения сборной железобетонной обделки сложной формы от воздействия сейсмической нагрузки 211

Мовчан Е.И. Прогноз напряжённо-деформированного состояния блочной обделки хранилища РАО при тепловом воздействии 214

Онищенко М.К. Прогноз устойчивости бортов карьеров на основе комплексного анализа естественной и техногенной трещиноватости массива горных пород 219

Рыженков К.А., Прокофьева Н.З. Оптимизация потерь и разубоживания для повышения качества добычи при подземной разработке медно-никелевых руд 222

Сарадоев Д.О. Верификация расчетных динамических моделей железобетонных фундаментов мельниц при сейсмических воздействиях 224

Сергиенко Н.Н. Геометрический критерий выбора длины перебура первого ряда скважин уступа карьера 226

Степанов Г.Д. Определение изменения напряженно-деформированного состояния массива при продвижении фронта очистных работ 229

Трабер Н.С. Определение годовой производительности гидромониторно-землесосных комплексов 232

Федоров Н.Н. Моделирование применения зарядов с кумулятивным эффектом при строительстве горнотехнических объектов 234

Цветкова А.А. Применение технологии легких сталебетонных конструкций для возведения среднеэтажных многоквартирных жилых домов 237

Секция 6. МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР 243

Бабешин А.Е. Оптимизация обработки данных БПЛА-съёмки труднодоступных территорий в программном комплексе CREDO 3D СКАН 243

Баева М.Н., Нимаева А.З. Разработка технологии ведения 3D-кадастра линейных объектов транспортной инфраструктуры 245

Барабанова С.М. Информационное моделирование объектов недвижимости: инструменты, стандарты, перспективы 247

Бартули А.А. Обнаружение реестровой ошибки при процедуре выноса границ земельного участка 250

Быков А.А. Методы кадастровых съемок в современной системе земельных отношений 253

Воронецкая В.В. Определение характерных показателей химического загрязнения почв в зоне влияния полигонов твердых коммунальных отходов 256

Воронова А.И. Платформа рыночной экспресс-оценки коммерческой недвижимости 258

Григорьев К.В. Обоснование факторов рыночной стоимости офисной недвижимости Санкт-Петербурга со статусом объектов культурного наследия 261

Гузенко А.Д. Интеграция наземной радарной интерферометрии и спутниковой InSAR для комплексной оценки деформаций откосов карьера 263

Долбин И.Д. Прогнозирование катастрофических разрушений склонов на основе данных InSAR и наземной интерферометрии 265

Жильцов Д.Р. Особенности использования отечественных программных продуктов для создания информационной модели земельного участка 267

Игнатова А.М. Влияние близости к метро на рыночную стоимость офисных помещений в Санкт-Петербурге 271

Казанцева В.В., Ярцева В.Ф. Интеграция данных БПЛА и геомеханического моделирования при оценке устойчивости породных отвалов 274

Камаев И.Р., Прокофьев А.В. Методика создания специальной карты зон затопления в геоинформационных системах 276

Капинус Э.Ю., Мамонтова Д.И. Исследование влияния физико-механических свойств грунтов на устойчивость склонов рельефа в условиях Донбасса 279

Кондратьева Е.Р., Обряжаева В.А., Ращупкин Р.В. Геодезическое обеспечение реставрационных работ 282

Кубайдуллина У.А., Байгали Р.К. Применение данных БПЛА для мониторинга деформационных процессов на рудных месторождениях 285

Лавренчук Н.В. Анализ и особенности учёта основных факторов, определяющих продолжительность процесса сдвижения земной поверхности при подземной добыче угля 288

Лазарева А.А. Совершенствование кадастровой оценки земельных участков, используемых для целей недропользования 291

Минченко Е.В. Совершенствование методики инженерно-геодезических изысканий для обустройства месторождений в условиях Крайнего Севера 294

Мурзинцева М.В. Интеграция разнородных пространственных данных при создании цифровой основы территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций 296

Назарова А.А. Корреляционный анализ воздействия агроэкологических факторов на состояние сельскохозяйственного производства Хабаровского края 299

Науменко А.А. Создание инженерно-топографического плана масштаба 1:500 для целей строительства в условиях криолитозоны 301

Полукеев Г.К. Комплексированная методика создания пространственных моделей местности на основе экспериментальных исследований в рамках военно-научной экспедиции «Наследие генералиссимуса Суворова А.В.» по реке Мста 304

Прокофьев А.В., Леонтьев П.А., Сироткин В.С. Методика определения орбит навигационных ИСЗ по беззапросным измерениям псевдодальностей для повышения точности решения навигационных задач 306

Ремизов Н.А. Применение лазерного сканирования для мониторинга очистных пространств при подземной разработке месторождений (месторождение Перевальное) 308

Рождественский В.В. Методика метрологического освидетельствования точности позиционирования малогабаритной навигационной аппаратуры потребителя как средства геодезических и навигационных измерений 311

Сак А.С. Метод определения составляющих уклонений отвесных линий на основе результатов комплексного использования спутникового и геометрического нивелирования в локальном районе 313

Синицына А.Л., Малюженко. А.А., Чеботарь А.В. Интеграция геоданных для цифрового управления промышленными территориями (на примере Иркутской области) 317

Слободкин С.М. Методика выделения потенциально опасных зон вдоль трасс магистральных трубопроводов 319

Тимижев Т.М. Ключевые землеустроительные аспекты в программно-целевом подходе развития виноградарства и виноделия в Республике Северная Осетия-Алания 321

Тютюнникова А.Д. Особенности кадастрового учёта ОКН в РФ на примере ансамбля усадьбы Г.И. Лаврова в г. Курске 324

Хвостова О.А. Применение кадастровых работ в реализации программы переселения граждан из аварийного жилья 327

Худяков Е.С. Геодезическое обеспечение создания цифровых двойников подземных сооружений на основе трехмерного моделирования 330

Хушт Н.И. Методика обработки данных воздушного лазерного сканирования на основе генерации искусственных облаков точек и сочетании методов вокселизации и сегментации 333

Шаров П.Е. Интерферометрический радарный мониторинг деформаций бортов карьера месторождения Наталка 336

Эйснер Д.С. Маркшейдерское обоснование устойчивых параметров бортов карьера с учетом их криволинейности в плане 338

Яковлева Н.Д. Разработка прототипа трехмерной кадастровой системы для урбанизированных территорий 340

Яковлев А.И., Цвигайло И.Д., Морозов Д.В. Методика повышения точности координатной основы путем интеграции разнородной геопространственной информации для создания электронной карты на локальную территорию 344

Ярцева В.Ф., Казанцева В.В. Методика построения цифровых моделей техногенных объектов на основе аэрофотосъёмки с БВС 346

Секция 1. НЕФТЕГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.234.573

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОДБОР РЕЦЕПТУРЫ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аленькин И.А.
и.о. заведующего лабораторией «Нефтепромысловая химия»,
ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет – Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия, i.alenkin@agni-rt.ru

Научный руководитель: Насыбуллин А.В.
доктор технических наук, заведующий кафедрой РиЭНГМ,
ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет – Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия

Аннотация. Работа посвящена разработке подхода к прогнозированию и подбору рецептур жидкостей гидроразрыва пласта с использованием методов машинного обучения с учётом физико-химического состава воды. Проведены экспериментальные исследования влияния минерализации, ионного состава и температуры на реологические и пескоудерживающие свойства жидкостей. Разработана и обучена модель ИИ, обеспечивающая высокую точность подбора оптимальных составов. Предложенный подход позволяет существенно сократить время проектирования, повысить точность прогнозов и адаптивность технологий ГРП к изменяющимся условиям месторождений.

Ключевые слова: Гидроразрыв пласта, жидкости ГРП, машинное обучение, реология, физико-химический состав воды, минерализация, подбор рецептур, пропант, моделирование, искусственный интеллект.

Введение. Эффективность гидроразрыва пласта во многом определяется свойствами применяемых технологических жидкостей, которые зависят от физико-химического состава воды и условий месторождения. [1-3]. Традиционные методы подбора рецептур основаны на лабораторных испытаниях и характеризуются высокой трудоёмкостью и ограниченной адаптивностью. В связи с этим актуальным является применение методов машинного обучения для прогнозирования свойств и оптимизации составов жидкостей ГРП [4-6].

Целью работы является разработка подхода к прогнозированию и подбору рецептур жидкостей ГРП с использованием методов искусственного интеллекта с учётом параметров водной среды.

Методы. В работе использован комплекс экспериментальных и математических методов. Проведены лабораторные исследования жидкостей гидроразрыва с анализом их реологических и пескоудерживающих свойств при различном физико-химическом составе воды и температурных условиях. Обработка данных осуществлялась с применением статистических методов. Для прогнозирования и подбора рецептур разработана модель машинного обучения, обученная на экспериментальной выборке и валидированная на независимых данных.

Результаты. Установлено влияние физико-химического состава воды на реологические и пескоудерживающие свойства жидкостей ГРП: рост минерализации и содержания ионов приводит к ухудшению характеристик гелей и увеличению времени их восстановления. Выявлены зависимости между температурой, ионным составом и оседанием

пропанта. Разработанная модель машинного обучения продемонстрировала высокую точность прогнозирования ключевых параметров (R^2 до 0,7), а совпадение с экспериментальными данными составило 92–95%. Применение модели позволяет существенно сократить время подбора рецептур. Выявлены корреляционные зависимости между параметрами используемой воды (рис. 1).

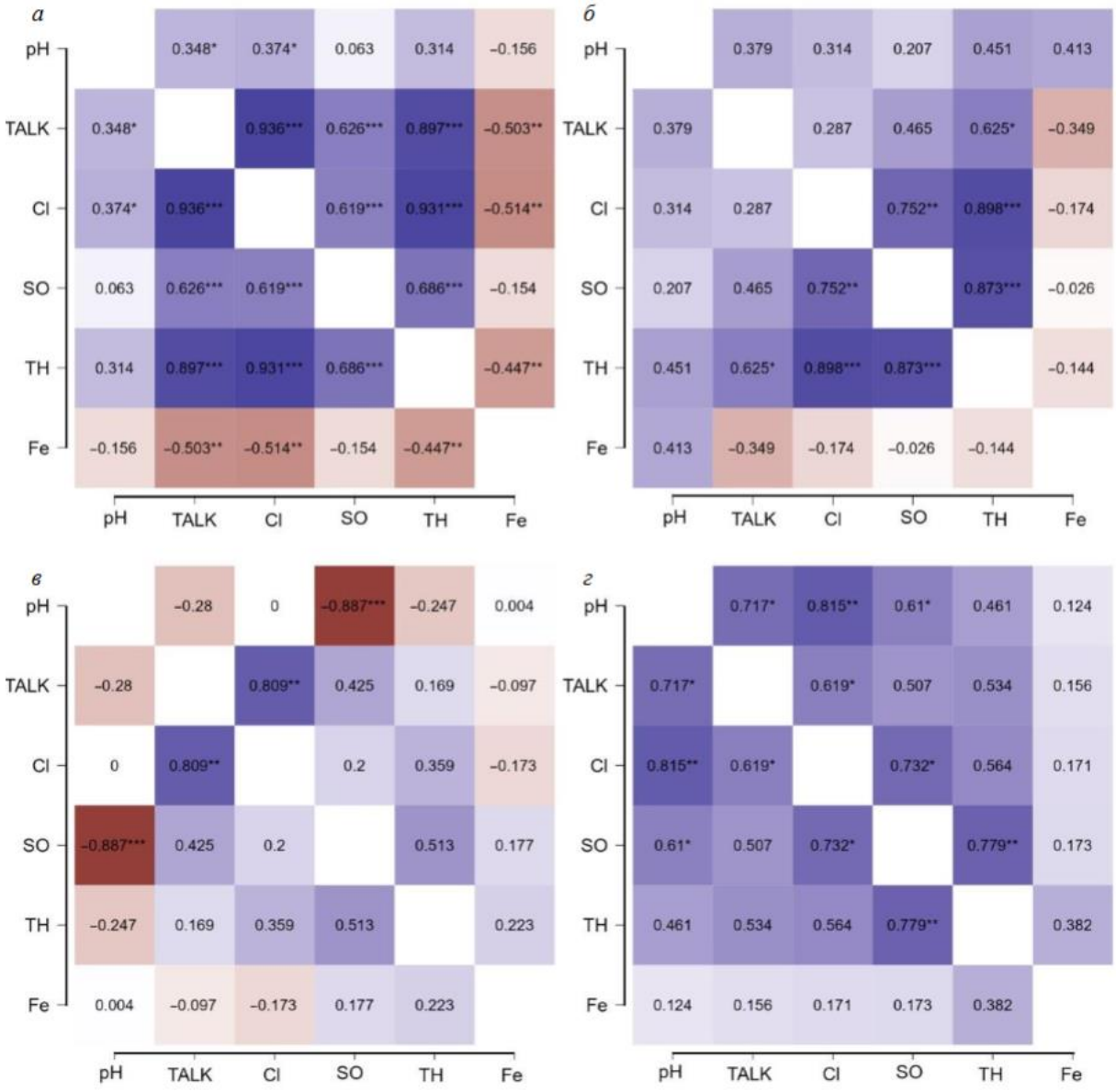


Рис. 1. Корреляция Пирсона для параметров воды:
а – по всей выборке; б – источник воды No1; в – источник воды No2; г – источник воды No3
* p< 0,05;** p< 0,01;*** p< 0,001; TALK(Total Alkalinity) – общая щелочность [7]

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают значительное влияние физико-химического состава воды и температурных условий на эффективность жидкостей ГРП, что требует их обязательного учета при проектировании. Применение методов машинного обучения позволяет выявить сложные нелинейные зависимости между параметрами системы и повысить точность подбора рецептур. Разработанный подход соответствует современным тенденциям цифровизации нефтегазовой отрасли и может быть использован для оптимизации технологических решений в различных геолого-промысловых условиях.

Заключение. Разработан подход к прогнозированию и подбору рецептур жидкостей гидроразрыва пласта с использованием методов машинного обучения с учётом параметров водной среды. Показано, что учёт физико-химического состава воды позволяет повысить точность оценки реологических характеристик и эффективности жидкостей. Предложенная модель обеспечивает высокую точность прогнозирования и позволяет существенно сократить время подбора рецептур. Полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы при проектировании операций ГРП.

Благодарности: *Автор выражает благодарность научному руководителю, д.т.н. Насыбуллину А.В., за научное руководство и ценные рекомендации, а также начальнику отдела ГРП – заместителю начальника УГТМ ДРМ ПАО «Татнефть» Хусаинову Р.Ф., ведущему эксперту по новым реагентам УГТМ ДРМ ПАО «Татнефть» Кочеткову А.В. и к.т.н., доценту, старшему научному сотруднику Шепелеву И.А. за помощь в проведении исследований и практическую поддержку работы.*

Список литературы

1. Dalamarinis P., Fusselman S. A new concept of enhanced oil recovery (EOR) in Permian Basin. Chlorine dioxide (ClO2) as re-stimulation agent in unconventional, multi-fractured horizontal wells // SPE hydraulic fracturing technology conference and exhibition, The Woodlands, Texas, USA, February 2025. SPE-223521-MS. DOI: https://doi.org/10.2118/223521-MS.
2. Hui Gao, Xiaohang Li, Teng Li et al. Characteristics of oil production by fracturing fluid additive-assisted displacement in tight oil reservoirs // Energy Fuels. 2024. 38/18. P. 17541–17553. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c02634.
3. Hao Yu, WenLong Xu, Bo Li et al. Hydraulic fracturing and enhanced recovery in shale reservoirs: theoretical analysis to engineering applications. Energy Fuels 2023 // 37/14. P. 9956–9997. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c01029.
4. Fokker P.A., Borello E.S., Verga F., Viberti D. Harmonic pulse testing for well performance monitoring // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018. Vol. 162. P. 446-459. DOI: https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.12.053.
5. Elazab S.A., De Melo A.B., Nechakh A. et al. Utilizing extremely high salinity waters for unconventional hydraulic fracturing in the UAE – A Chemistry Oriented Solution // SPE Water Lifecycle Management Conference and Exhibition, Abu Dhabi, UAE, March 2024. Paper Number: SPE-219020-MS DOI: https://doi.org/10.2118/219020-MS.
6. Kalgaonkar R.A., Sahu Q.A., Malik A.R. et al. Alternatives to fresh water in hydraulic fracturing operations: success stories supporting sustainability and circular water economy // SPE Water Lifecycle Management Conference and Exhibition, Abu Dhabi, UAE, March 2024. SPE-219031-MS. DOI: https://doi.org/10.2118/219031-MS.
7. Аленькин И.А., Насыбуллин А.В., Кочетков А.В., Закиров Р.Р., Гайфуллин Т.Л., Сахибгараев Р.Р. Влияние сезонных изменений физико-химических свойств пресной воды на реологические характеристики жидкостей для гидроразрыва пласта (на примере Альметьевского района Республики Татарстан) // Записки Горного института. 2026. Т. 278. С. 67-76. EDN FWJJBO

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНГИБИТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СКВАЖИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОГРУЖНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ СИСТЕМ

Апоян С.С.
студент, Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, sarachka2003@mail.ru

Научный руководитель: Шишлянников Д.И.
доктор технических наук, профессор каф. ГЭМ, Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности механизированной добычи нефти в условиях, осложнённых коррозией и солеотложениями. Выполнен анализ существующих методов подачи ингибиторов, обоснована экономическая целесообразность применения погружных скважинных контейнеров. Приведён обзор серийных конструкций контейнеров для твёрдых и капсулированных реагентов, выявлены их основные недостатки, главным из которых является неравномерность дозирования. В качестве технического решения предложена перспективная конструкция погружного контейнера с твердым реагентом с последовательной работой секций.

Ключевые слова: насосная установка, ингибиторная защита, солеотложения, коррозия, погружной контейнер, дозирование реагентов, механизированная добыча нефти.

Введение. В структуре себестоимости нефтедобычи затраты на преодоление осложняющих факторов, таких как коррозия и солеотложения, могут достигать 50 % [1]. На месторождениях Пермского края доля осложнённого фонда скважин составляет около 70 %, при этом оборудование подвергается интенсивной коррозии и воздействию солеотложений, что приводит к преждевременным отказам и снижению наработки скважинных насосных установок [2]. Наиболее технологичным методом борьбы с данными негативными явлениями является применение ингибиторов. Актуальной является задача повышения эффективности доставки ингибиторов к глубинно-насосному оборудованию (ГНО) посредством использования погружных контейнерных систем с равномерным дозированием реагентов.

Методы. Исследование базировалось на анализе статистических данных по отказам ГНО [3], сравнительном анализе технико-экономических показателей различных методов подачи ингибиторов (периодическая закачка, использование установок дозирования реагентов (УДР) с капиллярной трубкой, погружные контейнеры) [4]. Автором изучены техническая информация и патентные материалы, касающиеся перспективных конструкций скважинных контейнеров.

Результаты. Анализ показал, что использование погружных контейнеров является наиболее рентабельным способом защиты ГНО. Сравнительные затраты на защиту одной скважины за два года составляют: для УДР с капиллярной трубкой – 1030 тыс. руб., для дозирования в затруб – 850 тыс. руб., для контейнера с капсулированным ингибитором – 412 тыс. руб. [5]. Серийно выпускаемые контейнеры для твёрдого ингибитора (КСТР) и капсулированного ингибитора (КСКР) доказали свою эффективность, однако обладают общим недостатком – неравномерностью выноса реагента. Для КСТР характерен пиковый выброс в начальный период с последующим падением концентрации ниже эффективной; для КСКР кривая выноса более пологая, но также не является строго постоянной [6].

Обсуждение. Выявленные недостатки (неравномерность дозирования, зависимость от внешних факторов) сдерживают широкое применение контейнеров на скважинах с высокими требованиями к точности подачи химических реагентов. Перспективным направлением решения этой проблемы является разработка скважинного контейнера

с последовательной работой секций. Вариант такого скважинного контейнера предложен и описан автором [7-9].

Заключение. Применение погружных контейнеров является экономически и технологически обоснованным методом защиты ГНО в осложнённых условиях. Основным направлением совершенствования контейнерных систем является переход от пассивных (гравитационных, диффузионных) к активным (механизированным) способам дозирования [10]. Предложенная схема контейнера с последовательной работой секций позволяет обеспечить равномерную подачу ингибитора в скважину, что повышает эффективность защиты насосного оборудования и увеличивает его наработку. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание опытно-промышленных образцов таких устройств.

Список литературы

1. Галикеев И.А., Насыров В.А., Насыров А.М. Эксплуатация месторождений нефти в осложненных условиях. Ижевск: Парацельс-Принт, 2015. 354 с.
2. Соснин Е.А. Применение ингибиторной защиты глубинно-насосного оборудования добывающих скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Инженерная практика. 2017. № 3. С. 10–15.
3. Кириллова Л.Н. Эксплуатация скважин, осложненных АСПО и солеотложением, на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Инженерная практика. 2013. № 12. С. 50–57.
4. Иванов С.В. Новые виды химреагентов. Результаты опытных испытаний, изменение способов подачи, перспективы развития // Инженерная практика. 2013. № 11. С. 76–79.
5. Тананыхин, Д.С. Разработка химического способа обработки призабойной зоны для ограничения выноса песка в нефтяных скважинах / Д.С. Тананыхин, А.В. Петухов // Инженер-нефтяник. 2012. № 4. С. 31–34.
6. Ивановский, В.Н. Цифровые двойники и предиктивный анализ работы установок ЭЛН в осложненных условиях / В.Н. Ивановский, А.А. Сабиров, А.В. Деговцов, И.Н. Герасимов // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2021. № 4(21). С. 164–171.
7. Якимов, С.Б. Состояние и перспективы использования технологий эксплуатации малодебитных скважин в ОАО «НК «Роснефть» / С.Б. Якимов // Инженерная практика. 2014. № 11. С. 4–12.
8. Шишлянников, Д.И. Повышение эффективности водоподготовки на нефтяных промыслах посредством использования фильтров производства АО «Новомет-Пермь» / Д.И. Шишлянников, А.В. Шавалеева, С.В. Кулаков, Ю.Г. Коротков // Нефтепромысловое дело. 2018. №12. С. 68–73.
9. Яковлев, А.Л. Анализ эффективности применяемого оборудования и возможных причин отказа при интенсификации добычи нефти на месторождениях Краснодарского края / А.Л. Яковлев, О.В. Савенок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 149-163.
10. Вдовин, Э.Ю. Новые технологии эксплуатации малодебитного и периодического фонда / Э.Ю. Вдовин, Л.И Локшин, М.А. Лурье, А.Д. Коротаев, Э.О. Тимашев // Инженерная практика. 2017. №11. С. 40–43.

УДК 622.276

СМЕЩЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ В КОЛЛЕКТОРАХ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОГО ТИПА

Гайсин А.Р.
аспирант, ФГБОУ ВО УГНТУ, Уфа, Россия, ramilka112@mail.ru

Научный руководитель: Пономарёв А.И.
д.т.н, профессор, ФГБОУ ВО УГНТУ, Уфа, Россия

Аннотация. Изучение процессов фильтрации флюидов в поровом пространстве является важной задачей при проектировании подземных хранилищ природного газа. Особенности вытеснения газа водой при однонаправленной фильтрации на сегодняшний день достаточно хорошо изучены в процессах разработки газовых месторождений. Работа посвящена изучению гистерезиса относительных фазовых проницаемостей (ОФП) в условиях циклического воздействия на пласт, воспроизводящих режим работы ПХГ в карбонатном коллекторе. Особое внимание уделено смещению зависимостей ОФП при их построении в процессах закачки флюидов газ/вода. Основная цель – установить число циклов закачки/отбора газа для достижения стабилизации зависимостей ОФП и остаточных газо- и водонасыщенностей, что необходимо для построения точной гидродинамической модели.

Ключевые слова: Подземное хранение газа, переходная зона, физическое моделирование, относительные фазовые проницаемости, гистерезис фазовых проницаемостей.

Введение. В качестве объектов хранения газа могут использоваться: истощенные пласты месторождений, водоносные горизонты (аквиферы), каверны солеотложений [1-3]. Эксплуатация подземных хранилищ газа с водоносной частью, подразумевает попеременное движение газа и воды к добывающим скважинам в процессе отбора и от нагнетательных скважин в процессе закачки газа [4]. Такая двухфазная фильтрация при смене направления вызывает изменение фазовых проницаемостей пласта-коллектора от цикла к циклу [5]. Данный эффект получил название гистерезиса относительных фазовых проницаемостей (ОФП). Гистерезис проявляется в том, что кривые фазовых проницаемостей, которые строятся в направлении увеличения насыщенности одной фазы отличаются от кривых, построенных в направлении уменьшения насыщенности той же фазы [6-8]. Анализ существующих работ в области физического моделирования показал важность учета эффекта гистерезиса ОФП применительно к циклическим процессам фильтрации воды и газа при эксплуатации ПХГ [9-11]. В настоящей работе выполнены фильтрационные эксперименты по исследованию формирования переходной зоны на газоводяном контакте с целью определения количества циклов разнонаправленного движения воды и газа, необходимого для стабилизации фильтрационных параметров и остаточных газо- и водонасыщенностей в карбонатном коллекторе.

Методы. Исследования выполнялись на образцах керна карбонатного коллектора. Подготовка образцов керна осуществлялась согласно ОСТ 39-195-86. Физическое моделирования циклической эксплуатации ПХГ производилось с использованием фильтрационной установки СМП-ФЕС2а, которая позволяет реализовать одновременную и раздельную закачку флюидов в керновую модель при пластовых условиях объекта исследования. Построение зависимостей ОФП осуществлялась с использованием методики обработки на нестационарных режимах фильтрации [12].

Результаты. В результате фильтрационных исследований по моделированию переходной зоны при эксплуатации ПХГ в карбонатном коллекторе, получены зависимости ОФП в каждом цикле закачки газа и воды. Рассмотрены два случая с разными условиями по насыщенности, моделирующих:

- газонасыщенную зону при создании ПХГ на базе истощенного газового месторождения (зона выше начального положения ГВК при разработке месторождения – НГВК);

- водонасыщенную зону при создании ПХГ на базе истощенного газового месторождения (зона пласта ниже НГВК) или весь пласт-коллектор в пределах искусственной газовой залежи при создании ПХГ в водоносном пласте.

Выявлен эффект смещения ОФП в различных циклах закачки и установлено время выхода на стабилизацию фильтрационных параметров.

Заключение. Установлены следующие закономерности, что:

1) для условий при 100% начальной водонасыщенности керновой модели, которая характеризует газохранилища в водоносном пласте или зону ниже начального положения ГВК в истощенном газовом месторождении, стабилизация насыщенностей и относительных фазовых проницаемостей может занимать порядка 8 циклов закачки/отбора газа;

2) для газонасыщенной зоны пласта, которая характеризуется 30% связанной водонасыщенностью, стабилизация фильтрационных параметров при циклической эксплуатации ПХГ наступает после 2 циклов закачки/отбора.

Полученные результаты позволят улучшить сходимость гидродинамического моделирования объектов хранения газа в карбонатных пластах

Список литературы

1. Ермолаев, А.И., Ефимов С.И., Харитонов И.П. Методы интенсификации притока газа к скважинам подземного хранилища газа – оценка масштабов применения // Наука и техника в газовой промышленности. 2021. № 3(87). С. 73-79. – EDN IQCOWG.
2. Пономарев А.И., Владимиров И.В., Калиновский Ю.В. и др. Аналитическое обоснование параметров аквифера при адаптации цифровой модели подземного хранилища газа в истощенном газоконденсатном месторождении // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2018. № 1(33). С. 203-206. EDN OVSJLB.
3. Енгибарян М.А., Поваров Д.А. Повышение эффективности эксплуатации ПХГ, созданных в пористых пластах с активной водонапорной системой, как части единой системы газоснабжения // Газовая промышленность. 2018. №6. С. 72–77.
4. Гайсин А.Р., Шаяхметов А.И., Пономарев А.И. и др. Особенности формирования области газонасыщенности при создании ПХГ в истощенной газовой залежи в коллекторе трещиновато-порового типа с активным аквифером // Георесурсы. 2024. Т. 26. № 1. С. 136-144. DOI 10.18599/grs.2024.1.12. EDN WSFUBB
5. Yang Zh., Shabani M., Solano N., et al. Experimental determination of gas-water relative permeability for ultra-low-permeability reservoirs using crushed-rock samples: Implications for drill cuttings characterization // Fuel. 2023. Vol. 347. P. 128331. DOI 10.1016/j.fuel.2023.128331. EDN ZMEHCE. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236123009444?via%3Dihub
6. Гасумов, Р.А., Гасумов Э.Р., Минченко Ю.С. Особенности создания подземных резервуаров в истощенных нефтегазоконденсатных месторождениях // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 418-427. – DOI 10.31897/PMI.2020.4.4. – EDN LQQWBN.
7. Mojeebalrahman H., Tagwa M., Husham E., Jamal Sh., et al. Fitting Relative Permeability's Curves Based on Laboratory Production Data for A Thermal Composite Core Flooding Experiment. Journal of Petroleum Engineering & Technology. 9(3). 1-12. 2019. DOI:10.37591/jopet.v9i3.3426
8. Lysyy, M., Fernø M.A., Ersland G. Effect of relative permeability hysteresis on reservoir simulation of underground hydrogen storage in an offshore aquifer // Journal of Energy Storage. 2023. Vol. 64. P. 107229. DOI 10.1016/j.est.2023.107229. EDN BNIWER.
9. Rezaei A., Hassanpouryouzband A., Molnar Ia., et al. Relative Permeability of Hydrogen and Aqueous Brines in Sandstones and Carbonates at Reservoir Conditions // Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49, No. 12. DOI 10.1029/2022gl099433. EDN HMMHGO.
10. Afzali S, Ghamartale A, Rezaei N, Zendehboudi S. Mathematical modeling and simulation of water-alternating-gas (WAG) process by incorporating capillary pressure and hysteresis effects. Fuel. 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116362
11. Ganguly E., Misra S. Spatiotemporal Variations in the Connectivity of Wetting and Nonwetting Phases during Water Alternating Gas Injection // Energy and Fuels. 2021. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03170.
12. Орлов Д.М., Федосеев А. П., Савченко Н. В., и др. Использование метода нестационарной фильтрации для оценки влияния скорости фильтрации на относительные фазовые проницаемости // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2015. № 3(23). С. 8-14. EDN WJGPZH.

УДК 622.276.72

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ КАРТ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ «СКВАЖИННАЯ ЖИДКОСТЬ – РАСТВОРИТЕЛЬ – АСПО»

Гайфуллин Т.Л.
заместитель руководителя по направлению «Исследование взаимовлияния технологий в процессах нефтедобычи» центра компетенций по исследованию осложнений и взаимовлияния технологий в процессах нефтедобычи, ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет – Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия, gaifullintl@yandex.ru

Научный руководитель: Гуськова И.А.
доктор технических наук, профессор кафедры РиЭНГМ, руководитель центра компетенций по исследованию осложнений и взаимовлияния технологий в процессах нефтедобычи, ГАОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет – Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия

Аннотация. В работе представлен подход к анализу эффективности растворителей асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) с использованием тепловых карт, учитывающий взаимодействие в системе «скважинная жидкость – растворитель – АСПО». Экспериментальные исследования выполнены на пробах нефти и образцах АСПО из девяти скважин ПАО «Татнефть» при варьировании обводненности, соотношения растворитель/скважинная жидкость и времени воздействия. Построенные методом кубической интерполяции 4D-тепловые карты позволили визуализировать непрерывные поля эффективности растворителя и выявить области оптимальных параметров обработки. Предлагаемый подход обеспечивает обоснованный выбор технологий удаления АСПО для конкретных геолого-промысловых условий.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, АСПО, растворитель, скважинная жидкость, тепловые карты, эффективность растворения, обводненность, 4D-визуализация, удаление отложений.

Введение. На поздней стадии разработки нефтяных месторождений формирование асфальтосмолопарафиновых отложений охватывает всю гидродинамическую систему от пласта до нефтесбора, что приводит к снижению продуктивности скважин и отказам оборудования [1, 2]. Ключевую роль в образовании отложений играют высокомолекулярные компоненты нефти (парафины, смолы, асфальтены), при этом парафины имеют определенную температуру кристаллизации, асфальтены склонны к флокуляции при изменении термодинамических условий [3, 4, 5]. Химический метод с применением растворителей остается одним из основных способов борьбы с отложениями, однако эффективность реагентов зависит от состава скважинных флюидов и АСПО, а существующие подходы к оценке растворителей, как правило, не учитывают их взаимодействие со скважинной жидкостью [6, 7, 8, 9].

Целью работы является проведение экспериментальных исследований и разработка подхода к анализу эффективности растворителей АСПО с использованием тепловых карт, позволяющего учитывать влияние скважинной жидкости на процесс растворения отложений.

Методы. Экспериментальное моделирование растворения девяти образцов АСПО выполняли при варьировании обводненности скважинной жидкости (0, 25, 50, 75 %), соотношения растворитель/скважинная жидкость (30/100, 45/100, 60/100) и времени воздействия (120, 240, 360 мин) [10]. Эффективность оценивали гравиметрическим методом, статистическую обработку данных проводили в среде Python, для визуализации результатов применяли метод кубической интерполяции с построением тепловых карт.

Результаты. В ходе экспериментальных исследований получены данные 315 опытов, на основе которых установлено, что эффективность растворения АСПО возрастает с увеличением обводненности скважинной жидкости, соотношения растворитель/скважинная жидкость и времени воздействия. Построенные методом кубической интерполяции тепловые карты позволили визуализировать непрерывные поля эффективности растворителя. Дополнительно разработана 4D-тепловая карта, учитывающая временной фактор для оперативного выбора режимов обработки скважин (рис. 1).

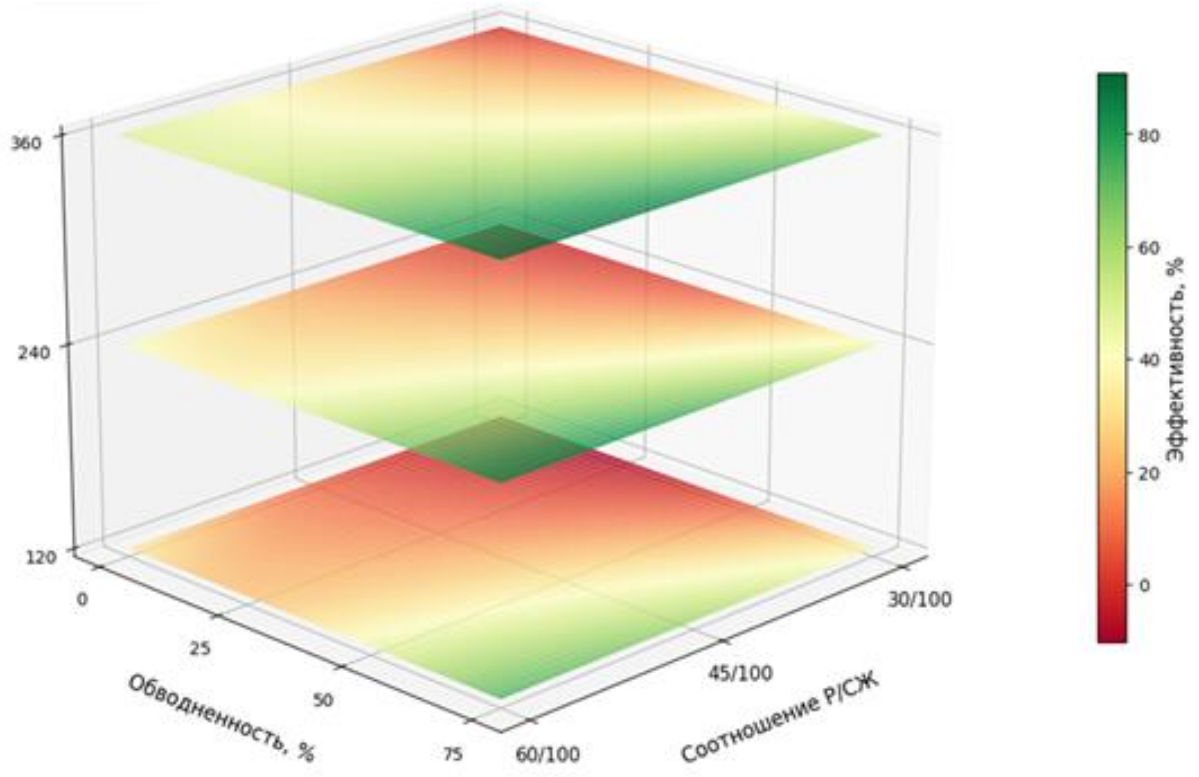


Рис. 1. Обобщенная тепловая карта для определения эффективности растворителя в 4D формате

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что эффективность растворителей АСПО в значительной степени определяется условиями их взаимодействия со скважинной жидкостью. Применение тепловых карт позволяет наглядно представить эту зависимость и учесть многовариантность факторов – обводненность, концентрация реагента, время. Предлагаемый подход расширяет возможности лабораторного обоснования выбора технологий удаления АСПО за счет визуализации областей оптимальных параметров обработки для конкретных геолого-промысловых условий.

Заключение. Разработанный подход с использованием тепловых карт может быть использован в качестве инженерного инструмента для повышения эффективности удаления АСПО с использованием растворителей, который позволяет учитывать смешение растворителя со скважинной жидкостью. Построенные 4D-тепловые карты обеспечивают визуализацию оптимальных параметров обработки для конкретных скважинных условий. Практическая значимость работы заключается в возможности повышения обоснованности выбора технологий удаления АСПО, снижения эксплуатационных затрат и увеличения межремонтного периода скважин.

Благодарности: *Автор выражает благодарность научному руководителю, д.т.н. Гуськовой И.А., за научное руководство и ценные рекомендации.*

Список литературы

1. Гуськова, И.А. АСПО. Управление осложнениями на поздней стадии разработки / И.А. Гуськова, Д.Р. Хаярова. – Альметьевск : Альметьевский государственный нефтяной институт, 2023. – 200 с. – ISBN 978-5-94454-064-5. – EDN QEZZFD.
2. Ибрагимов, Н.Г. Теория и практика методов борьбы с органическими отложениями на поздней стадии разработки нефтяных месторождений / Н.Г. Ибрагимов, В.П. Тронов, И.А. Гуськова ; Н.Г. Ибрагимов, В.П. Тронов, И.А. Гуськова. – Москва : Нефтяное хоз-во, 2010. – 238 с. – ISBN 978-5-93623-009-7. – EDN QMZBCX.
3. Рогачев, М.К. Разработка химического состава для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтяных скважинах / М.К. Рогачев, К.Ш. Хайбуллина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 2-2(44). – С. 99-102. – DOI 10.18454/IRJ.2016.44.117. – EDN VKGGQF.
4. Рогачев, М.К. Физико-химические методы совершенствования процессов добычи нефти в осложненных условиях : специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Рогачев Михаил Константинович. – Уфа, 2002. – 312 с. – EDN NMIGFF.
5. Иванова, Л.В. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения / Л.В. Иванова, Е.А. Буров, В.Н. Кошелев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 1. – С. 268-284. – EDN OOVKYV.
6. Александров, А.Н. Определение температуры насыщения модельных растворов нефти парафином / А.Н. Александров, М.К. Рогачев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 6-2(60). – С. 103-108. – DOI 10.23670/IRJ.2017.60.021. – EDN YTTHVT.
7. Небогина, Н.А. Влияние фазовых переходов в высокопарафинистой нефти и эмульсиях на структурно-реологические свойства / Н.А. Небогина, Н.В. Юдина // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60, № 4. – С. 511-519. – DOI 10.31857/S0028242120040103. – EDN IKGSND.
8. Прогнозирование проблем при добыче нефтей на основе анализа их химического состава и физико-химических свойств / Е.Е. Барская, Ю.М. Ганеева, Т.Н. Юсупова, Д.И. Даянова // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 6. – С. 166-169. – EDN OWNQIL.
9. Физико-химические процессы в продуктивных нефтяных пластах / Т.Н. Юсупова, Ю.М. Ганеева, Г.В. Романов, Е.Е. Барская ; Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского НЦ РАН. – Москва : Наука, 2015. – 412 с. – ISBN 978-5-02-039171-0. – EDN VXASBL.
10. Патент № 2842434 C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/00, E21B 37/06. Способ оценки эффективности растворителя АСПО : заявл. 25.10.2024 : опубл. 26.06.2025 / И.А. Гуськова, Р.Н. Ахмадиев, М.Г. Тимерзянов [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный технологический университет "Высшая школа нефти"». – EDN CAMKVN.

ПОДХОД К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ НА ОСНОВЕ ОГРАНИЧЕННОГО НАБОРА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Гумбатов Э.Э.
инженер, магистрант базовой кафедры, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Тюмень, Россия, emirgum@gmail.com

Научный руководитель: Гильманова Н.В.
кандидат геолого-минералогических наук, Руководитель проекта, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Тюмень, Россия, emirgum@gmail.com

Аннотация. Представлен подход к предварительной оценке эффективности газовых методов увеличения нефтеотдачи в условиях ограниченного набора исходных данных. Методология базируется на композиционном PVT-моделировании для определения степени смесимости с последующей конвертацией в BlackOil-формат и модификацией относительных фазовых проницаемостей с учётом смешивающегося вытеснения. Подход позволяет оперативно оценивать потенциал газовых МУН без дополнительных лабораторных исследований, минимизируя риски некорректного прогнозирования.

Ключевые слова: газовые МУН, смешивающееся вытеснение, PVT-моделирование, относительные фазовые проницаемости, минимальное давление смесимости, гидродинамическое моделирование, остаточная нефтенасыщенность.

Введение. В мировой практике газовые методы увеличения нефтеотдачи (МУН) рассматриваются как перспективный инструмент вовлечения трудноизвлекаемых запасов, однако их реализация сопряжена с высокими капитальными затратами и риском недостижения прогнозных показателей. Ключевая проблема – отсутствие достоверной оценки эффективности на этапе предпроектного анализа из-за дефицита специализированных лабораторных данных (slim-tube, эксперименты по смесимости, ОФП в условиях смешивания). Цель работы – создание подхода к моделированию газовых МУН, позволяющего проводить предварительную оценку с использованием ограниченного набора исходных данных. В рамках работы решаются задачи: анализ механизмов вытеснения при закачке газа, разработка последовательности PVT-моделирования и модификации ОФП, апробация подхода на примере.

Методы. Исследование базируется на трёх этапах. Первый – композиционное PVT-моделирование (уравнение состояния Пенга – Робинсона) с адаптацией по имеющимся пробам пластового флюида и определением степени смесимости через виртуальный slim-tube эксперимент. Второй – конвертация композиционной модели в BlackOil-формат с генерацией PVT-таблиц для четырёхфазной модели (нефть, газ, вода, solvent). Третий – модификация относительных фазовых проницаемостей: задание нулевых остаточных насыщенностей в зоне смешивания, настройка гистерезиса (модели Карлсона и Киллоу) и параметрическая автоадаптация кривых ОФП с использованием истории разработки. Дополнительно применяется аналитический метод оценки остаточной нефтенасыщенности на основе изменения межфазного натяжения.

Результаты. В результате реализована последовательность действий, позволяющая на основе стандартного набора PVT-исследований (компонентный состав, CCE, CVD) определить минимальное давление смесимости (MMP) и степень смешивания при текущем пластовом давлении. Для рассмотренного примера MMP составило 255 бар, степень смесимости при 210 бар – 81 %. Сформированы PVT-таблицы в формате BlackOil для моделирования закачки газа и водогазовой смеси (соотношение 1:1). Построены модифицированные кривые ОФП нефть–газ с нулевыми критическими насыщенностями в условиях смешивания, подбор параметров выполнен через автоадаптацию в дизайнере ОФП. Полученный набор таблиц может быть непосредственно использован в гидродинамическом симуляторе.

Обсуждение. Предложенный подход восполняет пробел между упрощёнными (часто некорректными) трёхфазными моделями и вычислительно затратными полнокомпозиционными расчётами. Использование виртуального slim-tube эксперимента на адаптированной EoS-модели позволяет количественно оценить смесимость без проведения физических испытаний, что критически важно для объектов с ограниченным объёмом лабораторных данных. Модификация ОФП с учётом исчезновения капиллярных сил при смешивании согласуется с современными представлениями теории вытеснения (Lake, 2014). В отличие от стандартного подхода, где ОФП остаются неизменными независимо от давления закачки, предлагаемая методология динамически учитывает изменение физики течения при приближении к условиям смешивания, что повышает достоверность прогнозов прорыва агента и коэффициента вытеснения.

Заключение. Основные выводы: 1) тип взаимодействия газа с пластовым флюидом (несмешивающееся, частично смешивающееся, смешивающееся) определяет выбор PVT-модели и метода задания ОФП; 2) последовательное композиционное моделирование с конвертацией в BlackOil-формат позволяет корректно учесть смесимость при приемлемых вычислительных затратах; 3) модификация кривых ОФП с обнулением остаточных насыщенностей в зоне смешивания и настройкой гистерезиса является необходимым условием адекватного прогноза. Практическая значимость работы заключается в возможности оперативной предварительной оценки эффективности газовых МУН на основе ограниченного набора исходных данных, что снижает инвестиционные риски и позволяет обосновать проведение специализированных лабораторных исследований для наиболее перспективных объектов.

Список литературы

1. Апасов, Т.К. Методы интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи для месторождений Западной Сибири [Текст]: учебное пособие / Т.К. Апасов, Р.Т. Апасов, Г.Т. Апасов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 187 с.
2. Дополнение к технологической схеме разработки нефтегазового месторождения N Западной Сибири (протокол ЦКР Роснедр № X).
3. Лядова, Н.А. Опыт применения третичных методов увеличения нефтеотдачи на месторождениях Пермского края [Текст] / Н.А. Лядова, А.В. Распопов, Л.Н. Мужикова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 7. – С. 92–95.
4. Пияков, Г.Н. Исследование эффективности водогазового воздействия для разработки девонских залежей Туймазинского месторождения [Текст] / Г.Н. Пияков [и др.] // Тр. / БашНИПИнефть. – 1986. – Вып. 7. – С. 105–109.
5. Лейк Л.У. и др. Справочник по нефтегазовой инженерии. – М.: Газпром, 2009. – 832 с.
6. Гумбатов Э.Э.// Подход к предварительному определению эффективности применения водогазового воздействия на пласт// С23 Сборник научных трудов специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – М.: ООО «Альтер Эго Промоушн», 2025. – 448 с.: ил. – С. 255-267.

УДК 621.6.029

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «УКПГ – ДКС-2 – НТС – ДКС-1» ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОШЕНИЙ ДАВЛЕНИЙ МЕЖДУ ДКС-1 И ДКС-2

Зарецкий А.Д.
аспирант, НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, a.d.zaretskiy@gmail.com

Научный руководитель: Воронцов М.А.
к.т.н., доцент, НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача повышения энергоэффективности технологической системы подготовки газа на газоконденсатных месторождениях при снижении пластового давления. Предложен подход к анализу распределения отношений давлений между дожимными компрессорными станциями с учетом их влияния на работу установки низкотемпературной сепарации с турбодетандерным агрегатом и энергетические показатели системы.

Ключевые слова: низкотемпературная сепарация, детандер, турбодетандерный агрегат, газоконденсатное месторождение, дожимные компрессорные станции, распределение давления, энергоэффективность, подготовка газа.

Введение. В условиях снижения пластового давления на газоконденсатных месторождениях существенно возрастает нагрузка на дожимные компрессорные станции (ДКС), что приводит к росту удельных энергозатрат при подготовке газа к транспорту. В составе установок комплексной подготовки газа широко применяются установки низкотемпературной сепарации (НТС) с турбодетандерными агрегатами (ТДА). Актуальной является задача анализа распределения отношения давлений между ДКС-1 и ДКС-2 внутри технологической системы «УКПГ – ДКС-2 – НТС – ДКС-1» (далее – технологическая система) как фактора, определяющего режимы работы технологической системы подготовки газа и конструкционные параметры ее ключевых элементов [1].

Основная часть. В рамках работы предлагается подход к комплексной оптимизации параметров установки НТС в составе компрессорной инфраструктуры месторождения, включающий

1) формирование математической модели технологической системы подготовки газа;
2) оценка влияния распределения отношения давлений между ДКС-1 и ДКС-2 на энергоэффективность технологической системы;
3) определение наиболее рационального значения отношений давления НТС и соответствующих этому значению отношений давлений ДКС, а также интегральных показателей эффективности ТДА;
4) учет эксплуатационных ограничений (по скорости движения газа, диаметр обвязки, установленные мощности на ДКС-1 и ДКС-2 и др.).

Выводы. Обоснован потенциал повышения энергоэффективности подготовки газа за счет рационального распределения отношения давлений в технологической системе.

Список литературы

1. Воронцов, М.А. Методический подход к расчетному исследованию промысловой подготовки природного газа к транспорту по технологии низкотемпературной сепарации с применением турбодетандерных агрегатов / М.А. Воронцов, Д.М. Федулов, А.С. Грачев и др. // Актуальные проблемы добычи газа : Вести газовой науки. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2016. – № 2 (26). – С. 106–111.

УДК 622.276

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫТЕСНЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ НЕФТИ

Иванов З.Г.
аспирант, ПНИПУ, Пермь, Россия, zakharivanov@pstu.ru

Научный руководитель: Турбаков М.С.
канд. технич. наук, доцент, ПНИПУ, Пермь, Россия.

Аннотация. Анализ опыта проведения лабораторных исследований по изучению процессов при вытеснении остаточной нефти показал существование ряда недостатков. Для устранения влияния выявленных недостатков на результаты фильтрационных исследований разработан стенд для исследования процессов вытеснения остаточной нефти. Результаты испытаний показали способность стенда моделировать пористую среду с заданными характеристиками пористой среды и исключать влияние сторонних факторов на процессы в пористой среде. Система датчиков, установленная не стенде позволила фиксировать изменения, происходящие в пористой среде.

Ключевые слова: модель пласта, фильтрация, вытеснение, керн, пористая среда.

Повышение эффективности вытеснения остаточной нефти из коллекторов является важной задачей при добыче нефти. Существующие технологии вытеснения нефти из нефтеносных пластов не всегда оказывают достаточный эффект, оставляя значительную часть нефти в поровом пространстве горных пород. Для решения данной проблемы проводятся исследования процессов вытеснения нефти с целью поиска технологий, которые позволили бы извлечь наибольшее количество нефти. Как правило, они включают в себя фильтрационные исследования в условиях лаборатории. В большинстве случаев такие исследования проводятся с использованием стандартных образцов керна. О эффективности исследуемой технологии вытеснения либо реагента судят на основании косвенных факторов, получаемых в ходе исследования. Соответственно, использование керна для данных целей является некорректным, так как на результаты могут влиять факторы неоднородности структуры, вызванные, например, микротрещиноватостью [1-3]. Для решения проблемы с влиянием сторонних факторов на результаты фильтрационных исследований используют методы создания аналогов керна [4-6] либо модели пласта [7-9]. Данные методики имеют свои недостатки: аналоги керна либо не позволяют моделировать поровое пространство, либо сохраняют часть неоднородности; насыпные модели пласта являются хорошим решением, однако они, как правило, представляют собой необжатую и неконсолидированную песчаную смесь.

Для решения данного вопроса разработан стенд (рисунок 1), включающий в себя насыпную модель пласта с возможность ее обжима. Использование представленного стенда позволяет моделировать заданную структуру модели пласта: как однородную, так и с искусственно созданной неоднородностью. Примером создаваемой искусственной неоднородности может служить моделирование продольной слоистости пласта для исследования процессов вытеснения из разных пластов при одновременной фильтрации либо поперечной слоистости для исследования влияния анизотропии на фильтрацию.

Продольный размер используемой модели пласта составляет 1000 мм. По всей длине модели через равное расстояние устанавливаются датчики давления. Данная конструкция позволяет производить оценку изменений, происходящих в поровом пространстве на участках модели между датчиками при проведении фильтрационных испытаний.

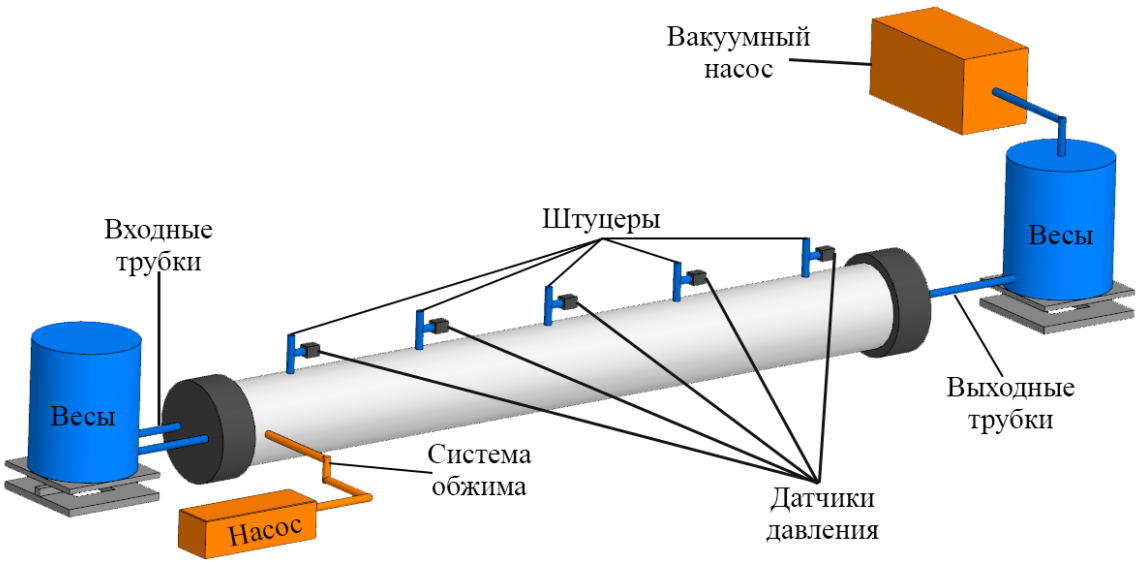


Рис.1 Схема лабораторного стенда

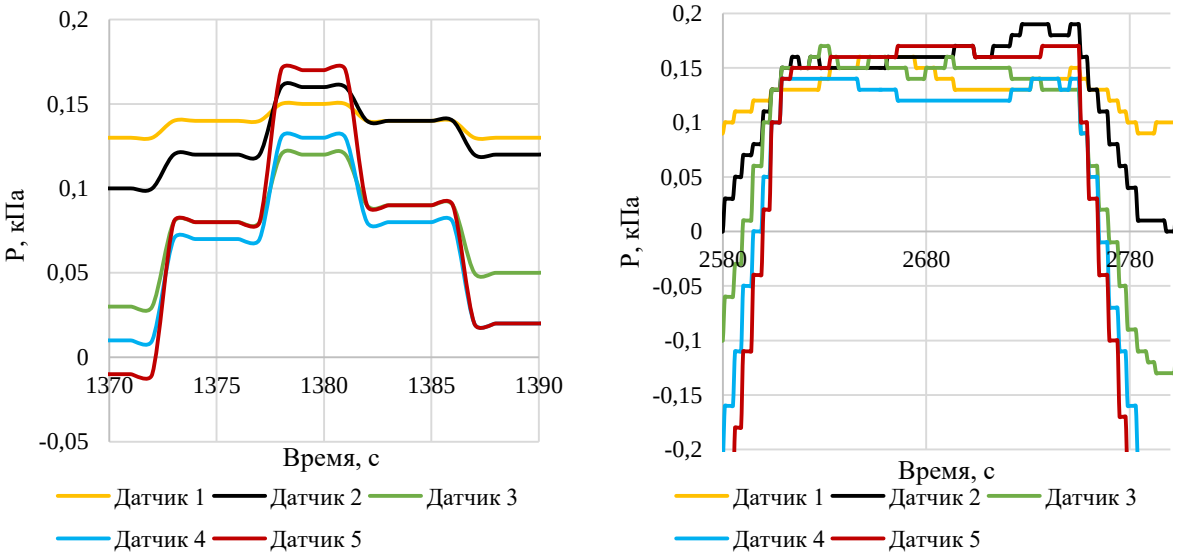


Рис.2 Аномалии выявленные на графиках динамики давления в разных точках модели пласта при прекращении отбора

Для оценки работы разработанного стенда был проведен ряд фильтрационных исследований при циклическом отборе флюида их модели пласта. в результате исследования были выявлены аномалии в поведении давления в различных частях модели. Аномалии заключались в неравномерном перераспределении давления в модели при прекращении отбора флюида. На рисунке 2 приведены фрагменты выявленных аномалий давления на графиках динамики давления на каждом из датчиков давления в ходе проведения фильтрации. На графиках динамики давления в различных точках модели пласта видим неравномерное перераспределение давления: в отдельных местах скорость роста давления превышает соседние точки.

На основании того, что исследования проводились на насыпной модели пласта, где была сформирована однородная пористая среда, можно исключить связь возникновения наблюдаемых аномалий со структурными особенностями. Следовательно, причиной возникновения таких явлений служат иные причины, например возникновение волн давления, их наложение друг на друга и резкий рост давления [10].

Таким образом, разработанный стенд для проведения фильтрационных исследований с целью изучения процессов вытеснения остаточной нефти позволяет моделировать различные структурные параметры модели пласта, исключая влияние сторонних факторов, а также получать информацию о процессах протекающих в поровом пространстве посредством системы датчиков. Результаты, полученные с использованием разработанного стенда, могут внести вклад в развитие технологий вытеснения остаточной нефти и коллекторов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 25-79-10350.

Список литературы

1. Chen Z., Rong G., Quan J., Xu L. Quantitative study of drilling-induced core damage through laboratory tests // Acta Geotechnica. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – P. 327–346. – DOI: 10.1007/s11440-023-01917-1.
2. Gao G., Li Z., Chang C. Numerical simulation of diametrical core deformation and fracture induced by core drilling // Arabian Journal of Geosciences. – 2022. – Vol. 15, № 1. – Article 59. – DOI: 10.1007/s12517-021-09378-0.
3. Gale J.F.W., Rysak B., Laubach S.E., Ferrill D.A. Mechanisms for the generation of complex fracture networks: observations from slant core, analog models, and outcrop // Frontiers in Earth Science. – 2022. – Vol. 10. – Article 848012. – DOI: 10.3389/feart.2022.848012.
4. Wu H., Ju Y., Han X., Ren Z., Sun Y., Zhang Y., Han T. Size effects in the uniaxial compressive properties of 3D printed models of rocks: an experimental investigation // International Journal of Coal Science & Technology. – 2022. – Vol. 9. – Article 83. – DOI: 10.1007/s40789-022-00556-3.
5. Wang G., Xu H., Wu L., Yang Y. Preparation and evaluation of artificial cores of unconsolidated sandstone considering the effect of formation water // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2021. – Vol. 46, № 7. – P. 6809–6815. – DOI: 10.1007/s13369-020-04974-w.
6. Ozhgibesov A.A., Kochnev A.A., Stepanova Y.V., Krivoschekov S.N. Real-size reconstruction of porous media using the example of fused filament fabrication 3D-printed rock analogues // Journal of Manufacturing and Materials Processing. – 2024. – Vol. 8, № 3. – Article 104. – DOI: 10.3390/jmmp8030104.
7. Lin Y., Zeng F., Peng B. Experimental study of viscous fingering in sand-pack model for heavy oil reservoir // Chemical Engineering Research and Design. – 2023. – Vol. 191. – P. 525–535. – DOI: 10.1016/j.cherd.2023.01.022.
8. Khoramian R., Pourafshary P., Golshokooh S., Kharrat R. Optimizing synthetic core plugs: sintered glass beads and sand particles for natural rock property replication in fluid flow and reservoir studies // Geoenergy Science and Engineering. – 2024. – Vol. 236. – Article 212727. – DOI: 10.1016/j.geoen.2024.212727.
9. Meng Q., Feng Y., Yang W., Chen X., Sun W., He Y., Wang H., Liu T., Li H. Mechanisms and optimization of foam flooding in heterogeneous thick oil reservoirs: insights from large-scale 2D sandpack experiments // ChemEngineering. – 2025. – Vol. 9, № 3. – Article 62. – DOI: 10.3390/chemengineering9030062.
10. Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю., Дудко Д.Н. Взаимодействие волны давления с трещиноватой пористой зоной в пористой среде // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. – 2024. – Т. 166, кн. 3. – С. 331–342. – DOI: 10.26907/2541-7746.2024.3.331-342.

УДК 621.313

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА, СОЧЕТАЮЩЕГО ЦИФРОВУЮ И ФИЗИЧЕСКУЮ ОПТИМИЗАЦИЮ НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМЕНИ Ю. КОРЧАГИНА

Иванцова М.С., Лапенате М.Е.
студенты 3 курса, направление «Нефтегазовое дело»,
Воркутинский филиал «Ухтинского государственного технического университета»,
Воркута, Россия, casdasfox@gmail.com

Научный руководитель: Билалов А.
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры НСиМ,
Воркутинский филиал «Ухтинский государственный технический университет»,
Воркута, Россия

Аннотация. В работе предложен комбинированный метод, сочетающий цифровую и физическую оптимизацию разработки нефтегазоконденсатного месторождения имени Ю. Корчагина. Актуальность подхода обусловлена сложным геологическим строением залежей, наличием газовой шапки и подошвенной воды, а также высокими требованиями к надежности морской инфраструктуры. Метод основан на совместном использовании цифрового моделирования режимов добычи и физических мероприятий в скважинах и системе сбора продукции. Ожидаемый эффект заключается в снижении рисков прорыва газа и воды, стабилизации дебитов и повышении технологической эффективности эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: месторождение имени Ю. Корчагина, цифровая оптимизация, физическая оптимизация, горизонтальные скважины, газлифт, прорыв воды, прорыв газа, шельф Каспийского моря, ледообразие.

Введение. Месторождение имени Ю. Корчагина является одним из ключевых морских проектов российского сектора Северного Каспия. Для него характерны тонкая нефтяная оторочка, газовая шапка, подошвенная вода, высокая чувствительность к режимам отбора и повышенные экологические требования, что осложняет выбор эффективных технологических решений [1–3].

На поздних стадиях разработки особую значимость приобретает не отдельная операция, а согласованный комплекс мер, одновременно учитывающий поведение пласта, конструкцию горизонтальных скважин и ограничения морской системы сбора. Поэтому целью работы является разработка комбинированного метода цифровой и физической оптимизации для повышения устойчивости добычи и снижения технологических рисков на месторождении [4, 5].

Методы. Цифровая часть метода основана на интеграции данных о геологическом строении залежей, режимах работы скважин, показателях обводненности, газового фактора и параметрах транспорта продукции. На этой основе формируется цифровой контур принятия решений: анализируются депрессии на пласт, распределение притока по горизонтальному стволу, риски конусообразования и допустимые режимы эксплуатации скважин и трубопроводной системы [2, 6, 7].

Физическая часть включает мероприятия, направленные на локальное управление притоком и снижение осложнений: применение заколонных разбухающих пакеров для сегментации горизонтального ствола, использование противопесочных фильтров, ограничение депрессии, выбор щадящих режимов интенсификации и проведение адресных водо- и газоизоляционных работ в проблемных интервалах. Совмещение цифрового прогноза и физического воздействия позволяет переходить от реактивного устранения осложнений к их предупреждению [3, 8].

Результаты. В результате анализа показано, что наибольший технологический эффект достигается не при наращивании депрессии, а при управляемом перераспределении притока вдоль горизонтального участка. Сегментация ствола пакерами повышает диагностируемость интервалов прорыва газа и воды, а цифровой подбор режимов помогает заранее определить зоны риска и допустимые эксплуатационные окна [4, 8].

Для морского объекта это особенно важно, поскольку любые ремонтно-изоляционные операции связаны с высокой стоимостью и организационными ограничениями. Предлагаемый подход обеспечивает снижение вероятности преждевременного обводнения, стабилизацию работы газлифтных скважин и более надежную загрузку системы подготовки и транспортировки продукции [1, 5, 9].

Обсуждение. В отличие от изолированного применения «цифровых» или только «физических» решений, комбинированный метод позволяет учитывать взаимное влияние пласта, скважины и наземно-морской инфраструктуры. Цифровая модель задает сценарии и границы безопасной эксплуатации, а физические мероприятия обеспечивают фактическую реализацию выбранной стратегии в конкретных интервалах пласта [6, 9].

Практическая ценность подхода состоит в возможности его тиражирования на другие шельфовые объекты со сходными ограничениями: горизонтальными стволами большой протяженности, газовыми шапками, подошвенной водой и высокими требованиями к безаварийности. При этом эффективность метода зависит от качества промысловых данных и регулярного обновления цифровой модели по фактической истории работы скважин [2, 7, 10].

Заключение. Разработан комбинированный метод, сочетающий цифровую и физическую оптимизацию разработки месторождения имени Ю. Корчагина. Его основа – совместное использование цифрового моделирования режимов эксплуатации и адресных скважинных мероприятий для управления притоком, ограничения осложнений и поддержания устойчивой работы морской системы сбора и транспорта продукции.

Предлагаемый подход может быть использован как практический инструмент повышения технологической эффективности и надежности разработки нефтегазоконденсатных месторождений шельфа. Дальнейшее развитие работы связано с уточнением критериев выбора мероприятий по каждой скважине и оценкой экономического эффекта внедрения на фактических промысловых данных.

Список литературы

1. Булатов А.И., Просёлков Ю.М. Морские нефтегазовые сооружения. Техника и технология разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2010.
2. Булатов А.И., Савенок О.В. Заканчивание нефтяных и газовых скважин: теория и практика. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2010.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Осложнения и аварии при строительстве нефтяных и газовых скважин. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2010.
4. Кустышев А.В. Особенности эксплуатации шельфовых месторождений: курс лекций. Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. 118 с.
5. Харин А.Ю., Харина С.Б. Скважинная добыча углеводородов морских и шельфовых месторождений: учебное пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2012.
6. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефть и газ. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2011.
7. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2012.
8. Мищевич В.И., Логунцов Б.М., Уманчик Н.П. Разведка и эксплуатация морских нефтяных и газовых месторождений. Москва: Недра, 1977.
9. Котельников А.С., Савенок О.В. Экологические риски при морской добыче нефти и газа // Сборник лучших научных работ молодых ученых КубГТУ. 2018. С. 159–168.
10. Котельников А.С. Особенности морской добычи нефти // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. № 2. С. 164–166.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА К МЕХАНИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Кашапов Д.О.
аспирант, ПНИПУ, Пермь, Россия, dokashapov@pstu.ru

Научный руководитель: Турбаков М.С.
канд. технич. наук, доцент, ПНИПУ, Пермь, Россия

Аннотация. В условиях интенсификации нефтедобычи акутальной задачей является выбор проппантов, способных обеспечивать устойчивую проводимость трещин гидроразрыва пласта при экстремальных забойных давлениях. В данной работе представлены результаты комплексного исследования устойчивости материалов для гидроразрыва пласта, проведенного с использованием современных лабораторных методов. Испытания на сопротивление раздавливанию и тесты на долговременную проводимость показали высокую механическую устойчивость материала: массовая доля разрушенных гранул не превысила 9% даже при максимальных нагрузках. Тестирование в модифицированной ячейке API подтвердили сохранение фильтрационных свойств проппанта после 60 часов воздействия высокого давления.

Ключевые слова: гидроразрыв, проппант, проницаемость, проводимость, фильтрация.

Проппанты для гидроразрыва, представляют собой твердофазные материалы – как правило, кварцевый песок, керамические гранулы или проппанты с полимерным покрытием на основе смол, они предназначены для удержания трещин открытыми и обеспечения потока углеводорода к скважине. Существует ряд типов проппантов с различными размерами, формами и составами, и выбор оптимального типа проппанта для конкретного пласта является сложным решением [9].

Метод определения сопротивления раздавливанию основан на измерении массовой доли разрушенных гранул при определенном уровне нагрузки. Для исследования отбирались просеянные проппанты (100-120 г) [3]. В тестирование не применяются проппанты которые остались на верхнем сите и прошли через нижнее после измерения гранулометрического состава. Засыпка проппанта в цилиндр проводится постепенно через воронку в ячейку для раздавливания, перемещая струю проппантов так, чтобы их поверхность в ячейке была ровной. После чего без встряхивания ячейку помещают в гидравлический пресс. Равномерно в течение 1 минуты увеличивают нагрузку до достижения рассчитанного усилия и поддерживают в течении 2 минут [10].

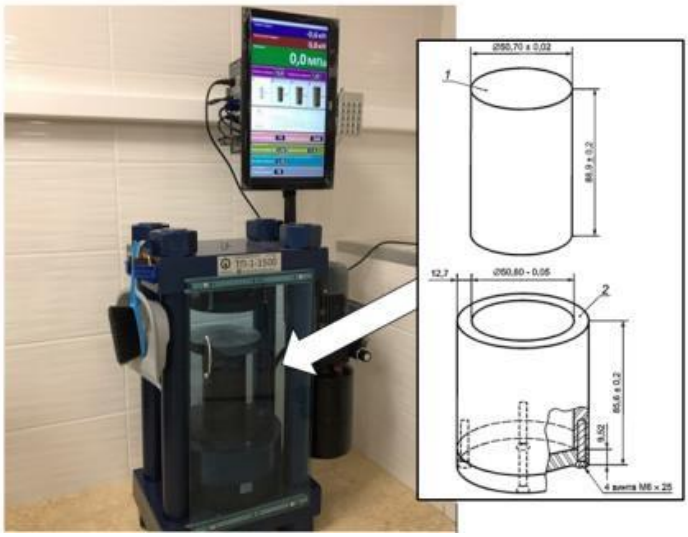


Рис. 1. Гидравлический пресс марки ТП 1-1500 и цилиндр для раздавливания проппанта

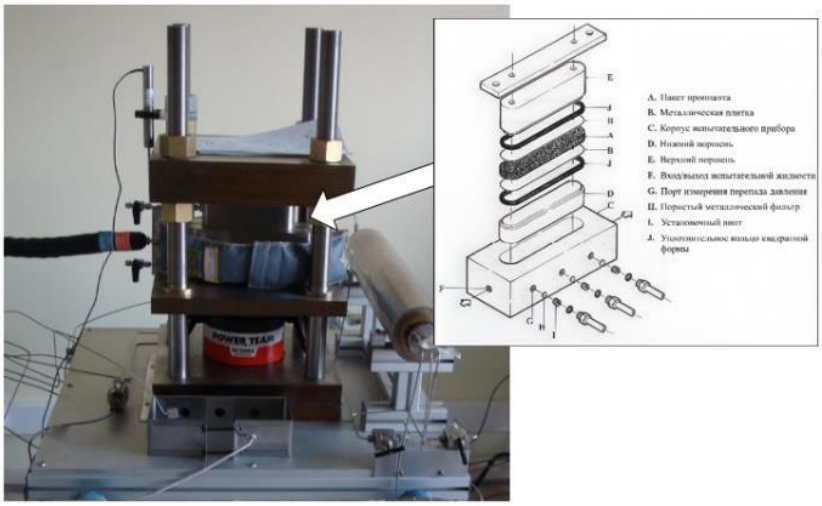


Рис. 2. Модифицированная ячейка для определения проводимости проппанта

После этого усилие снимается, и проба подвергается рассеву [1]. Просеянные гранулы взвешиваются на электронных лабораторных весах для расчета массовой доли разрушенных гранул, f, %, по формуле (1):

$$f=(m_1/\ m)*100\%, \quad (1)$$

где m_1 – масса разрушенных гранул, г, m – масса навески для испытания, г

Таблица 1

Результаты измерения сопротивлению раздавливания

№ п/п	Давление, фунт/дюйм^2	№ Испытания				Среднее значение сопротивления раздавливанию фракции, %	
		фракция 16/20		фракция 20/40		фракция 16/20	фракция 20/40
		1	2	1	2		
1	5000	1,35	1,18	0,37	0,32	1,27	0,35
2	7500	3,50	3,13	0,86	0,80	3,32	0,83
3	10000	9,23	8,52	2,21	2,32	8,88	2,27

Для оценки долговременной проводимости и проницаемости проппанта были проведены испытания в модифицированной ячейке проводимости API при давлении закрытия 7870 psi (537 атм).

Результаты испытания подтвердили высокую устойчивость в условиях высоких температур и давлений. Проппант обеих фракций продемонстрировал стабильные показатели проводимости и проницаемости даже после 60 часов воздействия давления, проводимость фракции 16/20 снизилась с 2671 mD*ft до 2174mD*ft,а проницаемость – с 181 D до 141 D, что свидетельствует о сохранении фильтрационных свойств на высоком уровне.

Таблица 2

Результаты испытания на долговременную проводимость и проницаемость

№ п/п	Фракция, mesh/mesh	16/20		20/40	
	Стресс, psi	7870		7870	
	Выдержка, час	Проводимость, mD*ft	Проницаемость, D	Проводимость, mD*ft	Проницаемость, D
1	0	2671	181	1754	192
2	15	2362	151	1587	178
3	30	2246	145	1533	174
4	45	2174	141	1469	166
5	60	2174	141	1363	155

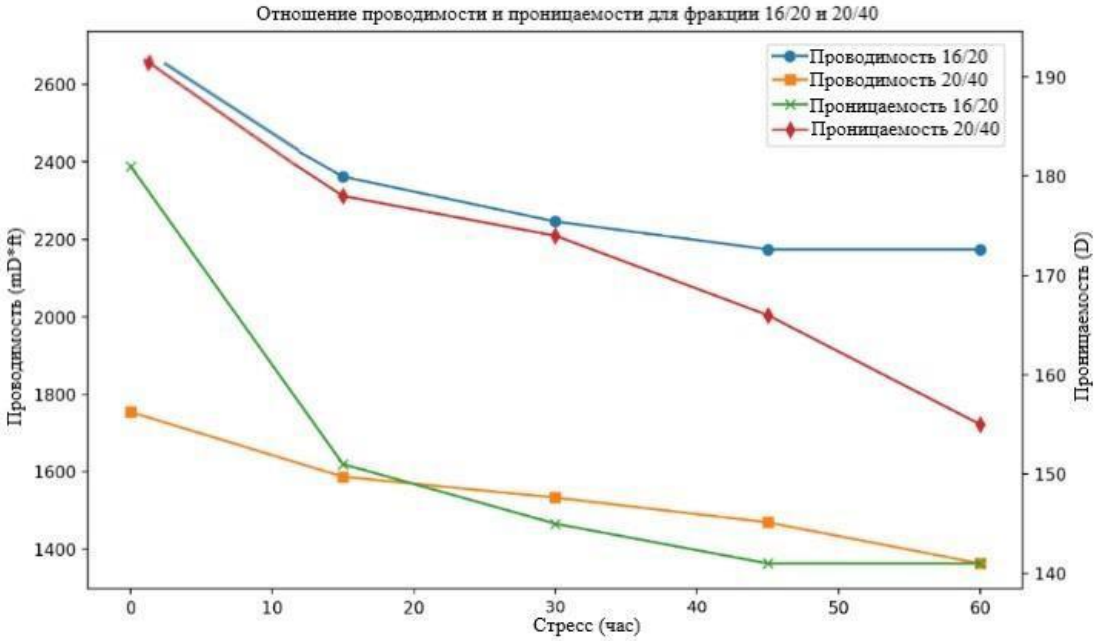


Рис. 3. Отношение проводимости и проницаемости проппанта при различных уровнях стресса

Забойное давление закрытия определяется после анализа графика падения давления и составляет 635,07 атм. Этот параметр является критически важным для оценки устойчивости проппанта, так как именно при таком давлении трещина закрывается, и проппант должен сохранять свою структуру, обеспечивая проводимость трещины.

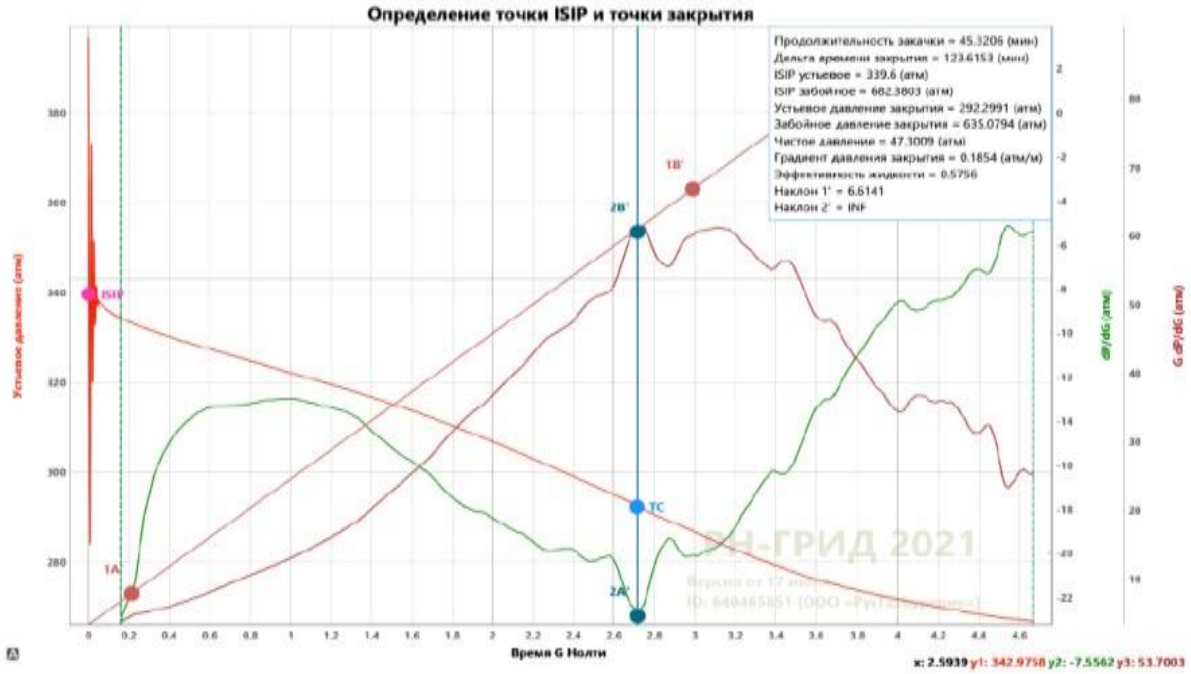


Рис. 4. Определение ключевых параметров процессе мини-ГРП с использованием ПО РН-ГРИД

Исследования показало, что проппант фракции 20/40 превосходит фракцию 116/20 по ключевым параметрам. При максимальной нагрузке разрушилось лишь 2,27% гранул фракции 20/40 против 8,88% у 16/20, что говорит о ее большей механической устойчивости. Несмотря на более низкую начальную проводимость (1754 mD*ft против 2671 mD*ft

у 16/20), фракция 20/40 лучше сохраняет проницаемость после 60 часов воздействия давления (155 D против 141 D). Таким образом, фракция 20/40 более устойчива к разрушению и эффективнее поддерживает фильтрационные свойства, что делает ее предпочтительным выбором для гидроразрыва пласта.

Список литературы

1. Lv M. Review of proppant flowback after hydraulic fracturing: Research, control, and prediction methods // ScienceDirect. – 2025. – Vol. 12, № 1. – P. 1–15. – DOI: 10.1016/j.petlm.2024.100123.
2. Tang P. Numerical investigation of transport behaviors of nonspherical proppants in hydraulic fracturing using CFD-DEM // Particulate Science and Technology. – 2021. – Vol. 40, № 2. – P. 187–201. – DOI: 10.1080/02726351.2021.1930301.
3. Ramazanov R. Enhancing Fracturing Proppant Performance: Methods and Assessment // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2024. – Vol. 49, № 11. – P. 13421–13438. – DOI: 10.1007/s13369-024-09679-y.
4. Turbakov M. Determination of Enhanced Oil Recovery Candidate Fields in the Volga-Ural Oil and Gas Region Territory / A. Shcherbakov // Energies. – 2015. – Vol. 8, № 10. – P. 11153–11166. – DOI: 10.3390/en81011153.
5. Katende A., et al. A comprehensive review of proppant embedment in shale reservoirs: Experimentation, modeling and future prospects // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2021. – Vol. 95. – P. 104143. – DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104143.
6. Zhang Y., Wang H., Li X. Experimental study on the conductivity of proppant packs under high closure stress // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2021. – Vol. 93. – P. 104089. – DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104089.
7. Гилаев Г.Г., Гилаев Р.Г., Хафизов А.Р. Исследование эффективности применения проппантов различных фракций при гидроразрыве пласта // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 3. – С. 102–106.
8. Файзуллин И.Р. Оптимизация технологии гидроразрыва пласта с использованием современных проппантов // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 84–88.
9. Wang W., Zhou D., Gu T., Yan Y., Yang X., Xu S. Experimental Investigation on the Influence of Proppant Crushing on the Propped Fracture Conductivity // Processes. – 2025. – Vol. 13, № 7. – P. 2166. – DOI: 10.3390/pr13072166.
10. Zoveidavianpoor M., Gharibi A. Application of polymers for coating of hydraulic fracturing of subterraneous formations: A comprehensive review // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2015. – Vol. 24. – P. 197–209. – DOI: 10.1016/j.jngse.2015.03.024.

УДК 622.243

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛМАЗНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ ССК В ТВЁРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Кириков Д.В.
аспирант кафедры ТТР, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, Красноярск, Россия,denis.kirikov.99@bk.ru

Научный руководитель: Нескоромных В.В.
д.т.н., заведующий кафедрой ТТР, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, Красноярск, Россия

Аннотация. Разработана концепция создания алмазного породоразрушающего инструмента, обеспечивающего стабилизацию траектории скважины в твердых анизотропных породах. Обоснована необходимость учета величины эксцентриситета вооружения торцевой части совместно с твердостью матрицы при подборе коронок. В отличие от традиционных подходов, предложена параметрическая площадка выбора, учитывающая механизм разрушения мелким резцом. Экспериментально подтверждено снижение интенсивности естественного искривления и повышение экономической эффективности геологоразведочных работ без перехода на увеличенные диаметры инструмента.

Ключевые слова: Анизотропия, искривление скважин, алмазные коронки, Эксцентриситет, ССК.

Актуальность исследования. Современное геологоразведочное бурение в твёрдых горных породах реализуется преимущественно с использованием комплексов со съёмным керноприёмником (ССК). Ведущие мировые производители бурового оборудования – компании Atlas Copco и Boart Longyear – предлагают параметрический ряд алмазных коронок, выбор которых осуществляется на основании оценки абразивности, трещиноватости и твёрдости горных пород. Инструмент данных компаний характеризуется высоким качеством изготовления матриц и корпусов, применением методов поверхностного и объёмного упрочнения, использованием искусственных алмазов со стабильными физико-механическими свойствами [1]. Ключевым требованием к таким системам является высокая геометрическая точность и статическая сбалансированность всех элементов буровой компоновки: породоразрушающего инструмента, бурильных труб, колонковых наборов.

Однако многолетние исследования [6-7,10] показывают, что даже высокая степень статической сбалансированности элементов буровой колонны не исключает её деформации в процессе бурения, что фактически нивелирует статическую сбалансированность колонны в динамических условиях [2-3]. Кроме того, существенное влияние на процесс бурения скважин заданного направления оказывают неравномерные свойства горных пород, в частности их анизотропия по буримости, твёрдости и упругости.

Цель работы. Разработка новой концепции проектирования алмазного бурового инструмента, основанной на комплексном учёте степени анизотропии горных пород для обеспечения стабильности направления скважины и повышения эффективности бурения без увеличения диаметра скважины.

Материалы и методы. В работе применены методы теоретического анализа механики разрушения анизотропных горных пород, экспериментальные исследования на лабораторных стендах, анализ геолого-технологической информации о разрезах бурения. Оценка анизотропии проводилась через определение упругих свойств при внедрении инденторов различной геометрии, что позволило выявить зависимость коэффициента анизотропии от формы и размера рабочего элемента.

Результаты исследований. На основании проведённых исследований сформулирована новая концепция, состоящая в том, что любой алмазный буровой инструмент должен обладать определённой величиной эксцентриситета вооружения торцевой части (ЭВТ) [4]. Данная величина подбирается наряду с твёрдостью матрицы исходя из условий бурения, а именно – из показателя анизотропии породы. Предложена параметрическая площадка выбора конструкции коронки в зависимости от степени анизотропии и абразивности пород, где значения эксцентриситета варьируются в зависимости от коэффициента анизотропии (K_a = 1,1–2,0).

Важным аспектом концепции является учёт размера алмазного резца. В настоящее время практически весь инструмент для бурения твёрдых пород – импрегнированный, с мелким алмазным резцом (зернистость 150–600 шт./карат, диаметр 0,7–0,5 мм и менее). При расчёте действующих сил необходимо учитывать, что механизм разрушения породы мелким резцом отличается от однослойных коронок с крупными алмазами. Если крупный алмазный резец работает в режиме раздавливания в сочетании со скалыванием, то мелкий приостренный резец реализует разрушение, более соответствующее резанию-скалыванию [5]. При этом упругие деформации, являющиеся основой дестабилизирующих сил (опрокидывающего момента M_o и отклоняющего усилия ΔT), будут менее значительны [6].

Экспериментальные данные по туфодациту при использовании инденторов различной геометрии показали различные коэффициенты анизотропии: 1,65 – для крупного индентора (режим раздавливания) и 1,25 – для мелкого приостренного индентора (режим резания-скалывания). Это подтверждает, что переход на мелкоалмазный инструмент снижает влияние анизотропии и, как следствие, интенсивность естественного искривления скважин [7].

Оценка анизотропии через определение твёрдости по стандартным методикам не является достаточно корректной для импрегнированного инструмента. В соответствии с исследованиями В.П. Рожкова [8], предпочтительным является определение микротвёрдости, когда мелкий резец внедряется в породу без образования лунки, что лучше соответствует реальным условиям бурения мелкоалмазным инструментом.

Выводы.

Предложена новая концепция проектирования алмазного бурового инструмента для комплексов ССК, основанная на переходе от линейной номенклатуры коронок к параметрической площадке, включающей не только диаметр, типоразмер и твёрдость матрицы, но и величину эксцентриситета вооружения торцевой части.

Выбор величины эксцентриситета должен производиться по величине анизотропии горной породы, что позволяет целенаправленно компенсировать дестабилизирующие силы и снижать интенсивность естественного искривления скважин.

Установлено, что импрегнированные коронки с мелким алмазным резцом работают в режиме резания-скалывания, при котором упругие деформации породы менее значительны, чем при режиме раздавливания, характерном для однослойных коронок с крупными алмазами.

Разработана методика оценки анизотропии с применением мелких приостренных инденторов, что обеспечивает более корректное соответствие реальным условиям бурения импрегнированным инструментом.

Переход на параметрическую площадку выбора бурового инструмента позволяет оптимизировать подбор коронок под конкретные горно-геологические условия, снизить процент скважин, не выполняющих геологическое задание, и повысить экономическую эффективность геологоразведочных работ.

Ключевые слова: анизотропия горных пород, естественное искривление скважин, алмазный буровой инструмент, комплексы ССК, эксцентриситет вооружения торцевой части, параметрическая площадка, импрегнированная коронка, микротвёрдость.

Список литературы

1. Борисов К.И. Современные методы оценки сопротивления горных пород резанию-скалыванию при бурении долотами PDC: монография, ТПУ, 2013. – 166 с.
2. Блинов Г.А. Техника и технология высокоскоростного бурения / Г.А.Блинов, О.А. Буркин, О.А. Володин [и др.]. – М.: Недра, 1982. – 408 с.
3. Воздвиженский Б.И. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения / Б.И. Воздвиженский, Г.А. Воробьев, Л.К. Горшков [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 208 с.
4. Будюков Ю.Е. Алмазный породоразрушающий инструмент/ Ю.Е. Будюков, В.И. Власюк, В.И. Спирин. – Тула: ИПП «Гриф и К°», 2005. – 288 с.
5. Киселев А.Т. Вращательно-ударное бурение геологоразведочных скважин / А.Т. Киселев, И.Н. Крусир. – М.: Недра, 1982. – 103 с.
6. Нескоромных В.В., Белов Н.М., Кириков Д.В. Исследование искривления скважин при бурении алмазными коронками с различной зернистостью алмазов//Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2025, – №12(396), – С.5–11.
7. Нескоромных В.В. Искривление скважин в анизотропных горных породах: монография/ В.В. Нескоромных. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 204 с.
8. Рожков В.П. Разработка метода определения микротвердости пород при бурении мелкоалмазным инструментом/ В.П. Рожков // Изв. вузов. Геология и разведка. – М.: 1998. – № 4. – С.119–126.
9. Инженерные расчеты при бурении / Э.В. Бабаян, А.В. Черненко / Москва: Инфра-Инженерия, 2016. – 440 с.
10. Yang Quan-zhi. Engineering Solution for Variable Curvature Trajectory Design of Extended Reach Well [Электронный ресурс] / Quan-zhi Yang. – 2023. – URL: https://www.researchgate.net/publication/372345845 (дата обращения: 10.03.2026).

УДК 532.13

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

Кошелев Д.И.*, Матвеева Ю.Г., Плотникова К.И., Голунцов А.С.
*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, * koshelev.d03@mail.ru*

Научный руководитель: Николаев А.К.
доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению реологических характеристик нефти, транспортируемой по магистральному трубопроводу на участке от от ЛПДС «Пурпе» до НПС «Самотлор». В работе приведен обзор актуальных методов трубопроводного транспорта высоковязкой нефти. В рамках исследования проведена оценка эффективности различных типов противотурбулентных добавок. По результатам экспериментов приведена эффективность и определена целесообразность применения исследуемых присадок.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; тяжелая нефть; добавки; транспорт нефти; запасы высоковязкой нефти; противотурбулентная присадка, эффективность ПТП.

Введение. На сегодняшний день в структуре сырьевой базы углеводородов наблюдается устойчивое сокращение запасов легкой нефти и планомерный переход к освоению трудноизвлекаемых углеводородов. В настоящее время запасы нетрадиционной сырой нефти в России составляют более 2/3 общих запасов [1]. Тяжелая нефть характеризуется повышенной вязкостью и неньютоновским характером течения, а добыча и транспорт такой нефти в условиях холодного климата значительно усугубляет эти проблемы. Высокая вязкость объясняется содержанием смол, асфальтенов и парафинов. В условиях низкой температуры вязкость возрастает, усиливается осаждение парафинов и асфальтенов, что ведет к росту гидравлических потерь и снижению производительности [2, 3]. Следовательно, транспортировка тяжелой неньютоновской нефти становится одной из актуальных проблем мирового нефтегазового сектора.

Методы. Для транспортировки высоковязкой нефти применяют множество различных методов, однако из-за многообразия разновидностей нефти и их свойств, неоднородности климатических условий, а также различий в пропускной способности трубопроводов, каждый из методов характеризуется определенными ограничениями. На данный момент нет единого, универсального метода, позволяющего оптимизировать транспортировку высоковязкой нефти, а значит возникает задача в выборе эффективного метода перекачки

Все методы можно классифицировать по трем категориям: 1 – методы направленные на снижение вязкости, 2 – на снижение сопротивления/трения и 3 – частичная обработка тяжелой нефти [4, 5]. Данные методы приведены на рисунке 1.

Одним из активно применяемых методов повышения пропускной способности является применение противотурбулентных присадок (ПТП).

Данный способ является одним из наиболее эффективных среди методов, направленных на снижение сопротивления или же трения потока. Начало исследованиям данного феномена было положено ученым Б. А. Томсом, которому впервые удалось снизить лобовое сопротивление до 40% при турбулентном течении монохлорбензола. Именно поэтому данное явление также получило название «эффект Томса» [5].

Задача противотурбулентной присадки – поглотить энергию, выделяемую при разрушении ламинарного слоя, с целью подавления турбулентных завихрений. Более того, использование ПТП имеет еще один положительный эффект – увеличение ламинарного слоя у стенки трубопровода, что приводит к снижению силы трения и увеличению скорости потока.



Рис. 1. Способы транспорта высоковязких нефтей (*составлено авторами*)

Среди основных проблем, возникающих при использовании ПТП можно выделить следующие: во-первых, это сложность в расчете эффективности присадки без проведения лабораторных исследований, что в свою очередь приводит к сложностям в подборе ее оптимальной дозировки, имеющей наилучший эффект. Во-вторых, имеет место проблема седиментации противотурбулентной присадки, которая возникает в результате длительно хранения присадки. И третья проблема связана со сложностью растворением присадки в тяжелой нефти, что обусловлено составом такой нефти.

Экспериментальные исследования ПТП «M-FLOWTREAT» марки С проводились в полевых условиях, на второй нитке диаметром 377 мм магистрального нефтепровода «Пурпе – Самотлор». Опыт проводился с использованием дозирующей установки УН2Д-А фирмы МИРРИКО на нефтеперекачивающей станции. Схема данной установки приведена на рисунке 2. Исследование включало 4 этапа: исследование нефти с концентрацией ПТП 10 г/т, 20 г/т, 30 г/т, а также товарной нефти без присадки. На каждом этапе был отработан стационарный режим и проведены необходимые замеры.

Помимо исследования эффективности ПТП «M-FLOWTREAT» марки С были проведены исследования эффективности ПТП PT FLYDE-C марки PT FLYDE-HC, ПТП серии «Нара», ПТП «СНИТРЕН» марки 1110 на лабораторном стенде, представленном на рисунке 3. На данном стенде исследовался процесс перекачки нефти по замкнутому контуру с возможностью изменения режимов работы и измерения ключевых параметров.

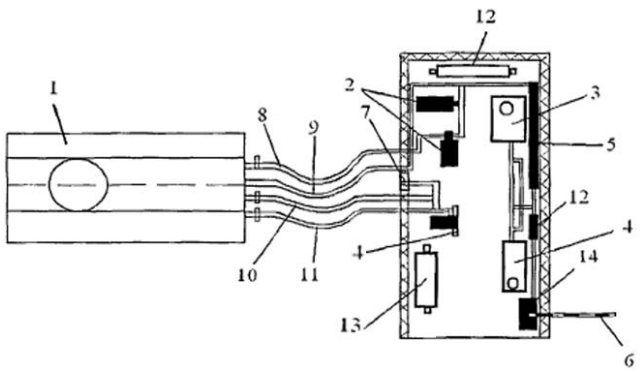


Рис. 2. Схема установки УН2Д–А (*составлено авторами*)
1 – бак; 2 – нагнетательный насос; 3 – насос для дозировки; 4 – насос рециркуляции;
5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 – трубопроводы; 12 – датчик расхода; 13 – отопительные приборы; 14 – модуль контроллеров

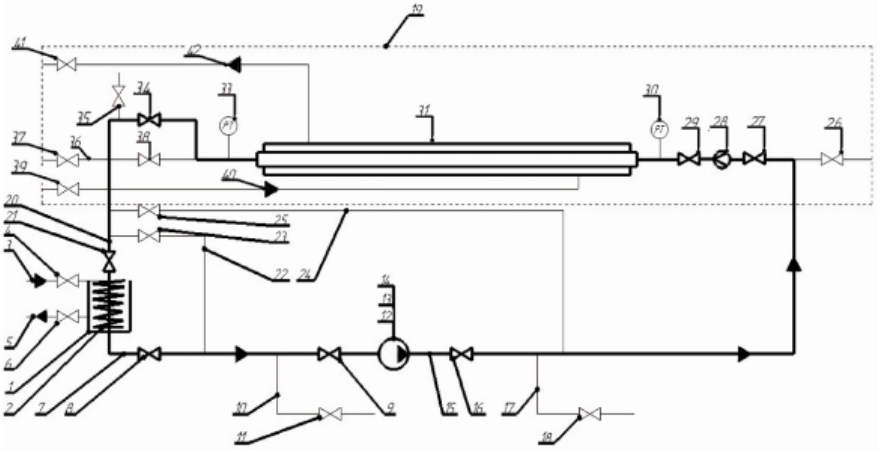


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментального стенда (*составлено авторами*)
1 – расходный бак; 2 – теплообменник; 3, 5, 40, 42 –задвижки хладагентов;
4, 6, 39, 41 – задвижки для термостатирования; 7 – всасывающая магистраль;
8, 9, 16, 21, 23, 27, 29, 34 – задвижки; 10 –дренажная линия всасывающей магистрали;
11 – задвижка дренажной линии; 12 – насос; 13 – частотный регулятор напряжения;
17 – нагнетательная магистраль; 18 – задвижка нагнетательной магистрали; 19 –рабочий блок;
20 – возвратная магистраль; 21 – расходомер; 24 – циркуляционная магистраль;
25 – задвижка циркуляционной магистрали; 26, 35 – задвижки сброса жидкости; 28 – расходомер;
30, 33 –термоманометр; 31 – исследовательский трубопровод; 36 – переливная магистраль;
37, 38 – задвижки переливной магистрали. Основная задача – исследование гидродинамических характеристик потока при циркуляции через экспериментальный участок трубопровода.
Необходимо узнать: какой расход обеспечивает насос, какой перепад давления создаётся на участке

Основные формулы:

Для определения эффективности ПТП использовалась следующая формула [6]:

$$DR = \left[1 - \frac{\Delta P_{\text{Т}}}{\Delta P_{\text{Б}}} \cdot \left(\frac{Q_{\text{Б}}}{Q_{\text{Т}}}\right)^2\right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления кг/см²; Q – объемный расход м³/ч. Литер Т соответствует нефти с ПТП, а Б – без ПТП.

Этот критерий фактически определяет процент сокращения гидравлического сопротивление, наблюдаемое после применения ПТП.

Величина прироста расхода при применении ПТП определялось по формуле:

$$\text{ВЭТ} = \left[\sqrt{\frac{\lambda_{\text{Б}}}{\lambda_{\text{Т}}}} - 1\right] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления. Аналогично Т соответствует нефти с ПТП, а Б – без ПТП.

В основу вывода положено уравнение Дарси-Вейсбаха, из которого следует, что при фиксированном перепаде давления расход обратно пропорционален корню квадратному из коэффициента гидравлического сопротивления $Q \sim \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$. Данные показатель позволяет наиболее точно понять на сколько процентов изменится расход нефти после применения ПТП.

Результаты и обсуждение. В результате расчетов эффективности ПТП «M-FLOWTREAT» марки С на нефтепроводе относительно базового режима работы с исходной нефтью, удалось снизить гидравлические потери и увеличить производительность перекачки нефти до 69,8 %. При концентрации ПТП в 30 г/т достигается наибольшая эффективность ПТП, которая составляет 65,3%. Данная присадка показала очень высокую эффективность, что говорит о перспективности ее применения для увеличения пропускной способности.

Следующей исследовалась ПТП PT FLYDE-C. Марка присадки – PT FLYDE-HC. Наилучший показатель эффективности был на уровне 14,5% при концентрации ПТП

50 г/т. Прирост расхода – 8,2%. Увеличение содержания присадки выше данного значения привело к нулевым значениям эффективности, при концентрации в 80 г/т и 100 г/т расход уменьшился. Данная присадка оказалась наименее эффективной.

При исследовании ПТП «СНИТРЕН» марки 1110 наблюдалось стабильное увеличение эффективности. Наибольшая эффективность в 34,6% наблюдалась при концентрации 100 г/т. Увеличении производительности составило 23,6%.

Эффективность присадки серии «Нара», была наибольшей при концентрации в 80 г/т и составила 25,5%, при увеличении расхода на 15,9%. Значение эффективности и увеличения расхода в исследованном диапазоне концентраций меняется незначительно, что говорит об устойчивом влиянии на гидродинамику потока.

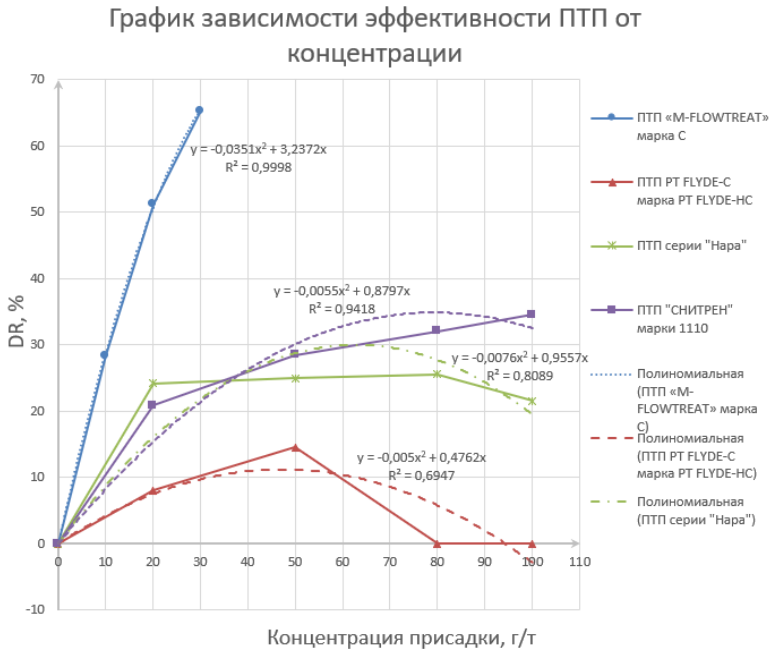


Рис. 3. График зависимости эффективности ПТП от концентрации (*составлено авторами*)

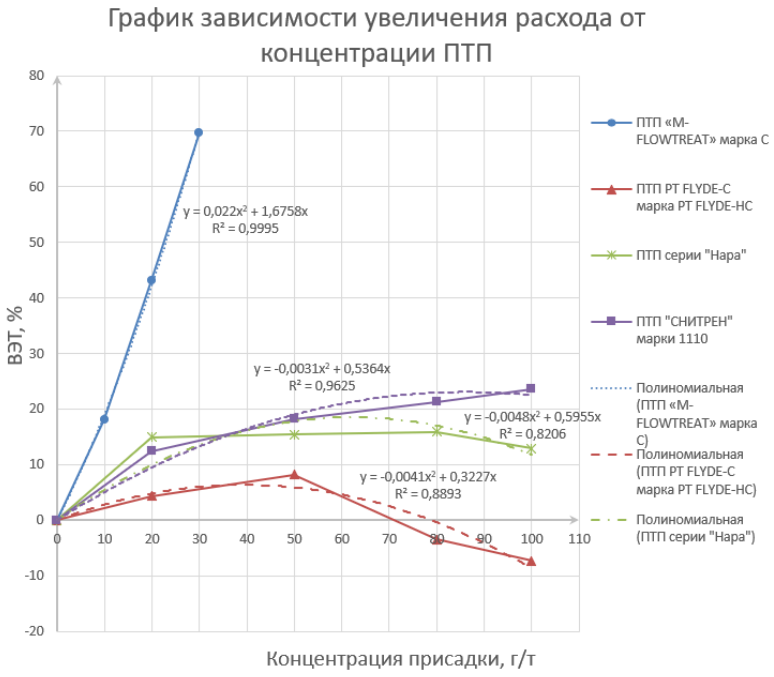


Рис. 4. График зависимости увеличения расхода от концентрации ПТП (*составлено авторами*)

На рисунке 3 и 4 приведены графики эффективности присадок и увеличения расхода в зависимости от концентраций ПТП. На них также представлены уравнения регрессии полученных экспериментальных точек в виде полиномов второй степени и коэффициентов детерминации. Как видно из графиков наиболее эффективной оказалась ПТП «M-FLOWTREAT» марки С, показавшая наиболее высокую эффективность. Высокие показатели также имеют присадки ПТП «СНИТРЕН» марки 1110 и ПТП серии «Нара».

Заключение. Таким образом, в ходе работы была подтверждена актуальность проблемы транспортировки высоковязкой нефти, а также приведены существующие методы решения данной задачи. По результату проведенного анализа лабораторных данных, можно сделать вывод о существенных различиях в эффективности рассмотренных видов присадок в зависимости от их концентрации и состава. Сравнительный анализ полученных данных выявил превосходство присадок «M-FLOWTREAT», «СНИТРЕН» и серии «Нара» в сравнении с присадкой, применяемой в настоящее время. Данные присадки достигают значительно большей эффективности и обеспечивают существенное увеличение объемов перекачки. Этот факт обосновывает целесообразность проведения опытно-промышленных испытаний этих составов в условиях действующей инфраструктуры.

Проведённое исследование подтверждает существенное влияние выбора марки и концентрации противотурбулентной присадки на энергетическую эффективность нефтепроводного транспорта. Рациональный подбор ПТП способен обеспечить существенное сокращение энергозатрат и увеличение пропускной способности магистральных нефтепроводов без проведения дорогостоящих мероприятий по их реконструкции.

Список литературы

1. Крюков В.А., Токарев А.Н. Формирование условий для освоения трудноизвлекаемых запасов нефти: необходимость учета региональных аспектов // Экономика региона. – 2022. – Т.18, № 3. – С.755-769. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-3-10.
2. Николаев А.К. Обоснование аналитических зависимостей для гидравлического расчета транспорта высоковязких нефтей / А.К. Николаев Н.А. Зарипова // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 885-895. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.10.
3. Двойников М. В., Леушева Е. Л. Современные тенденции освоения углеводородных ресурсов // Записки Горного института. 2022. EDN: QBQPGA.
4. Мамонова А.О. Анализ технологий трубопроводного транспорта быстрозастывающих и высоковязких нефтей и нефтепродуктов // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. 2020. №4. EDN TSOMCA.
5. Тетельмин В.В. Реология нефти. Учебное пособие – 2-е изд. дополн. – Долгопрудный // Издательский дом Интеллект, 2015 – 248 с.
6. Манжай В.Н. Противотурбулентная эффективность растворов нефтерастворимых полимеров и коллоидных систем при течении в цилиндрическом канале // Известия ТПУ. 2024. №7. EDN NZQFQP.

УДК 622.24

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСОВ ССК

Лысаков Д.В.[1], Комаровский И.А.[2]
[1] ст. преподаватель, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, Красноярск, Россия, Lysackovd@yandex.ru
[2] ст. преподаватель, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, Красноярск, Россия, igorkomarovskij702@gmail.com

Научный руководитель: Нескоромных В.В.
д.т.н., заведующий кафедрой ТТР, Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, Красноярск, Россия.

Аннотация. Бурение скважин снарядом со съемным керноприемником (ССК) позволяет повысить производительность бурения за счет сокращения времени на спускоподъемные операции, обеспечивает высокий выход керна, снижает подачу промывочной жидкости, но в то же время применение снаряда затруднено в сочетании с техническими средствами искусственного искривления скважин вследствие допустимых по условиям прочности колонны крайне низких значениях интенсивности искривления ствола. В связи с тем, что доступные на сегодняшний день средства направленного бурения не могут обеспечить допустимую для безаварийной эксплуатации ССК интенсивность кривизны скважины, особенно в твердых горных породах, возникает проблема корректировки направления ствола скважины, например, при авариях или корректировки траектории ствола скважины в условиях естественного искривления, что делает эту проблему актуальной и требующей решения.

Ключевые слова: направленное бурение, отклонитель, породоразрушающий инструмент, ССК, керноприемник.

В настоящее время значительная доля геологоразведочного бурения осуществляется с использованием снарядов со съемным керноприемником (ССК). Применение ССК позволяет добиться высокой производительности бурения за счет сокращения времени на спускоподъемные операции, обеспечивает высокий выход керна, сокращает подачу промывочной жидкости и т.д., но в то же время снаряд имеет жесткие ограничения по кривизне ствола скважины в которой выполняется бурение [1]. Так, например, для ССК типоразмера NQ допустимая интенсивность кривизны скважины не должна превышать 0,16 – 0,2 град/м.

Основными современными средствами, позволяющим достаточно оперативно и точно изменять траекторию скважины в заданном направлении являются отклонители непрерывного действия (ОНД). Несмотря на имеющиеся преимущества, отклонители имеют ряд недостатков, к которым относятся высокая для ССК интенсивность набора кривизны, а также низкая эффективность работы в твердых горных породах.

Существующие отклонители имеют интенсивность набора кривизны не ниже 0,2-0,3 град/м, что не отвечает требованиям для безаварийной эксплуатации колонны ССК, в следствии чего приходится дополнительно использовать специальные снаряды снижающие интенсивность кривизны. Учитывая, что на сегодняшний день не существует отклонителей позволяющих производить искусственное искривление скважины без подъема буровой колонны, все вышесказанное приводит к большим затратам времени как на искусственное искривление скважины, так и на последующую проработку искривленного участка, особенно в породах высокой твердости.

Один из способов решения описанной проблемы заключается в возможности производить плавное искусственное искривление ствола скважины с интенсивностью кривизны, допустимой для безаварийной эксплуатации комплекса ССК. Так, авторами были разработаны и запатентованы конструкции съемного отклоняющего комплекса, позволяющего производить оперативную корректировку траектории скважины с интенсивностью

менее 0,3 град\м и снаряда для подготовки ствола скважины к искусственному искривлению [2]. Оперативность достигается за счет спуска в скважину отклонителя и снаряда для проработки внутри буровых труб, что исключает из перечня работ по направленному бурению спуск-подъемные операции. Учитывая, что интенсивность набора кривизны отклонителя не превышает допуски для колонны ССК, из перечня работ также исключается время, затрачиваемое на проработку скважины после искривления. Помимо этого, применение снаряда не прерывает отбор керна в интервале искривления.

Для решения проблем, возникающих при работе отклонителей непрерывного действия в твердых и очень твердых горных породах, были разработаны и запатентованы ряд специальных технических средств. Так, для предотвращения заклинивания долота при раскреплении отклонителя предлагается конструкция алмазного породоразрушающего инструмента (ПРИ), которое за счет специальной схемы размещения бокового и торцевого вооружения позволяет прорабатывать скважину по диаметру в интервале постановки отклонителя, а также представлена методика по расчету величины дисбаланса сил резания-скалывания горной породы [3]. Помимо этого, для предотвращения заклинивания ПРИ отклонителя фрезерующего типа предлагается конструкция долота с шарниром, которая позволит решить проблему без проработки скважины по диаметру [4].

Для повышения точности искусственного искривления скважин ОНД фрезерующего типа разработана конструкция долота, боковое вооружение которого снижает влияние дестабилизирующей силы возникающей в процессе фрезерования стенки скважины, а также предложена методика расчета параметров бокового вооружения для компенсации дезориентирующего усилия [5].

Для уменьшения времени и повышении качества забуривания дополнительного ствола скважины ОНД фрезерующего типа разработана конструкция искусственного забоя из материала, ограничивающего скорость бурения на этапе формирования уступа в стенке скважины. Предложена методика по определению длины искусственного забоя, обеспечивающей гарантированный выход дополнительного ствола скважины за пределы старого [6].

Таким образом, представленные технические решения направлены на решение важной проблемы совершенствования технологии и технических средств в области направленного бурения при проходке комплексами ССК, а также искусственном искривлении скважин в сложных горно-геологических условиях.

Список литературы

1. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернометрии: Учебник. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 336 с.
2. Анализ условий забуривания нового направления скважины в твердых горных породах съемным отклоняющим комплексом / В. В. Нескоромных, И. А. Комаровский, Д. В. Лысаков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 3. – С. 89-99.– DOI 10.18799/24131830/2025/3/4088.
3. Разработка алмазного бурового долота для направленного бурения / В.В. Нескоромных П.Г. Петенев Д.В. Лысаков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 5. – С. 116-125. – DOI 10.18799/24131830/2022/5/3525.
4. Лысаков Д.В. Разработка долот для направленного бурения в сложных горно-геологических условиях // Науки о Земле и недропользование. – 2022. – Т. 45, № 4(81). – С. 424-435. – DOI 10.21285/2686-9993-2022-45-4-424-435.
5. Нескоромных В.В., Лысаков Д.В. Совершенствование вооружения буровых долот для искривления скважин отклонителями фрезерующего типа // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 6(354). – С. 20-23. – DOI 10.33285/0130-3872-2022-6(354)-20-23.
6. Нескоромных В.В., Еловых П.Ф., Лысаков Д.В. Эффективные технологии забуривания дополнительных стволов скважин с применением отклонителей непрерывного действия в твердых горных породах // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 8. – С. 44-49.

УДК 662.614.44

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЗОНАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПОДОГРЕВОМ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НЕФТЕПРОВОДОВ НА ТЕРМИНАЛЕ «ПРИГОРОДНОЕ»

Медведева М.М.
студент 2 курса, направление «Нефтегазовое дело»,
Воркутинский филиал Ухтинского государственного технического университета,
Воркута, Россия, medvemixa@gmail.com

Научный руководитель: Билалов А.
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры НСиМ,
Воркутинский филиал Ухтинского государственного технического университета,
Воркута, Россия.

Аннотация. В работе рассмотрен морской нефтяной терминал «Пригородное» как элемент экспортной инфраструктуры проекта «Сахалин-2». Показано, что высокая энергоемкость объекта определяется климатическими условиями района, необходимостью поддержания требуемой температуры нефти и тепловыми потерями трубопроводной инфраструктуры. Предложено энергосберегающее мероприятие, основанное на автоматизированном зональном управлении подогревом и модернизации теплоизоляции. По авторским расчетам, реализация решения позволяет сократить расход электроэнергии на подогрев в холодный период и повысить надежность эксплуатации.

Ключевые слова: нефтяной терминал, энергосбережение, подогрев нефти, трубопровод, теплоизоляция, автоматизированное управление, терминал «Пригородное».

Морской терминал «Пригородное», расположенный на юге острова Сахалин в заливе Анива, обеспечивает прием, хранение и морскую отгрузку нефти [1–3]. Объект работает в сложных природно-климатических условиях, для которых характерны продолжительный холодный период, высокая влажность, штормовые ветра и сезонные ледовые явления [2, 3]. В этих условиях значительная часть эксплуатационных затрат связана не только с перекачкой нефти, но и с поддержанием ее требуемой температуры в резервуарах и трубопроводах. При снижении температуры возрастает вязкость нефти, увеличиваются гидравлические потери и нагрузка на насосное оборудование [8–10]. Цель исследования состоит в обосновании энергосберегающего мероприятия, направленного на снижение энергопотребления при зональном подогреве нефти в трубопроводах на терминале.

В работе использованы анализ открытых материалов по объекту, сравнительный анализ технических решений в области подогрева и теплоизоляции трубопроводов, а также укрупненная технико-экономическая оценка предлагаемого мероприятия [1–3], [8–10]. В качестве методической основы приняты положения по тепловой изоляции оборудования и трубопроводов, требования к эксплуатации технологических трубопроводов и данные о проектировании систем электрического обогрева [8–10].

Дополнительный эффект достигается за счет применения современных теплоизоляционных материалов, в частности минераловатных цилиндров и матов, снижающих тепловые потери при транспортировке и кратковременном хранении нефти [8]. (см.рис.1)

Преимущество предлагаемого решения состоит в том, что в отличие от режима постоянного подогрева оно позволяет учитывать фактическую температуру окружающей среды, свойства нефти и текущую загрузку оборудования [9, 10].

Это уменьшает вероятность локального перегрева, снижает удельный расход электроэнергии и делает систему более устойчивой к сезонным колебаниям внешних условий. Поэтапное внедрение мероприятия на наиболее уязвимых участках трубопроводной сети и резервуарного хозяйства позволяет ограничить единовременные затраты и сохранить непрерывность производственного процесса. По авторским расчетам, выполненным на

основе исходных данных по объекту исследования, снижение энергопотребления на подогрев в холодный период может составить около 20–25 %, обеспечивает годовую экономию электрической энергии порядка 1,2млн кВт·ч/год и годовой чистый экономический эффект около 9,71 млн руб/год, а расчетный срок окупаемости – около 3,1 года.

Проведенное исследование показало, что для терминала «Пригородное» одним из ключевых направлений повышения энергоэффективности является совершенствование систем подогрева нефти и снижение тепловых потерь в трубопроводной инфраструктуре [1–3], [8–10]. Внедрение автоматизированного зонального управления в сочетании с модернизацией теплоизоляции позволяет обеспечить более рациональное использование электроэнергии, стабилизировать температурный режим продукта и повысить надежность транспортно-технологической системы терминала. Предлагаемое решение может рассматриваться как приоритетное энергосберегающее мероприятие для дальнейшей практической реализации.



Рис. 1. Сравнение традиционной системы подогрева трубопровода и системы автоматизированного зонального управления с модернизированной теплоизоляцией.

Список литературы

1. ООО «Сахалинская Энергия». Производственный комплекс «Пригородное». URL: https://www.sakhalinenergy.ru/ru/company/assets/prigorodnoye/ (дата обращения: 15.03.2026).
2. Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. Отчет по устойчивому развитию за 2010 год. URL: https://sakhalinenergy.ru/media/library/ru/social/sd/SD_report_2010_rus.pdf (дата обращения: 15.03.2026).
3. Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. Отчет об устойчивом развитии за 2011 год. URL: https://www.sakhalinenergy.ru/upload/iblock/6e6/GRI_2011_Final_rus.pdf (дата обращения: 15.03.2026).
4. Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. Отчет об устойчивом развитии за 2013 год. URL: https://www.sakhalinenergy.ru/upload/iblock/770/GRI_2013_rus.pdf (дата обращения: 15.03.2026).
5. ООО «Сахалинская Энергия». Отчет об устойчивом развитии за 2016 год. URL: https://www.sakhalinenergy.ru/media/user/otchety/GRI_2016_new_ru.pdf (дата обращения: 15.03.2026).
6. Российская Федерация. Министерство транспорта. Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Пригородное: приказ Минтранса России от 25.05.2023 № 190. URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308090027 (дата обращения: 15.03.2026).
7. Морской порт Пригородное. Обязательные постановления в морском порту Пригородное. URL: https://www.ampskk.ru/upload/docs/obyazpostanovleniya/prigorodnoye_rus.pdf (дата обращения: 15.03.2026).
8. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200091050 (дата обращения: 15.03.2026).
9. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293771/4293771088.htm (дата обращения: 15.03.2026).
10. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. М.: Инфра-Инженерия, 2015. 270 с.

УДК 622.243.134

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН СЕКЦИОННЫМИ ВИНТОВЫМИ ЗАБОЙНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Морозов Д.О.
аспирант кафедры бурения скважин,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, dmitrij_morozov_01@mail.ru

Научный руководитель: Двойников М.В.
доктор технических наук, заведующий кафедрой бурения скважин,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, dvoynikov@spmi.ru

Аннотация. Наиболее распространённые методы бурения имеют ряд существенных недостатков, устранить которые сложно, а иногда невозможно. Предложена технология бурения с применением двухсекционного винтового забойного двигателя (ВЗД) биротворного механизма действия (БМД), ориентированная на повышение эффективности строительства наклонно-направленных скважин с большим отходом от вертикали. Рассмотрены конструктивные особенности двигателя и определены его энергетические характеристики. Построена многомассовая модель бурильной колонны с двухсекционным ВЗД БМД, по результатам которой показана возможность коррекции её динамических процессов за счёт вращения корпуса нижней секции мотора (динамического модуля).

Ключевые слова: наклонно-направленное бурение, секционный винтовой забойный двигатель, биротворный механизм действия, рабочие органы, энергетические характеристики, stick-slip, демпфирование.

Введение. В настоящее время доля использования винтовых забойных двигателей (ВЗД) в бурении нефтяных и газовых скважин составляет более 80%. Однако, эти моторы обладают как достоинствами, так и недостатками, ряд которых не имеют секционные двигатели. Конструкция секционного ВЗД может быть основана на двух разных принципах: соединение «ротор-ротор» [1] и соединение «ротор-корпус» [2]. Так, первый способ соединения авторами назван «классическим», а второй – «биротворным», исследуемый в работе [3]. Различия в принципах конструкции секционных машин налагает принципиальные отличия их энергетических характеристик. Так, если характеристики классического секционного двигателя уже исследованы, то для двухсекционного ВЗД биротворного механизма действия (БМД) – нет.

Важным направлением исследования является необходимость равенства потребных расходов бурового раствора (БР) на обеих секциях ВЗД БМД для их совместной эффективной работы, что если и было исследовано в трудах других исследователей, то в недостаточной степени. Это так, поскольку секции могут обладать разными энергетическими характеристиками, то есть иметь разную конструкцию. Представлено несколько способов, направленных на решение поставленной задачи.

Рассмотрены вредные динамические процессы (stick-slip, bit-bounce, whirl), генерируемые в бурильной колонне (БК) и оказывающие негативное влияние не ресурс работы бурового инструмента, а также повышают возможность возникновения осложнения и аварии, повышают непроизводительное время [4]. Обоснована возможность их регуляции с помощью изменения частоты вращения элемента двухсекционного ВЗД БМД, что достигается за счёт коррекции расхода БР.

Так, приведено обоснование повышения эффективности бурения нефтяных и газовых скважин с большим отходом от вертикали (БОВ) посредством предложенного мотора.

Методы. Выполнен обзор отечественных и зарубежных источников по основным применяемым техникам и технологиям бурения скважин. Систематизированы их

достоинства и ограничения при строительстве наклонно-направленных скважин с БОВ, а также предложен ВЗД БМД, представленный на рисунке 1.

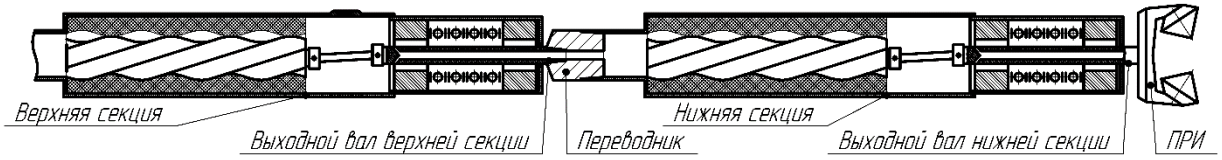


Рис. 1. Общий вид двухсекционного ВЗД БМД [2]

Энергетические и динамические характеристики двухсекционного ВЗД БМД определялись методом математического моделирования: потери учитывались диссипацией Релея, гидромеханические процессы – течением Куэтта, уравнение движения записывалось по Эйлеру для твёрдого тела с одной степенью свободы (второй закон Ньютона для вращательного движения), а инерционные параметры приводились по теореме Штейнера (Гюйгенса). Для анализа влияния двигателя на колебательные процессы построена многомассовая дискретно-параметрическая модель системы БК с двухсекционным ВЗД БМД. Предложенная математическая модель, описывающая динамику распределения сил и моментов двухсекционного ВЗД БМД, позволяет уточнить вариативность регулирования динамических процессов за счёт изменения гидравлической составляющей [5].

Результаты. Наличие вращающегося элемента в компоновке низа бурильной колонны позволяет осуществлять коррекцию траектории профиля скважины без вращения всей БК, но с кручением корпуса нижней секции. Это позволяет уменьшить силы трения между бурильным инструментов и стенкой скважины, а также осуществлять контроль динамики без дополнительных технических решений.

Определены энергетические характеристики двухсекционного ВЗД БМД. Выявлена главная особенность биротного секционного двигателя – суммирование частоты вращения на выходных валах секций в отличие от суммирования моментов у классического. Верхняя секция обладает меньшим тормозным моментом из-за наличия дополнительных сопротивлений кручению на нижней секции мотора (гидромеханические потери).

В том случае, если линейка ВЗД не позволяет произвести подбор подходящих секций для двухсекционного ВЗД БМД, равенство потребных расходов на обеих секциях достигается за счёт коррекции геометрических и безразмерных характеристик рабочих органов (РО) одной из секций [6]. Другим решением является использование переливного клапана, установленного на роторе одной из секций и активирующегося при достижении определённого значения давления БР. Технически эффективным является использование одновинтового ВЗД с уже изношенными РО в качестве одной из секций предложенного двигателя (потребный расход БР уменьшен за счёт пониженного объёмного КПД).

Установлена возможность управления динамическими процессами с использованием ВЗД БМД (подавление, компенсация и возбуждение колебаний) без применения дополнительных устройств, что позволяет осуществлять снижение конструктивной сложности системы. Это приводит к снижению габаритов компоновки и повышению технологической надёжности процесса бурения.

Обсуждение. В ходе работы проведён теоретический анализ необходимости создания двухсекционного ВЗД БМД и обоснована рациональность его применения.

Исследование ВЗД и БК, их динамики, занимает важное место в исследовании технико-технологических задач бурения скважин [7, 8]. Кроме того, возможность их регуляции с помощью изменения расхода БР позволяет избежать необходимости вращения БК и её подъёма над устьем скважины.

Исследованы одно- и двухмассовые системы, причём многомассовая система принята как наиболее точная для математического анализа двухсекционного ВЗД БМД в составе БК. Возможно разделение БК на три части для упрощения математического

анализа, причём каждая из них будет принята за элемент дискретно-параметрической модели: динамический модуль и две части БК по разные стороны от него. В настоящее время эти модели широко применяются при исследовании динамики БК, поэтому данный подход является общепринятым. [9, 10].

Заключение. Двухсекционный ВЗД БМД является принципиально новым двигателем, с помощью которого возможно осуществление искривления траектории профиля угла скважины при наличии кручения на одном из его элементов, причём частоту вращения динамического модуля можно изменять с помощью регуляции расхода БР. Энергетические характеристики этого мотора позволяют осуществлять эффективное бурение скважин с помощью алмазных долот, использование которых не рационально при бурении с одновинтовым ВЗД.

Рассмотрение элемента гидравлического привода в качестве регулятора динамических процессов также является важным аспектом исследования. Возможность совмещения регулятора колебаний, генерируемых на забое скважины, и гидравлического привода долота, с помощью которого можно осуществлять эффективное бурение скважин с БОВ, а также производить коррекцию зенитного и/ или азимутального угла её траектории, представляет особый интерес для изучения, поскольку является конкурентно способным техническим устройством по отношению к роторно-управляемым система.

Необходима верификация полученных данных как с помощью физического, так и цифрового моделирования.

Список литературы

1. Лягов И.А., Балденко Ф.Д., Лягов А.В., Ямалиев В.У., Лягова А.А. Методология расчета технической эффективности силовых секций малогабаритных винтовых забойных двигателей для системы «Перфобур» // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 694-700. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.694.
2. Двухсекционный винтовой забойный двигатель бироторного механизма действия: заявка на пат. Рос. Федерация № 2025132209 / Двойников М.В., Морозов Д.О.; заявитель: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». Заявл. 19.11.2025.
3. Способ бурения наклонно-направленных скважин: заявка на пат. Рос. Федерация № 2025132204 / Двойников М.В., Морозов Д.О.; заявитель: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». Заявл. 19.11.2025.
4. Kessai I., Benammar S., Doghmane M.Z., Tee K.F. Drill bit deformations in rotary drilling systems under large-amplitude stick-slip vibrations // Applied Sciences. 2020. Vol. 10. Iss. 18. Art. 6523. DOI: 10.3390/app10186523.
5. Dvoynikov M., Kunshin A., Blinov P., Morozov V. Development of mathematical model for controlling drilling parameters with screw downhole motor // International journal of engineering, Transactions A: basics. 2020. Vol. 33. Iss. 7. P. 1423-1430. DOI: 10.5829/IJE.2020.33.07A.30.
6. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. Пути совершенствования одновинтовых насосов для реализации современных технологий нефтегазовой промышленности // Бурение и нефть. 2018. № 4. С. 4-11. EDN: YWWVAU.
7. Симонянц С.Л., Аль Тии М. Стимулирование процесса бурения верхним силовым приводом с использованием винтового забойного двигателя // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 438-442. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.438.
8. Xue Q., Leung H., Huang L., Zhang R., Liu B., Wang J., Li L. Modeling of torsional oscillation of drillstring dynamics // Nonlinear Dynamics. 2019. Vol. 96. P. 267-283. DOI: 10.1007/s11071-019-04789-x.
9. Коронатов В.А. Теория погружения бурильной колонны на примере описания крутильно-продольных автоколебаний релаксационного типа // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – №4(28). – С. 67-78. EDN: VDFNRF.
10. Doghmane M.Z. Nonlinear dynamic modeling and analysis of drill strings under stick-slip vibrations in rotary drilling systems // Energies. 2025. Vol. 18. Iss. 14. Art. 3860. DOI: 10.3390/en18143860.

УДК 622.276.72

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНГИБИТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СКВАЖИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОГРУЖНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ СИСТЕМ

Мусихин Д.В.[1], Апоян С.С.[2]
[1] студент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, musikhin5.04@bk.ru

[2] студент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, sarachka2003@mail.ru

Научный руководитель: Шишлянников Д.И.
доктор технических наук, профессор кафедры «Горная электромеханика», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности механизированной добычи нефти в условиях осложнённых коррозией и солеотложениями. Выполнен анализ существующих методов подачи ингибиторов, обоснована экономическая целесообразность применения погружных скважинных контейнеров. Приведён обзор серийных конструкций контейнеров для твёрдых и капсулированных реагентов, выявлены их основные недостатки, главным из которых является неравномерность дозирования. В качестве технического решения предложена перспективная конструкция погружного контейнера с твердым реагентом с последовательной работой секций.

Ключевые слова: насосная установка, ингибиторная защита, солеотложения, коррозия, погружной контейнер, дозирование реагентов, механизированная добыча нефти.

В структуре себестоимости нефтедобычи затраты на преодоление осложняющих факторов, таких как коррозия и солеотложения, могут достигать 50 % [1]. На месторождениях Пермского края доля осложнённого фонда скважин составляет около 70 %, при этом оборудование подвергается интенсивной коррозии и воздействию солеотложений, что приводит к преждевременным отказам и снижению наработки скважинных насосных установок [2]. Наиболее технологичным методом борьбы с данными негативными явлениями является применение ингибиторов. Актуальной является задача повышения эффективности доставки ингибиторов к глубинно-насосному оборудованию (ГНО) посредством использования погружных контейнерных систем с равномерным дозированием реагентов.

Исследование базировалось на анализе статистических данных по отказам ГНО [3], сравнительном анализе технико-экономических показателей различных методов подачи ингибиторов (периодическая закачка, использование установок дозирования реагентов (УДР) с капиллярной трубкой, погружные контейнеры) [4]. Автором изучены техническая информация и патентные материалы, касающиеся перспективных конструкций скважинных контейнеров.

Анализ показал, что использование погружных контейнеров является наиболее рентабельным способом защиты ГНО. Сравнительные затраты на защиту одной скважины за два года составляют: для УДР с капиллярной трубкой – 1030 тыс. руб., для дозирования в затруб – 850 тыс. руб., для контейнера с капсулированным ингибитором – 412 тыс. руб. [5]. Серийно выпускаемые контейнеры для твёрдого ингибитора (КСТР) и капсулированного ингибитора (КСКР) доказали свою эффективность, однако обладают общим недостатком – неравномерностью выноса реагента. Для КСТР характерен пиковый выброс в начальный период с последующим падением концентрации ниже эффективной; для КСКР кривая выноса более пологая, но также не является строго постоянной [6].

Выявленные недостатки (неравномерность дозирования, зависимость от внешних факторов) сдерживают широкое применение контейнеров на скважинах с высокими требованиями к точности подачи химических реагентов. Перспективным направлением решения этой проблемы является разработка скважинного контейнера с последовательной работой секций. Вариант такого скважинного контейнера предложен и описан автором [7-9].

Применение погружных контейнеров является экономически и технологически обоснованным методом защиты ГНО в осложнённых условиях. Основным направлением совершенствования контейнерных систем является переход от пассивных (гравитационных, диффузионных) к активным (механизированным) способам дозирования [10]. Предложенная схема контейнера с последовательной работой секций позволяет обеспечить равномерную подачу ингибитора в скважину, что повышает эффективность защиты насосного оборудования и увеличивает его наработку. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание опытно-промышленных образцов таких устройств.

Список литературы

1. Галикеев И.А., Насыров В.А., Насыров А.М. Эксплуатация месторождений нефти в осложненных условиях. Ижевск: Парацельс-Принт, 2015. 354 с.
2. Соснин Е.А. Применение ингибиторной защиты глубинно-насосного оборудования добывающих скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Инженерная практика. 2017. № 3. С. 10–15.
3. Кириллова Л.Н. Эксплуатация скважин, осложненных АСПО и солеотложением, на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Инженерная практика. 2013. № 12. С. 50–57.
4. Иванов С.В. Новые виды химреагентов. Результаты опытных испытаний, изменение способов подачи, перспективы развития // Инженерная практика. 2013. № 11. С. 76–79.
5. Тананыхин, Д.С. Разработка химического способа обработки призабойной зоны для ограничения выноса песка в нефтяных скважинах / Д.С. Тананыхин, А.В. Петухов // Инженер-нефтяник. 2012. № 4. С. 31–34.
6. Ивановский, В.Н. Цифровые двойники и предиктивный анализ работы установок ЭЛН в осложненных условиях / В.Н. Ивановский, А.А. Сабиров, А.В. Деговцов, И.Н. Герасимов //Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2021. № 4(21). С. 164–171.
7. Якимов, С.Б. Состояние и перспективы использования технологий эксплуатации малодебитных скважин в ОАО «НК «Роснефть» / С. Б. Якимов // Инженерная практика. 2014. № 11. С. 4–12.
8. Шишлянников, Д.И. Повышение эффективности водоподготовки на нефтяных промыслах посредством использования фильтров производства АО «Новомет-Пермь» / Д.И. Шишлянников, А.В. Шавалеева, С.В. Кулаков, Ю.Г. Коротков // Нефтепромысловое дело. 2018. №12. С. 68–73.
9. Яковлев, А.Л. Анализ эффективности применяемого оборудования и возможных причин отказа при интенсификации добычи нефти на месторождениях Краснодарского края / А.Л. Яковлев, О.В. Савенок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 149-163.
10. Вдовин, Э.Ю. Новые технологии эксплуатации малодебитного и периодического фонда / Э.Ю. Вдовин, Л.И Локшин, М.А. Лурье, А.Д. Коротаев, Э.О. Тимашев // Инженерная практика. 2017. №11. С. 40–43.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ВОДООТДАЧЕ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ И МЕТОДИК ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Овчинников С.Ю.
аспирант 1-ого курса,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, s255010@stud.spmi.ru

Научный руководитель: Двойников М.В.
д-р техн. наук, заведующий кафедрой бурения скважин,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных документов, устанавливающих требования к водоотдаче тампонажных растворов и методам ее определения. Показано, что допустимые значения водоотдачи в отраслевых стандартах находятся в широком диапазоне (от 50 до 1000 мл/30 мин), а результаты измерений зависят от выбранного режима испытания. Одной из ключевых выявленных проблем является несопоставимость действующих методик, обусловленная различиями в задаваемом перепаде давления и типах применяемых фильтрующих элементов. Результаты лабораторных испытаний подтверждают необходимость увязки показателя водоотдачи с оценкой структурно-прочностных свойств цементного камня.

Ключевые слова: тампонажный раствор, цементный камень, водоотдача, фильтрационные потери, структурно-прочностные свойства, методики испытаний, отраслевые стандарты, межколонные перетоки.

Введение. Водоотдача тампонажных растворов является одним из ключевых нормируемых показателей при креплении скважины. Интенсивная фильтрация жидкой фазы цементного раствора в проницаемые породы может оказывать существенное влияние на реологические и структурно-прочностные свойства тампонажной системы. Вопросы влияния водоотдачи на качество цементирования освещены в работах отечественных и зарубежных исследователей, включая М. О. Ашрафьяна [1], В. В. Сутягина [2], F. Khan [3], Q. Feng [4], M.T. Maagi [5], S. Davoodi [6], P. Li [7], Q. Chang [8], Q. Zou [9], J. Li [10] и др. Несмотря на совершенствование технологических процессов и широкое применение полимерных добавок для снижения фильтрации тампонажных растворов, в промысловой практике продолжают фиксироваться нарушения герметичности заколонного пространства, что подтверждает актуальность дальнейших исследований.

Методы. Выполнен анализ российских и международных нормативных документов, устанавливающих требования к водоотдаче тампонажных растворов и регламентирующих методики ее измерения. Влияние фильтрации на физико-механические свойства и внутреннюю структуру цементного камня оценивалось по результатам испытаний образцов на прочность и данным компьютерной томографии.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ отраслевых стандартов показал, что действующие методики испытаний тампонажных систем не учитывают в полной мере влияние фильтрации на физико-механические свойства цементного камня. Установлено, что предельные значения водоотдачи, закрепленные в российских и международных нормативных документах, задаются в широком диапазоне, а сопоставимость результатов измерений ограничена вследствие различий в перепаде давления при испытаниях и типах применяемых фильтрующих элементов.

В ходе лабораторных испытаний было подтверждено, что увеличение объема отфильтрованной жидкости приводит к существенным изменениям реологических и прочностных свойств тампонажной системы. По данным компьютерной томографии выявлено наличие неоднородной структуры образцов цементного камня, сформированной

вследствие перераспределения твердой и жидкой фаз тампонажного раствора в процессе фильтрации.

Заключение. По результатам исследования установлено, что действующие отраслевые стандарты регламентируют контроль водоотдачи, однако не учитывают данный показатель при последующем определении сроков схватывания, реологических параметров тампонажного раствора и прочности цементного камня. Это может приводить к заниженной оценке риска нарушения герметичности заколонного пространства в процессе эксплуатации скважины. В связи с этим обоснована необходимость разработки и внедрения методов испытаний тампонажных систем, предусматривающих привязку к реальным геолого-техническим условиям цементирования, а также учет фильтрации при формировании цементных образцов и оценке их структурно-прочностных свойств.

Список литературы

1. Ашрафьян М.О. Технология разобщения пластов в осложненных условиях. – М.: Недра, 1989. – 228 с.: ил. – ISBN 5-247-01058-2.
2. Сутягин В.В. Снижение проницаемости межпластовой изоляции в скважинах. – М.: Недра, 1989. – 264 с.: ил. – ISBN 5-247-01291-7.
3. Khan F., Tandon A., Dhar V., Beg M., Saxena A., Sharma S. Cement slurry design for high-pressure, high-temperature wellbores using polymer nanocomposite: a laboratory scale study based on the compressive strength and fluid loss // Energy & Fuels. – 2022. – Vol. 36, No. 13. – P. 6820–6830. – DOI: 10.1021/acs.energyfuels.2c00828.
4. Feng Q., Yi T., Peng H., Zhang H., Zheng Y. Preparation, performance and fluid loss control mechanism of a rigid-flexible coupled ultra-high temperature oil well cement fluid loss additive // New Journal of Chemistry. – 2025. – Vol. 49, No. 44. – P. 19096–19109. – DOI: 10.1039/D5NJ03232F.
5. Maagi M.T., Lupyana S.D., Gu J. Effect of nano-SiO2, nano-TiO2 and nano-Al2O3 addition on fluid loss in oil-well cement slurry // International Journal of Concrete Structures and Materials. – 2019. – Vol. 13. – Art. 62. – DOI: 10.1186/s40069-019-0371-y.
6. Davoodi S., Al-Shargabi M., Wood D.A., Rukavishnikov V.S. Recent advances in polymers as additives for wellbore cementing applications: a review // Fuel. – 2024. – Vol. 357, Pt. A. – Art. 129692. – DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129692.
7. Li P., Zhang C., Hu M., Yu Y., Liu M., Xia X., Cao J., Cheng Y., Guo J. Nanosilica interface graft copolymer for improving the suspension stability and filtration performance of oil-well cement slurry // Journal of Molecular Liquids. – 2024. – Vol. 404. – Art. 124894. – DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124894.
8. Chang Q., Liu G., Dong Z., Miao X., Hu M., Guo J. Effect of Poly(AMPS/DMAA/IA/SSS) intercalated Mg/Al layered double hydroxides on reducing fluid loss at 240 °C and improving early strength of oil well cement // Applied Clay Science. – 2022. – Vol. 229. – Art. 106658. – DOI: 10.1016/j.clay.2022.106658.
9. Zou Q., Chen X., Zhong S., Yi D., Liu L. Performance experiment of ultra high temperature cementing slurry system // Frontiers in Materials. – 2024. – Vol. 11. – Art. 1383286. – DOI: 10.3389/fmats.2024.1383286.
10. Li J., Ai H., Wang Q., He H., Chang X., Chen G., Golian-Struhárová A., Slaný M., Qin F. Optimization of the preparation process of crosslinked polyvinyl alcohol and its thermal stability in cementing slurry // Gels. – 2025. – Vol. 11, No. 2. – Art. 98. – DOI: 10.3390/gels11020098.

ПРОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СКВАЖИННОЙ ПРОДУКЦИИ

Паутова А.С.[1], Бунин В.А.[2], Алексанова Ю.К.[2]
[1] аспирант, Ведущий инженер, ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия, pautova.anna1985@mail.ru

[2] студенты, ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия, vladislavbunin71@gmail.com, alexsanova.julia2005@mail.ru

Научный руководитель: Зиновьев А.М.
к.т.н., доцент, доцент, зам. заведующего кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия

Аннотация. В настоящее время механические примеси с высокой концентрацией взвешенных частиц (КВЧ) в добываемой жидкости являются одним из главных осложняющих факторов при механизированной добыче нефти [1]. Цель работы – создание экспериментальной установки и разработка методики ультразвуковых измерений для оперативного определения содержания механических примесей в потоке скважинной продукции. Научная новизна заключается в разработке конструкции ультразвукового модуля датчика с адаптивной компенсацией налипания парафина и смол на измерительном участке, а также в разработке математической модели распространения ультразвукового сигнала, учитывающую не только концентрацию, но и фракционный состав частиц, их форму (сферичность) и акустические свойства материала. Проведенное исследование подтвердило, что ультразвуковой метод является перспективным инструментом для оперативного определения механических примесей**.** Он позволяет перейти от эпизодического лабораторного контроля к непрерывному технологическому мониторингу**.**

Ключевые слова: механические примеси, КВЧ, скважинная продукция, ультразвуковой метод, кварцевый песок, амплитуда затухания ультразвукового сигнала.

Введение. Присутствие твердых частиц (песок, продукты коррозии, парафины, минеральные взвеси) в скважинной продукции является серьезным вызовом для нефтегазовой отрасли. Это приводит к абразивному износу (эрозии) трубопроводов и запорной арматуры, снижению эффективности сепарации и, в конечном счете, к дорогостоящим ремонтам и потерям добычи.

Проблема повышенного образования механических примесей в скважинной продукции и высокой концентрации взвешенных частиц в перекачиваемой жидкости в последние годы стала едва ли не самым существенным фактором, осложняющим механизированную добычу [2].

Существующие методы контроля (например, гравиметрия по ГОСТ 6370 или периодический отбор проб) не обеспечивают оперативности. Эти методы дают информацию только на конкретный момент времени, в то время как вынос песка может быть крайне нестабильным процессом, что создает риски запаздывания в принятии решений.

В работе [3] рассматривается разработанный лабораторный экспериментальный стенд, имитирующий поток скважинной продукции (с модельной жидкостью) с внесением калиброванных механических примесей (речной и кварцевый песок) известной дисперсности и концентрации. В лабораторных условиях проводились исследования с модельными жидкостями (вода) на выявление влияние акустических параметров (затухание сигнала) в зависимости от концентрации, размера и материала частиц. Научная новизна заключается в установление количественной зависимости между параметрами ультразвукового сигнала (затухание на гармониках) и параметрами механических примесей (концентрация, фракционный состав) в присутствии диспергированной воды и эмульсии.

Также предложена новая конструкция ультразвукового модуля датчика с адаптивной компенсацией налипания парафина и смол на измерительном участке.

Целью исследования является создание экспериментальной установки и разработке методики ультразвуковых измерений для оперативного определения содержания механических примесей в потоке скважинной продукции.

Методы. Перед экспериментом образцы механических примесей промывались от посторонних включений, просеивались по фракциям. В ходе исследований фиксировалось время прохождения импульса и его амплитуду через отрезок трубопровода с контролируемой средой. Также был проведен анализ изменения (затухания) спектра сигнала после прохождения через исследуемую среду с примесями.

Результаты. Были проведены научные эксперименты со следующими граничными условиями: механические примеси (песок) с диаметром от 1 мм до 0,125 микрон с весовой концентрацией от 30 до 180 грамм на 45 литров исследуемой жидкости. По проведенным исследованиям был сделан вывод о прямой зависимости затухания сигнала, чем больше примесей в потоке исследуемой жидкости, тем сильнее происходит затухание сигнала. Подтверждена теория: затухание сигнала растет с увеличением размера частиц.

Обсуждение. Установлена количественная зависимость между параметрами ультразвукового сигнала (затухание) и совокупностью параметров механических примесей (концентрация *и* дисперсность) в условиях, моделирующих реальный поток скважинной продукции с изменяющейся скоростью. Полученные результаты вписываются в контекст современных исследований по обнаружению механических примесей и необходимости перехода от эпизодических замеров к непрерывному мониторингу в реальном времени для обнаружения сверхнизких концентраций механических примесей.

Заключение. Экспериментальный лабораторный стенд с новым модулем датчика обеспечивают минимальную чувствительность к образованию отложений и изменению вязкости флюида. Описывающая связь коэффициента затухания ультразвука второй гармоники с массовой концентрацией и средним размером механических примесей в эмульсионной среде позволяет выявить присутствие примесей в скважинной продукции.

Список литературы

1. Бочаров Е.О. Повышение эффективности эксплуатации скважин, осложнённых содержанием механических примесей в продукции на К… нефтегазоконденсатном месторождении (Томская область), 2017г. – 90 с.

2. Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: учеб. пособие / Москва «Недра», 1990г. – 214 с.

3. Зиновьев А.М, Паутова А.С. «Экспериментальная установка для исследования способности определения механических примесей при прохождении ультразвукового сигнала через скважинную продукцию» / Ашировские чтения Сборник статей Всероссийской Научно-практической конференции 2024 г. Самара: Сам. Гос.Техн. Ун-т. С. 456-460.

УДК 622.24.001.8:550.832.2:004.032.26

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В БУРЕНИИ

Подрезов Д.Б.
студент, ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Россия, bc-dask@yandex.ru

Научный руководитель: Попова М.С.
кандидат тех. наук, доцент ВНШ, ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Россия

Аннотация. В данной работе представлен программный комплекс, физически моделирующий процесс бурения с гибридным подходом полного цикла, так называемый «Цифровой двойник бурения», с интегрированными нейросетевыми модулями. Основная проблема традиционных аналитических моделей заключается в том, что они основываются на данных, полученных из соседних скважин. Это приводит к увеличению непроизводительного времени при в случае столкновения с нетипичными геологическими условиями и другими внештатными ситуациями, в том числе связанными с износом бурового оборудования. Получившийся программный комплекс позволяет проводить виртуальные испытания для оптимизации геометрических параметров долота с возможностью индивидуального проектирования и подбора оптимальных режимов бурения через нейросетевые оптимизаторы.

Ключевые слова: бурение скважин, долото PDC, механическая удельная энергия, воксельное моделирование, износ инструмента, виртуальный стенд, оптимизация режимов.

Введение. Эффективность бурения скважины напрямую зависит от соответствия компоновки и типа долота физико-механическим свойствам разбуриваемых пород. Традиционно применяется метод «проб и ошибок», когда анализируется выработка долота по схожим геологическим условиям. Этот способ довольно рискован, особенно при разведочном бурении или при прохождении сложных неоднорных пластов. Аналитический метод оценки износа долота не учитывает, как особенности динамики перераспределения нагрузок на резцы при разных углах внедрения в горные породы, так и их пространственное расположение. Применяется упрощенное усреднение износа резцов в расчетах на скорость проходки и другие параметры. Целью работы является создание виртуального испытательного стенда, позволяющего сравнивать различные режимные параметры бурения и подбирать оптимальные прямо во время работы бурового станка, а также рекомендовать оптимальные конструкции PDC-долот на этапе разведочного бурения [1].

Методы. Программный комплекс был разработан на языке Python. Для векторных вычислений, нацеленных на оптимизацию вычислительных мощностей, используется библиотека NumPy. Для моделирования взаимодействия долота с горной породой используется воксельная сетка, область моделирования – призабойная зона пласта. Данные ремасштабируется из готовых геологических макромоделей (tNavigator) [2-4], для более детального построения используется авторская методика вероятностного синтетического моделирования анизотропии горной породы с последующей калибровкой по реальным данным бурения с использованием машинного обучения. Модуль проектирования долота позволяет загружать реальные 3D-модели долот в формате STEP/STL из каталогов производителей и использовать их параметры в вычислениях, а также прямо в программе менять их свойства и параметры. Процесс разрушения горной породы в вычислительном ядре построен на модели Друкера-Прагера и учитывает следующие особенности:

1. Распределение напряжений с учетом геометрии каждого резца и влияния шлама на забое.
2. Тепловыделение при разрушении горных пород с учетом охлаждения буровым раствором.
3. Износ PDC-долота, учитывающий абразивное истирание, температурную деградацию алмазного слоя (при локальных перегревах) и усталостное выкрашивание от вибраций [5-7].

Результаты. Спроектирован и разработан прототип «Цифрового двойника бурения» с удобным для рядового инженера графическим интерфейсом (PyQt6). При тестировании

алгоритмов программы, были созданы идеальные модели долот, так и использованы существующие из 3D-моделей. Задавались различные физические параметры резцов и разные углы атаки и расположения на долоте. Симуляция бурения в гетерогенной среде показала реалистичный износ резцов и перераспределение нагрузки на другие резцы при их истирании. Программа успешно смоделировала ключевые параметры: механическую скорость проходки, крутящий момент, механическую удельную энергию. Реализована функция импорта/экспорта расчетных данных в отраслевом формате LAS2.0.

Обсуждение. Разработанный программный комплекс решает прикладную задачу сопровождения бурения на двух этапах. На этапе планирования загружаются модели доступных к использованию долот. Программа производит расчет динамики износа оборудования и удельной механической энергии для каждого варианта долота при конкретной геологической модели. Это позволяет подобрать наиболее энергоэффективный буровой инструмент для данных условий. На этапе бурения скважины применяется модуль нейросетевой оптимизации [8-9]. Он позволяет рассчитать значения нагрузки на долото, и скорости вращения, при которых текущая компоновка оборудования сможет пройти все интервалы с минимальными удельными энергозатратами и риском аварийных вибраций.

Заключение. Создан программный комплекс, которые моделирует разрушение горной породы PDC-долотом на микроуровне. Реализованная модель износа бурового оборудования, позволяет использовать программу для его тестирования. Внедрение цифровых решений в области моделирования бурового процесса с предиктивной функцией позволяет снизить аварийность и износ оборудования, а также повысить скорость проходки и общую эффективность бурения [10].

Список литературы

1. Закревский, К.Е. История развития трехмерного геологического моделирования как метода изучения залежей нефти и газа / К.Е. Закревский, В.Л. Попов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 5. – С. 89-100. – DOI 10.18799/24131830/2021/5/3188. – EDN WSCPZG.
2. Анализ геологической неопределенности при стохастическом моделировании геологических тел / А.Э. Федоров, А.А. Аминева, И.Р. Дильмухаметов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 9. – С. 24-28. – DOI 10.24887/0028-2448-2019-9-24-28. – EDN KCQZOR.
3. Гулиев, Р.З. Использование генеративно-состязательных сетей в качестве метода генерации фаций для воссоздания геологической неоднородности пласта / Р.З. Гулиев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2023. – № 4(376). – С. 27-35. – DOI 10.33285/2413-5011-2023-4(376)-27-35. – EDN JINAAA.
4. Выломов, Д.Д. Учет масштабного эффекта и неоднородности пласта для корректного перехода от микро- к макроуровню / Д.Д. Выломов, Н.А. Штин // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 70-72. – DOI 10.24887/0028-2448-2022-3-70-72. – EDN EVYYVW.
5. Подрезов, Д.Б. Анализ влияния абразивности и твердости горных пород на износостойкость PDC долота при разных углах ориентации / Д.Б. Подрезов // Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки : Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», Тюмень, 18 февраля 2025 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. – С. 107-111. – EDN XNJNVC.
6. Разрушение горных пород при бурении скважин: Учебное пособие. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2015. – 337 с. – ISBN 978-5-16-009729-9. – EDN TRWINZ.
7. Трушкин, О.Б. Выбор долот PDC в соответствии с твердостью и абразивностью горных пород / О.Б. Трушкин, А.Н. Попов // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 6. – С. 34-38. – EDN XROHUX.
8. Mojtahedi, F., Yousefpour, N., Chow, S., Cassidy, M. Deep Learning for Time Series Forecasting: Review and Applications in Geotechnics and Geosciences // Archives of Computational Methods in Engineering. 2025. Vol. 32. P. 10.1007/s11831-025-10244-5.
9. Hareland G., Nygaard R., Al Dushaishi M. F. Real-Time Drilling Optimization System for Improved Overall Rate of Penetration and Reduced Cost/Ft in Geothermal Drilling. 2022.
10. Цифровые технологии строительства скважин. Создание высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин / Н.А. Еремин, А.Д. Черников, О.Н. Сарданашвили [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 4(100). – С. 38-50. – EDN KVDJRO.

УДК 622.245.42

ОЦЕНКА САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭЛАСТОМЕРАМИ

Прохоров В.В.[1], Дерендяев В.В.[2]
[1] аспирант каф. НГТ, ПНИПУ, Пермь, Россия, vvprokhorov@pstu.ru
[2] аспирант каф. НГТ, ПНИПУ, Пермь, Россия

Научный руководитель: Чернышов С.Е.
д.т.н., зав. кафедрой НГТ, ПНИПУ, Пермь, Россия

Аннотация. В ходе исследований установлено, что добавки эластомеров различного типа могут быть использованы в качестве самовосстанавливающих модифицирующих добавок к тампонажным растворам. Отмечается, что все рассмотренные добавки в разной степени способны самозалечивать каналы фильтрации в цементном камне при взаимодействии с углеводородной средой. Добавки термоэластопласта линейного бутадиен-стирольного и каучука стирол-бутадиен-стирольного показали нестабильный эффект самозалечивания, тогда как натуральный каучук обеспечил максимальную эффективность – расход углеводородной среды снизился в 9,54 раз.

Ключевые слова: Самовосстанавливающийся тампонажный материал, скважина, эластомеры, цементирование обсадных колонн, натуральный каучук.

Введение. Долговременная эксплуатация скважин во многом определяется герметичностью цементного кольца [1, 2]. Возникающие трещины в процессе эксплуатации скважины могут привести к фильтрации флюида на поверхность – межколонным давлениям, заколонным перетокам. Потенциальным решением проблемы является применение тампонажных самовосстанавливающихся составов [3-5], модифицированных специальными добавками. В качестве таких добавок могут выступать эластомеры, резины, каучуки, полимеры, суперабсорбенты, гидроизолирующие минеральные добавки и др. [6-8].

В связи с этим в работе проведены количественные исследования по определению способности различных добавок (натурального каучука (НК), термоэластопласта линейного бутадиен-стирольного (ДСТ) и каучука стирол-бутадиен-стирольного (СБС)) восстанавливать герметичность цементного камня (ЦК) при фильтрации через него кероосина.

Методы. Для оценки способности добавок самозалечивать трещины в ЦК был составлен и реализован сравнительный эксперимент [9]. Исследования выполнялись с использованием фильтрационной установки, разработанной на кафедре НГТ ПНИПУ [10]. Эксперимент включал определение относительного изменения расхода керосина при перепаде давления 0,1 МПа через заранее подготовленные 5 сквозных каналов для фильтрации диаметром 0,3 мм в каждом цилиндрическом образце тампонажного камня, высота и диаметр которого составили 40 и 51,8 мм соответственно.

В качестве вяжущего использовался портландцемент (ПЦТ) ПЦТ-I-G-CC-1, в качестве жидкости затворения – вода техническая. Всего было приготовлено 4 раствора с водосмесевым отношением 0,44 – 1 без добавочный, 3 других – с добавлением выше представленных добавок в количестве 6% от массы ПЦТ. Приготовленные растворы заливались в фильтрационную ячейку, хранились 2 суток в 100% влажной среде при комнатной температуре 20 ºС.

На следующем этапе в фильтрационную ячейку подавали технический керосин ГОСТ 10227-86. Перепад давления, необходимый для фильтрации, создавали в начальный момент эксперимента, а также на 2, 5, 10, 15, 25, 40, 60 и 90-й минутах. Длительность каждого периода перепада давления составляла 1 минуту, в остальное время в ячейке поддерживали атмосферное давление. Нестационарный режим фильтрации жидкости обусловлен конструктивными особенности фильтрационной установки.

Результаты. Результаты тестирования образцов тампонажного камня представлены на рисунке 1 ниже. На начальном этапе тестирования для всех образцов ЦК с добавками отмечено снижение расхода керосина. В последующем для добавок ДСТ И СБС происходит обратное – увеличение относительного расхода. Для ЦК, модифицированного НК, данного эффекта не наблюдается. Максимальное значение снижения расхода керосина для НК составило 9,54 раз, для ДСТ и СБС – 1,4 и 1,27 соответственно.

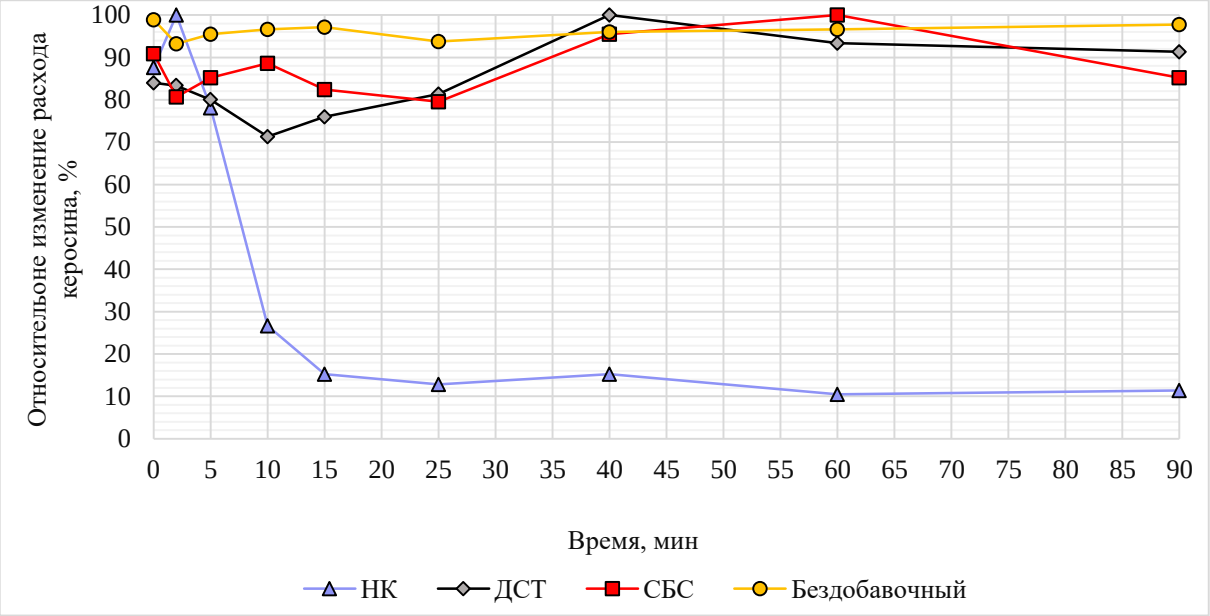


Рис. 1. График относительного изменения расхода керосина через образцы ЦК, модифицированных различными эластомерами

Обсуждение. В ходе проведения эксперимента были протестированы 4 образца ЦК, три из которых были модифицированы эластомерами. По результатам полученных данных отмечено, что все добавки демонстрируют различную эффективность.

Для двух добавок (ДСТ и СБС) на первых минутах эксперимента отмечается снижение относительного расхода керосина, однако в последующем происходит изменение динамики и становится заметна обратная тенденция – расход керосина снова увеличивается. Данный факт может свидетельствовать о нескольких причинах наблюдаемого эффекта: высокой степени взаимного растворения эластомеров в углеводородной жидкости, недостаточном эффекте линейного расширения добавок (набухания) или образовании низковязкого геля, способность перекрывать каналы фильтрации которого отсутствует.

Для ЦК, модифицированного НК, снижение значения относительного расхода керосина наблюдается на всем периоде фильтрации, что свидетельствует, вероятно, о высокой поглощающей способности эластомера и стойкости к углеводородной среде.

В ходе проведения исследований отмечено, что возможно использовать эластомеры в составе сухой тампонажной смеси с целью получения самовосстанавливающегося цементного камня и борьбы с межколонными давлениями.

Заключение. Проведенный планируемый сравнивающий эксперимент по оценке эффективности самовосстанавливающих добавок для тампонажных составов, показал, что все из рассматриваемых добавок могут быть использованы для формирования ЦК с эффектом самозалечивания.

Максимальное значение снижения расхода керосина для НК составило 9,54 раз, для ДСТ и СБС – 1,4 и 1,27 раз соответственно.

В дальнейших исследования планируется количество оценить кинетику набухания эластомеров различной химической природы в технологических жидкостях.

Список литературы

1. Чернышов, С.Е. Самовосстанавливающиеся тампонажные материалы для обеспечения долговечности крепи скважин / С.Е. Чернышов, М.С. Кармаенков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. – № 6(342). – С. 40-46. – DOI 10.33285/0130-3872-2021-6(342)-40-46.
2. Денисов И.В., Губжоков В.Б. Отечественная эластичная самовосстанавливающаяся цементная система как метод предупреждения и борьбы с межколонным давлением и межпластовыми перетоками. PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023;8(2):40–49. https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-2-40-49
3. Комплексный подход к предупреждению межколонных и заколонных перетоков в нефтегазовых скважинах на месторождениях Пермского края / М.С. Кармаенков, В.В. Дерендяев, С.Е. Чернышов [и др.] // Научный журнал Российского газового общества. – 2022. – № 1(33). – С. 36-44. – DOI 10.55557/24126497_2022_1_36-44.
4. Исмагилова, Э.Р. Разработка добавок в «самозалечивающиеся» цементы для восстановления герметичности цементного кольца нефтяных и газовых скважин / Э.Р. Исмагилова, Ф.А. Агзамов // Бурение и нефть. – 2016. – № 5. – С. 36-41.
5. Патент № 2821870 C1 Российская Федерация, МПК C09K 8/467. самовосстанавливающийся тампонажный материал : № 2023131368 : заявл. 30.11.2023 : опубл. 27.06.2024 / П.А. Блинов, В.В. Никишин, К. Н. Салахов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».
6. Агзамов, Ф.А. Исследование реагентов для самовосстановления цементной крепи / Ф.А. Агзамов, А.С. Маскенов, Р.Ф. Гайнулов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2023. – № 4(144). – С. 9-21. – DOI 10.17122/ntj-oil-2023-4-9-21.
7. Development of Cement Slurry Composition with Self-healing Properties / P.A. Blinov, K.N. Salakhov, V.V. Nikishin, V.N. Kuchin // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. – 2025. – Vol. 38, No. 1. – P. 236-246. – DOI 10.5829/ije.2025.38.01a.21.
8. Self-Healing Concrete as a Prospective Construction Material: A Review / M. Amran, A.M. Onaizi, R. Fediuk [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15, No. 9. – DOI 10.3390/ma15093214.
9. Дэниел К. Применение статистики в промышленном эксперименте / Пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – Москва: Мир, 1979. – 299 с.
10. Кармаенков, М.С. Разработка конструкции экспериментальной установки и исследование способности тампонажных материалов к самовосстановлению / М.С. Кармаенков, В.В. Дерендяев // Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки : материалы международной научно-практической конференции, Тюмень, 15 февраля 2021 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 162-166.

УДК 523.528.24

УДАЛЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сидоров А.И.
студент, ФГБОУ ВО «КубГТУ» (филиал) АМТИ, Армавир, Россия, aleksandrsidorov777@gmail.com

Научный руководитель: Ладенко А.А.
канд.техн.наук, доцент, ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар, Россия

Аннотация: Для реализации современных экологических требований к эксплуатации и ремонту нефтепромыслового оборудования существует ряд современных технологий, использующих различные методы очистки внутренних поверхностей резервуаров и емкостного оборудования. Предложенная технология очистки и установка её реализующая позволяет не только повысить качество обрабатываемой поверхности, но и снизить нагрузку на экологическую составляющую окружающей среды, а также уменьшить общие затраты и время на очистку оборудования и ввода его в эксплуатацию.

Ключевые слова: технология очистки, гидрокавитационные генераторы, разрушение, наслоения, струйный поток, полоса удаления наслоений, гидрокавитационный способ, очистка поверхности, гидродинамическое силовое воздействие

Увеличением масштабов и ростом объемов нефтяных загрязнений и отходов, вызывающих нарастание экологической угрозы, уменьшение площадей хозяйственных угодий, снижение плодородия почв и ухудшение здоровья населения сопровождаются увеличение нефтедобычи и нефтепроизводства [1].

Поэтому проблема создания принципиально новых методов и средств для очистки промышленных и хозяйственных объектов от углеводородных загрязнений приобретает особую актуальность в последние годы, что связано с необходимостью повышения инвестиций в компаниях для сохранения действующего фонда основных средств.

Единственный способ обеспечить безопасное будущее – это комплексно решить проблемы развития экономики и сохранения окружающей среды. Основу решений должно составить устойчивое развитие всех процессов, всемирная экономия ресурсов, безопасные и экологичные технологии, просвещение и подготовка кадров в области безопасного взаимодействия с окружающей средой [1, 2].

Основными источниками загрязнений нефтью и нефтепродуктами являются добывающие предприятия, элементы системы перекачки и транспортировки нефти, нефтепродуктов, нефтяные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов ТЭЦ, котельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также котельных топливно-энергетических комплексов и систем коммунального хозяйства городов и населенных пунктов, железнодорожный транспорт (нефтеналивные железнодорожные цистерны), речные и морские нефтеналивные танкеры, автозаправочные комплексы и станции компаний, автопредприятий и другие объекты. Объемы отходов нефтепродуктов и нефтяных загрязнений, скопившиеся на отдельных объектах, составляют десятки и сотни тысяч кубометров. Значительное число хранилищ нефтешламов и отходов, превратились из средства предотвращения нефтезагрязнений в постоянно действующий источник таких загрязнений [2, 4].

Современная экологическая обстановка диктует необходимость внедрения на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях современных технологий, обеспечивающих безотходность процесса ликвидации нефтяных загрязнений, при условиях низкой стоимости работ по очистке объектов, быстром освоении их промышленного производства и безопасной эксплуатации.

Технологический процесс зачистки резервуаров включает следующие операции: предварительная дегазация путем принудительной вентиляции резервуара; откачка жидких фракций донных отложений после пропарки резервуара или размыва отложений водой; удаление из резервуара механических примесей; мойка внутренних поверхностей резервуара, контроль степени зачистки внутренних поверхностей резервуара. Существует большое количество методов осуществления очистки и технологических схем очистки [1, 5].

Принципиальное отличие технологии заключается в том, что для достижения полной очистки поверхностей от нефтеотложений и шламов полностью исключается применение (или использование) химических реагентов, высокотемпературного водяного пара, электрокоагуляционных паров нефти и других технологических приемов, без которых существующие и рекомендуемые в производство технологии просто не могут быть реализованы [2].

Сущность предлагаемого метода очистки поверхностей от нефтяных отложений базируется (формируется) на основе использования гидродинамических и гидрокавитационных явлений при истечении жидкости под большим давлением (более 60 МПа) через насадки и сопла, с научно обоснованными и широко опробированными в лабораторных условиях и на производстве [2- 4].

Сопловые насадки способны создавать компактные струйные потоки с высоким гидродинамическим силовым воздействием, разрушающим и удаляющим с очищаемой поверхности наслоения.

Физическая сущность супергидрокавитационного способа воздействия струйного потока на очищаемую поверхность заключается в том, что при движении высокоскоростной струи воды через «Гидрокавитационный генератор Родионова В.П.» – кавитатор [2] происходит разрыв сплошности потока и образование в истекающем из него потоке каверны определенных геометрических размеров по краям которой, имеется зона определенной толщины, заполненная выделившимися из жидкости в процессе расширения в гидрокавитационном генераторе паровоздушными пузырьками (полостями). [1, 4]. Разработанная с участием автора технология очистки внутренней поверхности нефтепромыслового оборудования и устройства её реализующие (гидрокавитационные генераторы, сепараторы, генераторы тепла) для проведения этих работ, показана на рисунке. Использование комплекса для мойки внутренних поверхностей емкостей возможно для любых конструкций резервуаров или сосудов, особенностей технологии, а также качества хранимого продукта.

В основе гидрокавитационного способа лежит порядок выбора оптимальных режимных параметров струйного истечения жидкости из возбудителей, напрямую влияющих на интенсивность гидродинамического силового воздействия. От этого зависит производительность и качество процесса очистки, удаление наслоений струйным потоком, полоса удаления наслоений [1, 2, 5].

Для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений выявлены зависимость между мольными долями компонентов рабочего раствора, температурой рабочего раствора, давлением на выходе и на различных расстояниях от выходного сечения струи и временем очистки поверхности при которых скорость очистки поверхности оптимальна. Подбираются значения гидравлического давления достаточные для преодоления энергии когезии.

Экономическая эффективность:

- снижены общие затраты на очистку – как прямые, так и косвенные затраты (использование дополнительного резервуара, энергии, потребность в продукции и требования безопасности) на очистку и утилизацию значительно ниже, чем при ручном методе;

- наиболее эффективна технология моющего оборудования и насадок, позволяющая повысить степень полной очистки внутренней поверхности резервуаров до основного металла: полная очистка крыши, стен и дна резервуара.

Использование обыкновенной технической воды без химических компонентов для этих целей ставит эту технологию в ряд абсолютно экологически безопасных технологий, при этом затраты на выполнение очистки рекомендованных к производству технологий снижены. В настоящее время продолжается научно-исследовательская работа по усовершенствованию универсальной и унифицированной конструкторско-технологической схемы инженерной установки, несущей на себе комплекс гидрокавитационных устройств, обеспечивающих истекаемыми гидродинамическими струями из специально разработанных (защищенных авторскими свидетельствами) насадков отделение нефтешламов от поверхностей резервуаров без использования химических реагентов и без повреждения материковой поверхности (металла) резервуаров (к примеру дробеструйные технологии).

Диапазон применения гидродинамических струй все время расширяется. Испытания по использованию высоконапорных струй показали большую их эффективность [3]. Это важное событие применения высоконапорных струй при бурении скважин, восстановлению дебита скважин, очистки внутренних и внешних поверхностей оборудования, в силу особенностей, присущих нефтяной и газовой промышленности не приведет к замене существующих технологий на новую. Тем не менее, роль высоконапорных водяных струй в отрасли непрерывно возрастает, а значит и потребность в новейших технологиях растет с каждым годом [1, 2, 4, 5].

Список литературы

1. Ладенко А.А., Зеленская Е.А., Ладенко Н.В., Зеленская Т.В. Гидроэнергосберегающие технологии очистки систем. Экспозиция Нефть Газ, 2018. №1 (61). Издательство: ООО «Экспозиция Нефть Газ» (Набережные Челны) ISSN: 2076-6785. С.65-67.
2. Ладенко А.А. Использование гидравлических струй при эксплуатации объектов добычи нефти. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. Учредители: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина. Москва,– 2021. № 12 (348). С. 46-50.
3. Сидоров, А.И. Экспериментальные и аналитические исследования процессов возникновения гидродинамической кавитации / А.И. Сидоров, М.В. Омельянюк // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых : Материалы LII студенческой научной конференции, Краснодар, 20 мая 2025 года. – Краснодар: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», 2025. – С. 929-935. – EDN FVOKIJ.
4. Ладенко А.А. Гидравлические струи и моделирование кавитации в нефтегазовой промышленности, Монография/ А.А. Ладенко.– Кубан.гос.технол.ун-т – Краснодар.: Изд-во ФГБОУ ВО «Куб ГТУ», 2026. – 199 с.
5. Ладенко А.А. Супергидрокавитационная технология очистки. Булатовские чтения Материалы 1 Международной научно-практической конференции. Сборник статей. В 5-ти томах. Т. 4. Под редакцией О.В. Савенок. Краснодар, 2017. (61-63 с.)

УДК 622.276.63

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУХОКИСЛОТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Унштейнберг В.Е.[1], Казанцев С.В.[2], Дерендяев В.В.[3]
[1] инженер, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Пермь, Россия
[2] студент, ПНИПУ, Пермь, Россия, stas20042004stasbad@mail.ru
[3] аспирант, ПНИПУ, Пермь, Россия

Научный руководитель: Чернышов С.Е.
д.т.н., зав. каф. НГТ, ПНИПУ, Пермь, Россия

Аннотация. Карбонатные коллектора содержат значительную часть мировых запасов углеводородов, однако их эффективная разработка затруднена ввиду высокой неоднородности и риска кольматации околоскважинной зоны. Несмотря на то, что традиционные составы на основе соляной кислоты обладают ограничениями в виду их высокой реакционной способности, кислотные обработки остаются основным методом интенсификации притока. Перспективной альтернативой являются сухокислотные составы на основе сульфаминовой кислоты, обладающие улучшенными характеристиками. Целью работы является сравнительный анализ эффективности коммерческого кислотного состава «Флаксокор-210» и разработанных сухокислотных составов на основе сульфаминовой кислоты. Доказано, что оптимизация режима применения (статическая выдержка) является критическим фактором для реализации потенциала сульфаминовой кислоты по созданию разветвленной сети высокопроводящих каналов.

Ключевые слова: карбонатный коллектор, кислотная обработка, сульфаминовая кислота, соляная кислота, проницаемость, призабойная зона пласта, статическая выдержка, проводящие каналы, увеличение нефтеотдачи.

Введение. Карбонатные коллектора содержат более 60% мировых запасов углеводородов, однако их разработка затруднена из-за высокой неоднородности фильтрационно-емкостных свойств и склонности к кольматации околоскважинной зоны [1]. Кислотные обработки остаются ключевым методом интенсификации притока, однако традиционные составы на основе соляной кислоты, включая широко распространенный коммерческий состав «ФЛАКСОКОР-210», демонстрируют ряд серьезных ограничений.

Перспективной альтернативой является разработка составов на основе сульфаминовой кислоты [2]. На основании предыдущих исследований [3], разработанный сухокислотный состав демонстрирует улучшенные логистические характеристики, сохраняя сыпучесть при длительном хранении.

Цель настоящей работы – сравнительный анализ эффективности коммерческого кислотного состава «Флаксокор-210» и опытных сухокислотных составов на основе сульфаминовой кислоты при обработке карбонатных коллекторов в условиях, имитирующих пластовые.

Методы. Проведение исследований было направлено на комплексную оценку эффективности различных кислотных композиций при воздействии на карбонатный коллектор.

В рамках исследования была протестирована серия кислотных композиций, представляющих как промышленные, так и опытные составы. В их число вошли промышленный состав «ФЛАКСОКОР-210», «Юпитер-К» (сухокислотный) и два разработанных сухокислотных состава на основе сульфаминовой кислоты различных рецептур (Сульф. №1, характеризующийся повышенным содержанием солей, и Сульф. №2). Далее выполнено моделирование процесса кислотной обработки в пластовых условиях [4,5]. Для этого было отобрано пять цилиндрических образцов карбонатного керна, на которых были испытаны кислотные композиции.

Результаты. Результаты определения проницаемости до и после кислотной обработки при различных расходах представлены в Таблице 1. Сравнительный анализ в пластовых условиях показал существенное снижение проницаемости состава «Флаксокор-210» при увеличении расхода с 1 до 10 см³/мин (с 25129 до 7467 мД).

Наиболее значимым результатом работы является демонстрация критической важности технологического параметра – статической выдержки – для составов на основе сульфаминовой кислоты. Состав «Сульф. №2» в режиме с тридцатиминутной выдержкой не только показал максимальный абсолютный прирост проницаемости, но и сформировал наиболее стабильную фильтрационную систему, о чем свидетельствует незначительное изменение проницаемости в широком диапазоне расходов (от 6797 до 5797 мД).

Напротив, тот же состав, закачанный в динамическом режиме без выдержки, оказался на порядок менее эффективным.

Особого внимания заслуживает поведение состава «Юпитер-К», показавшего минимальную эффективность.

Таблица 1

Фильтрационные характеристики образцов керна до и после кислотной обработки в пластовых условиях

Кислота	№ образца	$k_{пр.\ нач.}$, мД	$k_{пр1}$, мД (керосин v= 1 см³/мин)	$k_{пр2}$, мД (керосин v= 5 см³/мин)	$k_{пр3}$, мД (керосин v= 10 см³/мин)	Объем закачки кислоты / выдержка
Флаксокор-210	**48 309**	**25**	**25 129**	**10 337**	**7 467**	поровый объем / без выдержки
Сульф. №1	102 221	13	620	430	300	поровый объем / выдержка 30 мин.
Сульф. №2	69 189	49	599	545	432	поровый объем / без выдержки
Сульф. №2	**83 815**	**39**	**6 797**	**7 385**	**5 797**	поровый объем / выдержка 30 мин.
Юпитер-К	106 287	1,6	0,454	-	-	поровый объем / без выдержки

Обсуждение. Снижение проницаемости состава «Флаксокор-210» при увеличении расхода с 1 до 10 см³/мин свидетельствует о формировании неустойчивой проводящей структуры, склонной к разрушению при повышенных градиентах давления.

Формирование стабильной фильтрационной системы с максимальным приростом проницаемости в режиме статической выдержки для составов на основе сульфаминовой кислоты свидетельствует о различном механизме формирования проводящих каналов: для высокоактивных солянокислотных составов характерно поверхностное растворение, в то время как для сульфаминовой кислоты с ее замедленной кинетикой ключевым фактором становится объемное формирование разветвленной сети каналов при обеспечении достаточного времени контактного взаимодействия.

Для состава «Юпитер-К» отмечено полное отсутствие положительного эффекта и даже снижение проницаемости после обработки, что свидетельствует о возможных негативных процессах, таких как вторичное осаждение продуктов реакции, кольматация поровых каналов или недостаточная реакционная способность данного состава в применяемых условиях.

Заключение. В результате проведенного комплексного исследования экспериментально выявлено принципиальное различие в механизмах формирования проводящей структуры при использовании высокоактивных солянокислотных систем и составов на основе сульфаминовой кислоты. Показано, что для последних введение статической выдержки является критически важным технологическим параметром, обеспечивающим

переход от поверхностного растворения к объемному формированию разветвленной сети устойчивых фильтрационных каналов. Помимо технологических преимуществ в механизме кислотного воздействия, составы на основе сульфаминовой кислоты имеют преимущество при хранении и транспортировке над солянокислотными системами.

Список литературы

1. Амиян В.А., Уголев Е.С. Физико-химические методы увеличения производительности скважин. – М.: Недра, 1970. – 280 с.
2. Сим М.А., Магадова Л.А., Давлетшина Л.Ф., Давлетов З.Р., Потешкина К.А. Особенности свойств сульфаминовой кислоты, повышающие эффективность кислотных обработок // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2021. – № 4. – С. 44-47.
3. Дерендяев В.В., Унштейнберг В.Е., Неволин И.В. Создание сухокислотного реагента на основе сульфаминовой кислоты для повышения эффективности нефтедобычи // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 78-82.
4. Силин М.А., Магадова Л.А., Цыганков В.А., Мухин М.М., Давлетшина Л.Ф. Кислотные обработки пластов и методики испытания кислотных составов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров 131000 «Нефтегазовое дело». – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 87-89 с.
5. Martyushev D.A. Laboratory studies of acid compositions for treating reservoir, characterized by various carbonate content and void structure of rocks // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2018. – Vol. 329, No. 4. – P. 6–12.

УДК 532.135

ОЦЕНКА МЕТОДА РАЗБАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Цуканов С.А.
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, saveliytr@mail.ru

Научный руководитель: Николаев А.К.
доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассматривается снижение вязкости высоковязкой нефти путем разбавления легкой нефтью как одного из наиболее доступных и экономически эффективных методов. Актуальность обусловлена необходимостью повышения эффективности трубопроводного транспорта вязких нефтей. Проведены экспериментальные исследования реологических свойств нефтяных смесей при различных температурах и концентрациях разбавителя. Получены зависимости вязкости и напряжения сдвига, выполнен подбор реологических моделей. Установлено, что разбавление позволяет существенно снизить вязкость и обеспечить транспортировку нефти при более низких температурах.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; разбавление нефти; реология; динамическая вязкость; нефтяные смеси; трубопроводный транспорт; модель течения; вискозиметрия.

Введение. Разбавление нефти является одним из распространенных способов снижения вязкости высоковязкой нефти и улучшения ее текучести. Данный метод отличается надежностью и, как правило, не требует значительных капитальных затрат.

В мировой практике значительные объемы вязкой нефти разрабатываются в Канаде. К основным трубопроводным системам страны относятся: Enbridge, TransCanada, Kinder Morgan Trans Mountain, Kinder Morgan Express. Канадская трубопроводная система Enbridge, соединенная с системой Lakehead (США), является одной из крупнейших в мире систем транспортировки нефтяных смесей [1]. Она включает 28 661 км трубопроводов и обеспечивает транспортировку сырой нефти, природного газа и газоконденсатных жидкостей.

В Канаде добывается нефть различного качества: легкая и тяжелая нефть – в Западно-Канадском осадочном бассейне и на шельфе Ньюфаундленда, битум – из нефтеносных песков озера Атабаски. В США применяется технология транспортировки высоковязких нефтей с использованием добавок сжиженных углеводородных газов, газовых бензинов и дистиллятных фракций, что позволяет снизить вязкость и повысить эффективность трубопроводного транспорта [2].

В России также применяется транспорт высоковязких нефтей в смеси с маловязкими, например, при транспортировке Усинской и Ярегской нефти, а также по трубопроводу «Узень – Атырау – Самара».

Целью исследования является определение закономерностей изменения вязкости высоковязкой нефти при изменении температуры и при смешивании с легкой нефтью.

Задачи исследования включают получение экспериментальных значений вязкости и напряжения сдвига, а также подбор адекватных реологических моделей.

Методы. Объектом исследования является высоковязкая нефть Северо-Комсомольского месторождения и легкая нефть Ванкорского месторождения, а также их смеси.

В качестве методов снижения вязкости рассматриваются нагрев и смешение с легкой нефтью. Отдельно стоит упомянуть наличие обратного эффекта при определенных пропорциях смешивания, что обуславливает необходимость экспериментальных исследований каждой уникальной нефтяной смеси [3]. Концентрация разбавителя

в экспериментах принимала значения 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, температура – 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C.

Исследования проводились на ротационном вискозиметре Rheotest RN 4.1, что позволило получать значения вязкости в широком диапазоне скоростей сдвига и температур, а также выполнять непрерывные испытания.

Сначала изучались свойства исходных нефтей, затем проводились исследования смесей с содержанием легкой нефти 20%, 40%, 60% и 80% при указанных температурах.

Экспериментально установлены зависимости динамической вязкости и касательного напряжения от скорости сдвига в интервале 0-300 $с^{-1}$.

Для описания течения нефтяных смесей рассматривались модели Ньютона, Оствальда–де Вааля, Карро и Эллиса. Выбор модели осуществлялся согласно РД-75.180.00-КТН-198-09 по критериям суммы квадратов отклонений и риска, учитывающего сложность модели.

Результаты и обсуждение. Анализ экспериментальных данных показал, что для исследуемых нефтяных смесей практически отсутствует начальное напряжение сдвига. Это обосновывает применение моделей Ньютона и Оствальда–де Вааля, при этом сохранение неньютоновских свойств при высоких температурах и концентрациях разбавителя требует учета моделей Карро и Эллиса.

Установлено, что вязкость нефтяной смеси может быть рассчитана по формуле Керна.

Смешивание высоковязкой нефти с легкой приводит к существенному снижению вязкости и улучшению текучести. Добавление легкой нефти позволяет достигать требуемых значений вязкости при более низких температурах – 10-20°C вместо 60°C.

Наиболее значительное снижение вязкости наблюдается при температурах 5-20°C и концентрации легкой нефти 10-50%. В частности, добавление 10% легкой нефти снижает вязкость в 5-10 раз.

При увеличении концентрации разбавителя свыше 60% дальнейшее снижение вязкости становится незначительным.

Заключение. Проведенные исследования подтвердили эффективность разбавления высоковязкой нефти легкой нефтью как метода снижения вязкости и обеспечения ее транспортабельности.

На основе выявленных зависимостей обеспечивается возможность прогнозной оценки изменения реологических характеристик нефтяной смеси при изменении температуры и концентрации разбавителя. Практическая значимость работы заключается в возможности оптимизации условий трубопроводного транспорта без необходимости высокотемпературного нагрева.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на уточнение реологических моделей и расширение диапазона исследуемых составов нефтяных смесей.

Список литературы

1. Enbridge: О нас. URL: https://www.enbridge.com/about-us (дата обращения 17.03.2026).
2. Ванчугов И.М., Шестаков Р.А., Резанов К.С. Транспортировка искусственных смесей: анализ методов // Neftegaz.RU. 2024. Вып. 12. С. 16-20.
3. Адыгезалова М.Б. Об аномальном изменении вязкостных свойств при смешивании трудноизвлекаемых нефтей // Мировая наука. 2024. №7(88). С. 29-34.

УДК 622.692.4.053

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ САМОТЕЧНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Щеголев Д.А.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, shyogolevdmitry@yandex.ru

Научный руководитель: Шаммазов И.А.
д.т.н., заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы внутритрубной диагностики самотечных участков магистральных нефтепроводов, возникающие из-за неполного заполнения их сечения. С целью выявления способов повышения эффективности и точности диагностики в данных условиях был проведен сравнительный анализ литературы по подходящим методам неразрушающего контроля. В качестве наиболее перспективного решения предлагается обеспечение надежного акустического контакта в условиях двухфазного потока, вместе с чем обоснована необходимость моделирования процесса прохождения внутритрубных снарядов по самотечным участкам.

Ключевые слова: ВТД, внутритрубный инспекционный снаряд, самотечный участок, магистральный нефтепровод, ультразвуковая диагностика, магнитная дефектоскопия, вихретоковая дефектоскопия.

Известно, что при эксплуатации магистральных нефтепроводов возможно наличие так называемых самотечных участков [1,2], внутритрубная диагностика (ВТД) которых затруднена из-за возможного неполного заполнения сечения перекачиваемым продуктом. Это объясняется тем, что при прохождении инспекционного ультразвукового (УЗ) снаряда через участок с наличием двухфазной области теряется контакт УЗ-датчиков с жидкостью [1]. Проблема обеспечения ВТД данных участков нефтепроводов является актуальной, поскольку в нефтетранспортной системе РФ имеются трубопроводы, отдельные участки которых функционируют в самотечном режиме, в частности, в горной местности [2]. В связи с этим появляется необходимость в определении потенциального способа повышения эффективности внутритрубной диагностики самотечных участков, что и является целью данной работы.

По результатам анализа литературных источников в области неразрушающего контроля (НК) трубопроводов было выделено несколько способов нивелирования влияния неполного заполнения полости нефтепровода на ВТД:

- обеспечение акустического контакта УЗ-датчиков с жидкостью [1,3];
- применение УЗ-диагностики, не требующей наличие жидкостного слоя [4-6];
- использование в инспекционных снарядах альтернативных методов НК [7-9].

Обеспечение диагностики при помощи ультразвука может производиться путем полного заполнения участка продуктом [1]. Проблемный аспект данного решения – возможное наличие в нефти труднорастворимых газов, что накладывает свою специфику на возможность использования средств очистки и диагностики (СОД) при ликвидации паровоздушных полостей путем их непосредственного вытеснения [1]. В данном контексте также примечателен опыт применения внутритрубных УЗ-дефектоскопов на газопроводах, где возможно перемещение СОД в объеме воды под воздействием потока сжатого газа или же непосредственно жидкости [3], что расширяет представления о потенциальных технологических решениях и для самотечных участков нефтепроводов, где тоже происходит перекачка двухфазной среды.

Касательно технологии, обеспечивающей использование ультразвуковой диагностики без контактной жидкости при помощи электромагнитных полей, а не пьезопреобразователей, следует отметить, что она обладает достаточно высокой точностью обнаружения дефектов, обуславливающей её успешное применение в высокотехнологичных отраслях [4]. В то же время данному методу присущи относительно высокие энергопотребление и напряжения для генерации УЗ [4] и меньшая, по сравнению с использованием акустического контакта, чувствительность к дефектам [5]. Также имеются проблемы, связанные с качеством получаемого сигнала [6].

Далее следует рассмотреть иные способы НК, которые не зависят от наличия контакта датчиков непосредственно с транспортируемым продуктом. Так, весьма распространённым решением является комплектация внутритрубных снарядов магнитными дефектоскопами [5,7]. Они имеют как достоинства в виде более низких, по сравнению с УЗ, требований к качеству поверхности, так и недостатки по типу чувствительности к плавности движения и высоким скоростям СОД, что влияет на дискретность получаемых данных [7], вместе с чем за счет принципа действия они не позволяют проводить прямое измерение глубины дефекта [5,7]. Вихретоковая диагностика применяется, в первую очередь, для эффективного выявления трещин, между тем имея ограничения по глубине залегающего дефекта и также используется, в основном, для наружного контроля, а не ВТД [5,8]. Разработан и способ внутритрубной диагностики, основанный на отражении светового излучения от поверхности трубы [9], однако испытания проводились лишь для газовой среды, что заставляет усомниться в принципиальной применимости данного метода из-за оптической плотности нефти [10].

На основе информации, приведенной в вышеуказанных источниках, была составлена таблица 1. Несмотря на то, что только для УЗ-диагностики нужен контакт с жидкостью, именно она обеспечивает прямое измерение толщины стенки трубы, гарантируя надежность и точность результатов[5] и делая её необходимой для определения остаточного ресурса нефтепровода. Таким образом, требуются дальнейшие работы в области обеспечения акустического контакта УЗ-датчиков для повышения эффективности ВТД. Также важно отметить, что на данный момент не проводилось прямое исследование процесса прохождения СОД по самотечным участкам, при этом в ряде работ содержатся данные, характеризующие отдельные аспекты ВТД в подобных условиях: растворение паровоздушной полости для прохождения снаряда [1], влияние условий заложения на значение коэффицента заполнения трубы [2], соотношение жидкой и газовой фаз перед скребком при его движении [11], модели течения в наклонных трубопроводах [12] и т.д. Для качественного улучшения процесса диагностики самотечных участков, необходимо детальнее исследовать динамику движения внутритрубного устройства на самотечном участке.

Таблица 1

Сравнение методов НК в контексте ВТД самотечных участков нефтепроводов

Метод диагностики	**Определяемые показатели**	**Наличие контактного слоя жидкости**
Ультразвуковая	Толщина стенки, расслоения, трещины, точечная коррозия	Требуется
Электромагнитно-акустическая (ЭМА)	Потеря металла, трещины, изменение геометрии сечения	Не требуется
Магнитная	Потеря металла, точечная коррозия	Не требуется
Вихретоковая	Толщина стенки (ограниченно), поверхностные дефекты, потеря металла	Не требуется
С использованием светового излучения	Поверхностные дефекты	Не требуется

Список литературы

1. Шагиев, Р.Г. Заполнение самотечных участков рельефных нефтепроводов с неполным занятым сечением с целью пропуска внутритрубных инспекционных приборов / Р.Г. Шагиев // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 1(83). – С. 92-100. – EDN NDSOFB. – DOI: 10.17122/ntj-oil-2011-1-92-100.
2. Особенности влияния сложных горных условий на строительство и эксплуатацию самотечных участков трубопроводного транспорта / И.А. Шаммазов, А.В. Борисов, Б.С. Александрук [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2025. – № 7. – С. 39-43. – DOI 10.24000/0409-2961-2025-7-39-43. – EDN AZDMDJ.
3. Erfurth, J., Stratmann, J., Kutsch, F. Ultrasonic Measurement Techniques In Gas Pipeline Inspection – A Case Study. In Proceedings of the 7th Pipeline Technology Conference (Hanover, Germany, 2012). URL: https://www.pipeline-conference.com/abstracts/ultrasonic-measurement-techniques-gas-pipeline-inspection-case-study (дата обращения: 25.02.2026).
4. Essig W., et al. Air-coupled Ultrasound – Emerging NDT Method. ZfP-Zeitung, no. February, pp. 32–41, 2021.
5. Parlak, B.O., Yavasoglu, H.A. A comprehensive analysis of in-line inspection tools and technologies for steel oil and gas pipelines. Sustainability. 2023;15(3):2783. – DOI: 10.3390/su15032783.
6. Non-destructive testing technology for corrosion wall thickness reduction defects in pipelines based on electromagnetic ultrasound / Y. Tian, A. G. Palaev, I. A. Shammazov, Y. Ren // Frontiers in Earth Science. – 2024. – Vol. 12. – DOI 10.3389/feart.2024.1432043. – EDN HMGSTS. – DOI: 10.3389/feart.2024.1432043.
7. Исследование взаимодействия диагностического дефектоскопа с трубопроводом методом конечных элементов / П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 1(101). – С. 30-34. – EDN RWMPHB.
8. Zhao, T., Watson, R., Zhang, D., et al. A Pulsed Eddy Current Sensor for UAV Deployed Pipe Thickness Measurement. IEEE Sensors Journal, 2024, 24(20):1-1. – DOI: 10.1109/JSEN.2024.3450193.
9. Sampath, S., Bhattacharya, B., Aryan, P. & Sohn, H. A real-time, non-contact method for in-line inspection of oil and gas pipelines using optical sensor array. Sensors 19, 3615 (2019). – DOI: 10.3390/s19163615.
10. Rastvorova I.I., Filatov V.M., Vilkov S.A. Reduction of Optical Density in Highly Viscous Oils through Ultrasonic Treatment within The Infrared Wavelength Range. International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. 2026;39(8):1865-1877. – DOI: 10.5829/ije.2026.39.08b.08.
11. Chen, S.T., et al. Numerical simulation and experiment of the gas-liquid two-phase flow in the pigging process based on bypass state. Ocean Eng. 252, 111184 (2022). – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111184.
12. Skorobogatov, A.A.; Pshenin, V.V.; Duchnevich, L.D. Review of Multiphase Oil-Water Flow Characteristics in Horizontal and Inclined Pipelines. SOCAR Proc. 2025, 81–98. – DOI: 10.5510/OGP20250401126.

Секция 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПЕТРОГЕНЕЗИС ЩЕЛОЧНЫХ ГАББРОИДОВ МАССИВА ЦЪНЕЛИСС (ЮЖНАЯ ОСЕТИЯ)

Джагиев А.Г.[1], Галушкина Е.Ю.[2]
[1] студент СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия, sandrodzagiev63839@gmail.com
[2] к.г.-м.н., доц.кафедры «ПГиНГ», СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия, anynwu@mail.ru

Научный руководитель: Галушкина Е.Ю.
к.г.-м.н., доц.кафедры «ПГиНГ», СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия

Аннотация. Актуальность исследования определяется: недостаточной геохимической изученностью магматических образований Центрального Кавказа. Цель исследования – изучение петрогенезиса щелочных габброидов массива Цънелисс, представленного сложным интрузивным комплексом габбро-норитов, эссекситов и тералитов, с акцентом на минералогию клинопироксенов, фельдшпатоидов и рудных ассоциаций для реконструкции термодинамических параметров кристаллизации и оценки рудного потенциала.

Ключевые слова: металлогения щелочных габброидных интрузий, эволюция магмы, минералогия клинопироксенов, нефелин в тералите, потенциал рудоносности.

Введение. Тералиты являются важнейшими индикаторами глубинных мантийных процессов. Однако без комплексного минералого-геохимического изучения невозможно однозначно определить источник магмы, условия плавления и геодинамическую обстановку формирования интрузии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Петрографическое изучение пород массива Цънелисс;
2 Минералого-геохимическое изучение породообразующих минералов;
3 Изучение рудной минерализации.

Научная новизна: впервые проводится комплексное минералого-геохимическое изучение щелочных габброидов массива Цънелисс.

Практическая значимость определяется возможностью использования полученных результатов при проведении геолого-разведочных работ на Fe-Ti-V и Ni-Cu-сульфидное оруденение в регионе и применение разработанной петрогенетической модели для прогноза аналогичных объектов на территории Кавказского региона.

Методы. В работе использованы методы оптической микроскопии (исследованы 16 прозрачных и 14 полированных шлифов), рентгеноспектральный микроанализ (ЕРМА) состава минералов, термобарометрия по сосуществующим фазам, а также расчёты оксидно-сульфидных равновесий.

Предмет исследования. Впервые детально охарактеризованы щелочные габброиды массива Цънелисс (Южная Осетия), относящиеся к тералитам и эссекситам, с выделением двух генераций клинопироксена – раннего фассаита (высокоглиноземистый, Al_2O_3 до 11–13 мас.%) и позднего титан-авгита (TiO_2 до 4.5 мас.%), что отражает эволюцию расплава в условиях повышенного давления и последующей кристаллизации при понижении давления и возрастании активности титана.

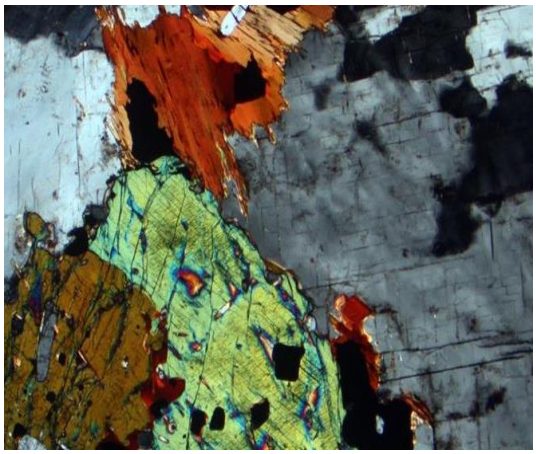


Рис.1. Микрофотография шлифа:
зерна фассаита и нефелина в тералите
Цънелисского массива, Н+, ув.х120

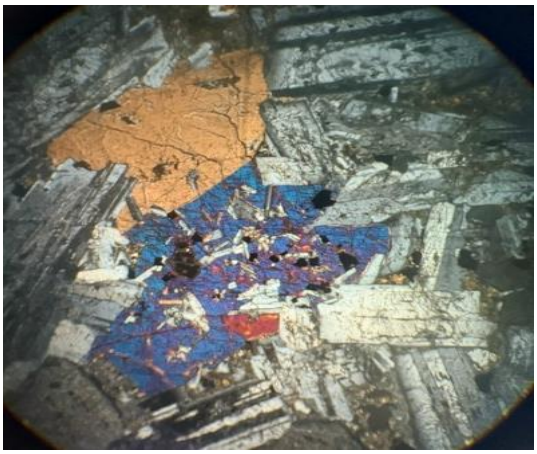


Рис.2. Микрофотография шлифа:
магнетит, ильменит и титаномагнетит в тералите
Цънелисского массива, Н+, ув.х120

Результаты. Установлено присутствие нетипичного для щелочных габброидов ортопироксена (гиперстена), образующего ксеногенные ядра в титан-авгите, что интерпретируется как результат смешения щелочной базальтовой магмы с коровым материалом или более толеитическим расплавом.

Выявлен широкий спектр рудных минералов: титаномагнетит с пластинчатыми структурами распада ильменита, а также сульфиды (пентландит, халькопирит, миллерит), что указывает на ликвационное обособление сульфидной фазы на поздних этапах дифференциации и позволяет оценить потенциальную Ni-Cu-сульфидную рудоносность массива.

На основе термобарометрии (титан-авгит – амфибол – плагиоклаз) определены параметры кристаллизации: температура от 950 до 1100°C, давление 4–7 кбар, что соответствует средним глубинам становления (15–20 км) в условиях активной континентальной окраины. Полученные данные свидетельствуют о формировании массива из мантийного щелочно-базальтового расплава, подвергшегося контаминации коровым веществом.

Смена фассаита на титан-авгит отражает эволюцию расплава от относительно высокобарических условий (стабилизация Al-содержащего пироксена) к более низким давлениям с возрастанием активности TiO_2 и железистости.

Обсуждение. Полученные данные по минералогии клинопироксенов массива Цънелисс позволяют реконструировать последовательность кристаллизации и эволюцию расплава. Выделение двух генераций клинопироксена – раннего фассаита (Al_2O_3 до 13.4 мас.%) и позднего титан-авгита (TiO_2 до 4.8 мас.%) – отражает закономерное изменение условий кристаллизации в ходе эволюции щелочной магмы.

Заключение. Щелочные габброиды массива Цънелисс сформировались в несколько стадий: ранняя высокобарическая (фассаит, плагиоклаз) и поздняя – в условиях открытой системы с контаминацией и внедрением новой порции расплава, что привело к смешению магм и появлению ксеногенного гиперстена. Комплексный минералого-геохимический подход позволил оценить рудный потенциал массива как перспективный на Fe-Ti-V и сопутствующую Ni-Cu-сульфидную минерализацию. Таким образом, результаты исследования массива Цънелисс органично вписываются в современную научную картину, подтверждая и детализируя представления о петрогенезисе щелочных габброидов в орогенных поясах. Полученные данные могут служить основой для дальнейших региональных обобщений и практических рекомендаций по оценке рудного потенциала подобных объектов на Кавказе.

В качестве перспективных направлений дальнейших исследований следует выделить: изотопное датирование цирконов для установления абсолютного возраста массива и корреляции с другими комплексами Кавказа, а также детальное изучение платиноидов в сульфидной минерализации.

Список литературы

1. Баженова Г., Геншафт Ю. Петромагнитные характеристики и рудные минералы кристаллических пород нуклеара // Физика Земли. – 2001. – № 6. – С. 73–82.
2. Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В., Воронина Л.К. (2003) Специфика состава галогенсодержащего флюида в рудоносных габброидах Кувашско-Машакской рифтогенной структуры (Южный Урал). Материалы V Республиканской геологической конференции «Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий», (2). Уфа: ИГ УНЦ РАН, 109-111.
3. Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В., Воронина Л.К. (2005) Закономерное изменение состава ильменита и магнетита из рудных залежей в разрезе Кусинского габбрового массива. Ежегодник -2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 313-317.
4. Богуш И.А., Сендецкий И.И. Особенности металлогении золота в позднем палеозое и среднем мезозое Южного региона России. // Проблемы геологии и геоэкологии Южнороссийского региона. – Новочеркасск, 2001. С. 98–102
5. Варданянц Л.А. Нижнеюрский вулканизм КлухороМаринского района (Центральный Кавказ) // Материалы ВСЕГЕИ, новая серия, 1956. Вып. 8. Геология и полезные ископаемые. Часть 1. С. 67–85. 5.
6. Газеев В.М., Корсаков С.Г., Шаевский В.И., Гурбанов А.Г., Борисовский С.Е. Типоморфизм россыпных золотин Северного Кавказа // Вест. Владикавказского научного Центра РАН и правительства РСО-А. 2012. Том 12. № 1 С. 32–40.
7. Галушкина Е.Ю., Кокоев Д.А., Петрографические исследования и анализ генезиса Сангутидонской неоинтрузии (Центральный Кавказ) // Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции. Владикавказ, 2021. С. 30-32.
8. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Хесс Ю.С. Нижнеюрский островодужный базальт-андезит-дацитовый магматизм Центрального Кавказа (Карачаевская вулканическая область): петролого-геохимические и изотопные особенности, генезис // Вестник Владикавказского научного центра РАН и Правительства республики Северная Осетия-Алания. 2011. Т.11. № 2. С. 15–32.
9. Кайгородова Е.Н., Лебедев В.А., Карташов П.М., Ковальчук Е.В., Чугаев А.В. Осумилитсодержащие лавы Кельского нагорья (Большой Кавказ): петролого-геохимические характеристики, минеральный состав и условия образования магматических расплавов. Петрология. 2024. Т. 32. № 5. С. 552-585.
10. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов Б.Ю. Догерцинские габбро-диориты верховьев реки Кубань (Северный Кавказ): геодинамическая типизация, геохимия и минерагения // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 6–23.
11. Гонгальский Б.И., Криволуцкая Н.А. (1993) Чинейский расслоенный плутон. Новосибирск: Наука, 181 с. Гонгальский Б.И., Криволуцкая Н.А., Арискин А.А., Николаев Г.С. (2008) Строение, состав и формирование Чинейского анортозит-габбро-норитового массива в северном Забайкалье. Геохимия, (7), 1-30.
12. Иванов О.К. (2004) Вариации состава титаномагнетита по разрезу одного из пластов Копанской расслоенной интрузии, Ю. Урал. Уральский геологический журнал, (3). Екатеринбург, 69-80. Карпова О.В. (1974) Титаномагнетитовые руды Южного Урала. М.: Наука, 152 с.
13. Попов М.П. Особенности редкометалльного оруденения и генетическая связь минеральных ассоциаций в восточном обрамлении Мурзинско-Адуйского антиклинория (Уральская изумрудоносная полоса) // Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 337-348. DOI: 10.31897/PMI.2022.19
14. Полтавец Ю.А., Полтавец З.И., Нечкин Г.С. (2011) Волковское месторождение титаномагнетитовых и медно-титаномагнетитовых руд с сопутствующей благороднометалльной минерализацией (Средний Урал, Россия). Геология рудных месторождений, 53(2), 143– 157.
15. Свешникова Е.В. (1961) Структура Кумбинского габброидного массива Северный Урал. Труды ИГЕМ, 41, 49–66.
16. Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург, РИО УрО РАН, 368 с.
17. Шагалов Е.С., Суставов С.Г., Холоднов В.В. (2017) Высокохлорные и сульфатные ассоциации минералов в породах кусинско-копанского комплекса. Уральская минералогическая школа-2017. Сб. ст. студентов, аспирантов, научных сотрудников, преподавателей вузов геологического профиля. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 233-237.
18. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М.: «Научный мир», 365 с. Штейнберг Д.С., Кравцова Л.И., Варлаков А.С. (1959) Основные черты геологического строения Кусинской габбровой интрузии и залегающих в ней рудных месторождений. Труды горно-геологического института, (40), 13-40.

УДК 3179

ПЕТРОГЕНЕЗИС И ОЛОВОСОДЕРЖАНИЕ ГРАНИТОВ НУМБИ, ПОЯС КИВУ

Ибрахим М.А.А.
старший преподаватель, РУДН, Москва, Россия,
ibrakhim-ma@rudn.ru

Научный руководитель: Котельников А.Е.
Кандидат наук, доцент, РУДН, Москва, Россия

Аннотация. В данном исследовании изучается гранит Нумби в Кивуском поясе с целью выяснения его происхождения, возраста и потенциала содержания олова. Основная проблема заключается в разграничении первичных магматических изменений от изменений, вызванных гидротермальными процессами. С помощью петрографии, геохимии цельных пород и U–Pb датирования циркона гранит идентифицирован как неопротерозойский, перглиноземистый, железистый гранит. Геохимические данные и данные по циркону указывают на сильную магматическую фракционизацию, источник в нижней части земной коры и высокотемпературную кристаллизацию. Результаты показывают, что гранит Нумби богат оловом, а обогащение оловом в основном связано с магматической дифференциацией и последующей ремобилизацией флюидов.

Ключевые слова: Кивуский пояс, перглиноземистый, железистый гранит, магматическая фракционизация, U–Pb датирование циркона, гидротермальные процессы, оловосодержащий, неопротерозой.

Введение. Мезопротерозойская Кибаранская орогенная система центральной и восточной Африки демонстрирует длительную диахронную эволюцию (~1350–950 млн лет назад), включающую внутрикратонный рифтинг, аккрецию дуг и позднеклизионный орогенез, сопровождаемый эпизодическим гранитным магматизмом. Кибаранские граниты классически подразделяются на четыре серии (G1–G4): ранние деформированные батолиты S-типа (G1, ~1375–1350 млн лет назад), интрузии A-типа (G2, ~1360–1260 млн лет назад), деформированные субщелочные граниты (G3, ~1220–1110 млн лет назад) и поздние лейкогранитные «оловянные граниты» (G4, ~1000–950 млн лет назад) (1, 2).

Несмотря на их экономическое значение, геохимия, петрогенез и геодинамический контекст этих гранитов остаются недостаточно изученными.

Для восполнения этих пробелов в данном исследовании изучаются граниты из коридора Нумби, параллельного неопротерозойскому синклинорию Итомбве, с целью определения их петрогенеза и тектоно-магматической эволюции.

Методы. Мы объединяем петрографические данные, геохимию цельных пород, а также данные U-Pb геохронологии циркона методом LA-ICP-MS и данные по микроэлементам.

Результаты. Для гранита Нумби характерно содержание SiO_2 в диапазоне от 71,3 до 78,2 мас. % и Al_2O_3 от 12,66 до 15,84 мас. %. Другие основные оксиды включают MgO (0,20–0,66 мас. %), TFe2O3 (1,43–6,88 мас. %), K_2O (3,95–4,99 мас. %), Na2O (0,12–2,23 мас. %), CaO (0,005–0,19 мас. %), P2O5 (0,13–0,16 мас. %) и TiO2 (0,17–1,02 мас. %). Общее содержание щелочей ($Na_2O + K_2O$) колеблется от 4,07 до 7,22 мас. %. %, тогда как значения A/CNK варьируются от 2,13 до 3,11.

Классификация TAS (Рис. 1) подтверждает гранитное происхождение; согласно классификации, предложенной Фростом и др. (2001) (3), все образцы представляют собой железистый гранит и демонстрируют щелочно-кальциевое или щелочное происхождение (Рис. 1b). На графике A/CNK против A/NK (Рис. 1c) все образцы являются перглиноземистыми, A/CNK > 1,0.

Цирконы из Нумби (Рис. 2) преимущественно субокруглые и субэдрические до анедральных, с нерегулярной зональностью, сложными текстурами и слабо развитой или

отсутствующей осцилляционной зональностью; распространены унаследованные ядра, окруженные темными гидротермальными каймами и признаками перекристаллизации.

Зерна циркона Нумби демонстрируют заметно более высокие концентрации: Th составляет 59–2266 ppm (в среднем 678 ppm), а U – 191–6996 ppm (в среднем 2833 ppm).

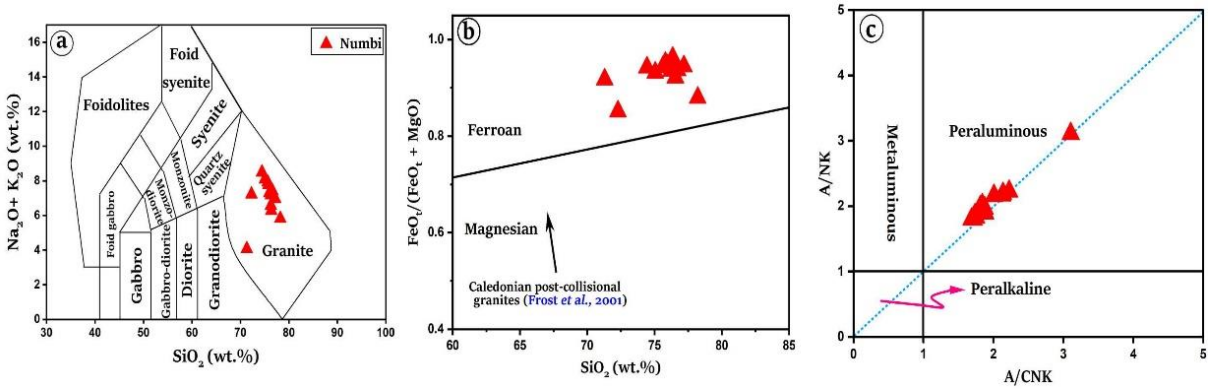


Рис. 1. Геохимические классификационные диаграммы исследуемой гранитной породы из Кивуского пояса: (а) диаграмма ($Na_2O + K_2O$) против SiO_2 (TAS) по данным; (б) диаграмма FeOt/(FeOt + MgO) против SiO_2; (в) A/NK (молекулярный Al_2O/ ($Na_2O + K_2O$)) против A/CNK (молекулярный Al_2O/ ($CaO + Na_2O + K_2O$))

Легкие редкоземельные элементы (LREE) (8,6–11391 ppm; в среднем 3058 ppm) и тяжелые редкоземельные элементы (HREE) (64–3101 ppm; в среднем 1243 ppm) дают очень высокие значения ΣREE (73–13506 ppm; в среднем 4301 ppm) с более высокими соотношениями LREE/HREE (в среднем 2,23).

Цирконы из биотитового гранита Нумби (NUMBI3) дают единственный конкордантный возраст 871 ± 10 млн лет (n = 6; MSWD = 0,055) (Рис. 2).

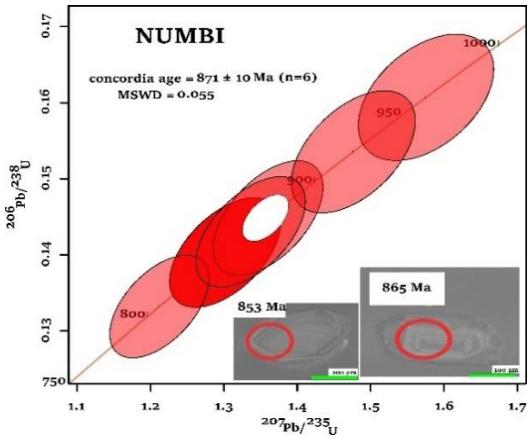


Рис. 2. Изображения катодолюминесценции и диаграмма конкордии, показывающая U-Pb возраст циркона в районе Нумби.

Обсуждение. Щелочные элементы не являются надежными индикаторами первичной магматической дифференциации из-за их подвижности во время взаимодействия флюидов и пород, и нынешние геохимические признаки, вероятно, отражают вторичное перераспределение во время позднемагматических и гидротермальных изменений (4).

Петрография и химический состав циркона обеспечивают более надежные ограничения на происхождение и эволюцию магмы, поскольку циркон сохраняет первичные магматические признаки, несмотря на изменения (5). Цирконы в основном эвгедральные с осцилляционной зональностью, что подтверждает магматическое происхождение, хотя относительно микроэлементов указывают на кристаллизацию во время перехода от магматических к гидротермальным условиям (6). Низкие значения Ce/Ce* и Eu/Eu* отражают развитую

фракционизацию, истощение Eu, контролируемое плагиоклазом, и позднее взаимодействие флюидов и расплавов, а не в основном окислительно-восстановительный контроль (Рис. 3) (7). Конкордантный возраст 871 ± 10 млн лет связывает его с неопротерозойским магматизмом, связанным с ранней панафриканской тектоникой растяжения во время распада Родинии. Высокая степень фракционирования и относительно повышенное содержание Sn предполагают, что фракционная кристаллизация была основным фактором обогащения оловом, а поздние гидротермальные процессы, вероятно, усиливали ремобилизацию и концентрацию Sn (8).

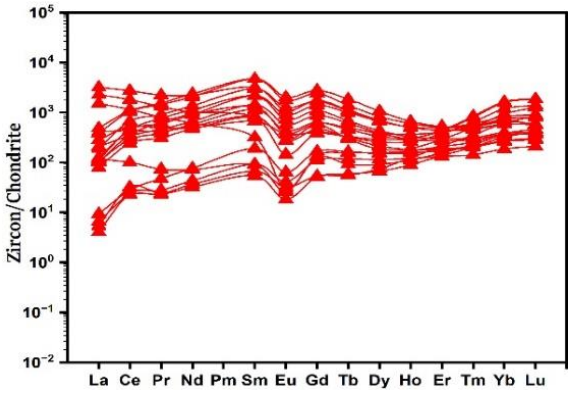


Рис. 3. Нормированные хондритом РЗЭ циркона

Заключение. Геохимические и циркониевые данные указывают на то, что граниты являются перглиноземистыми, образованными из бедных плагиоклазом протолитов и имеют различную степень фракционирования. Обогащение оловом в основном контролируется магматической фракционной кристаллизацией с ограниченным гидротермальным наложением. Гранит Нумби представляет собой высокотемпературную, сильно фракционированную систему.

Список литературы

1. Villeneuve, M., Gärtner, A., Kalikone, C., Wazi, N., Hofmann, M., & Linnemann, U. U-Pb ages and provenance of detrital zircon from metasedimentary rocks of the Nya-Ngezie and Bugarama groups (DR Congo): A key for the evolution of the Mesoproterozoic Kibaran-Burundian Orogen in Central Africa. Precambrian Research. 2019. 328, 81-98.

2. Nambaje, C., Satish-Kumar, M., Williams, I. S., Takahashi, T., & Sajeev, K. Granitic rocks from Rwanda: Vital clues to the tectonic evolution of the Karagwe–Ankole Belt. Lithos. 2021. 404–405(May). https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106490.

3. Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., & Frost, C.D. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology. 2001. 42(11), 2033–2048. https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033.

4. Araujo, F. P., Muchez, P., & Hulsbosch, N. The magmatic-hydrothermal transition in P-rich pegmatitic melts: Crystal-melt-fluid interactions recorded by phosphate minerals. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2023. 356, 129–148.

5. Li, H., Myint, A. Z., Yonezu, K., Watanabe, K., Algeo, T. J., & Wu, J. H. Geochemistry and U–Pb geochronology of the Wagone and Hermyingyi A-type granites, southern My-anmar: Implications for tectonic setting, magma evolution and Sn–W mineralization. Ore Geology Reviews. 2018. 575–592. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.03.015.

6. Madayipu, N., Li, H., Ghaderi, M., Soh Tamehe, L., Zhou, H.X., Wu, Q.H., Zheng, H., Chen, Y.L., & Kang, F. Contrasting Nb-Ta mineralization between the Mufushan and Lian-yunshan granites, South China: Evidence from whole-rock and zircon geochemistry and geochronology. Ore Geology Reviews. 2023. 158(May), 105487. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105487.

7. Loader, M.A., Nathwani, C.L., Wilkinson, J.J., & Armstrong, R.N. Controls on the magnitude of Ce anomalies in zircon. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2022. 328, 242-257.

8. Wu, C., Wang, G., Zhou, Z., Zhao, X., & Haproff, P. J. Late Archean–Paleoproterozoic plate tectonics along the northern margin of the North China craton. Bulletin. 2023. 135(3-4), 967-989.

УДК 553

ГЕОЛОГИЯ И ПРОЕКТ НА ПОИСКИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА НА АРБЫНСКОМ УЧАСТКЕ

Конопинский К.А.
студент, Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия, k.konopinskiy@sibniigim.ru

Научный руководитель: Михеев В. Г.
кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры
Геологии месторождений и методики разведки Института Цветных Металлов,
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности геологического строения Арбынского участка, расположенного в пределах северо-западной части Анабарского щита. На одном из безымянных ручьев было найдено шлиховое золото. Описаны поисковые критерии и признаки россыпной золотоносности. Предложен рациональный комплекс методов поисков россыпного золота.

Ключевые слова: Арбынский участок, Анабарский щит, россыпное золото, поисковые признаки, минералы-индикаторы, геохимические аномалии.

В северо-западной части Анабарского щита развиты сочленения крупных тектонических блоков, для которых характерны системы разломов, потенциально являющихся каналами для миграции золотоносных гидротермальных растворов. Территория считается перспективной для поиска россыпных и коренных месторождений золота, но малоизучена. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью восполнения минерально-сырьевой базы золота и оптимизации методики поисковых работ в условиях труднодоступной местности [1].

Геологическое строение участка характеризуется развитием метаморфических комплексов архея и протерозоя, перекрытых рыхлыми четвертичными отложениями. Исследование опирается на комплексный подход:

- анализ поисковых критериев, таких как стратиграфия участка, изучение интрузивных пород, геоморфологии и признаков россыпного золота (прямые и косвенные) [1];
- минерально-геохимический анализ, по аналогии с известными проявлениями региона, в качестве индикаторов золотоносности рассмотрены элементы-спутники (As, Sb, Cu, Zn) и типоморфные особенности золота [2];
- геоморфологический анализ, при помощи программных средств (AutoCAD Civil 3D, Micromine) будет построена цифровая модель рельефа для выделения эрозийно-аккумулятивных форм, потенциально благоприятных для локализации россыпей;
- интерполяция данных, применение статистических методов обработки данных шлихового опробования позволит оконтурить перспективные ореолы рассеяния.

Для проекта будут использованы следующие исходные данные:

- геологическое строение участка;
- данные геохимического и шлиховым опробования и анализов;
- результаты бурения.

В ходе проектирования будет применен дифференцированный подход к выбору сети разведочных линий в зависимости от морфологии палеодолин. Также важную роль имеют элементы-примеси в пирите и сопутствующих сульфидах, что служит дополнительным критерием при поисках коренных источников, питающих россыпи.

Проект будет содержать все стандартные части, включая подсчет запасов. При этом особое внимание заслуживает методология поисков, которая позволит добиться высокой точности.

Разработанный регламент поисковых работ позволит повысить точность прогнозирования золотоносных пластов за счет интеграции детальных геологических моделей и данных дистанционного зондирования. Предложенная методика сократит временные затраты на камеральную обработку данных, что особенно важно для условий короткого полевого сезона в арктической зоне [3].

Результаты исследования продемонстрируют высокую эффективность сочетания традиционных минералогических методов с современным цифровым моделированием. Дальнейшие работы на Арбынском участке должны быть сосредоточены на детализации литологического строения террас и верификации выявленных геохимических аномалий горными выработками [2].

Список литературы

1. Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Индикаторные признаки россыпного золота как критерий прогнозирования различных типов золотоносных рудопроявлений (Анабарский район) // Всероссийская научно-практическая конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». Якутск, 2016. С. 41-44.

2. Еремин Н.И., Дергачев А.Л. Экономика минерального сырья. Учебник для вузов.-М.: Изд. Бератор, 2007. – 504 с.

3. Экономика геологоразведочных работ : учебно-методическое пособие для курсового и дипломного проектирования / Сиб. федер. ун-т, Ин-т упр. бизнес-процессами и экономики ; сост. Богдановская С.Ф. – Электрон. текст. данные. – Красноярск : СФУ, 2015. – Загл. с титул. экрана. – Библиогр.: с. 23. – Изд. № 2015-3551. – Текст : непосредственный.

УДК 551.491.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

Никитенкова А.В.
аспирант, НИ ТПУ, Томск, Россия, AVNikitenkova@yandex.ru

Научный руководитель: Дутова Е.М.
д.г-м.н., профессор, НИ ТПУ, Томск, Россия

Аннотация. В работе рассматривается состав подземных вод республики Хакасия, характеризующейся крайне разнообразными как природными, так и антропогенными условиями его формирования. Установлено, что наибольшим весом, определяющим разнообразие состава подземных вод, обладает фактор, характеризующий изменчивость рельефа, затем следуют зависимости в соотношениях ионов в водах, второстепенные факторы выявляют локальные особенности состава внутри водосборов: влияние локальных климатических условий, антропогенное загрязнение.

Ключевые слова: подземные воды, формирование состава вод, факторный анализ, корреляция, аридный, гумидный, рельеф, морфометрия, водоносный горизонт.

Введение. Природные условия расположенной на юге Восточной Сибири республики Хакасия крайне разнообразны, территория характеризуется заметной, хотя и локализованной, антропогенной нагрузкой (горнодобывающая промышленность, сельское хозяйство, урбанизация).

Изучением особенностей формирования химического состава подземных вод занималось множество учёных, как в России, так и за рубежом [1-6]. В пределах территории республики Хакасия наиболее значимые исследования были проведены Покровским Д.С., Дутовой Е.М., Кузевановым К.И. и рядом других учёных [7-9]. Данная работа развивает эти исследования.

Оценка факторов, определяющих изменчивость состава подземных вод необходима для понимания процессов его формирования. На основе получаемых знаний возможно научно обоснованное планирование водоохранных мероприятий и обеспечение эффективного управления водными ресурсами.

В связи с вышесказанным, целью данной работы является выявление основных факторов, определяющих изменчивость химического состава подземных вод Республики Хакасия, на основе интеграции данных гидрогеохимического мониторинга и ГИС-анализа. Задачами исследования, соответственно, являются обработка исходных данных, их статистический и геоинформационный анализ, а также получение на их основе общей характеристики подземных вод с выявлением основных формирующих их состав факторов.

Методы. Исходные данные включают 9221 запись с результатами химического анализа. Также использовались данные по территории, полученные как автором, так и из открытых источников, обрабатываемые в ArcGIS 10.8 и включающие следующие слои: геология – [10]; осадки – данные по 41 метеостанции за интервал с 2005 по 2025 годы; антропогенная нагрузка (коэффициент антропогенного изменения поверхности) – индекс CSP gHM: Global Human Modification [11]; морфометрия оценивались на основе цифровой модели местности SRTM (с расчетом высот (elevation), уклонов (slope), экспозиций, индекса топографической влажности (TWI), индекса пересечённости рельефа (TRI), средней векторной меры пересечённости местности (VRM), среднего интервала между горизонталями (CI) и др.); оценка ландшафтов проводилась на основе снимков LandSat 8/9. Коэффициенты фильтрации получены на основе экспертных оценок [12]

Основными методами проведения работы являются геоинформационное моделирование средствами ArcGIS 10.8 (с использованием инструментов статистики по полигонам, а также точечного извлечения данных из растров) и статистический анализ в STATISTICA данных по составу природных вод (корреляция по Спирмену, факторный анализ методом главных компонент).

Результаты. После сокращения выборки состав вод описывается по основным макрокомпонентам, а также CO_3, Cu, Fe, Mn, NH_4, NO_2, NO_3, Zn. Кратко характеризуя выборки из аридного и семи-аридного климата, нужно отметить следующее: состав подземных вод определяется литологическим строением пород, общие характеристики вод представлены в таблице 1.

Таблица 1

Обобщенный состав основных водоносных горизонтов

Климат	Система	pH	Минерализация, мг/л	Соотношение основных ионов, экв%
Семи-аридный	Четвертичная (Q)	7,8	665	HCO_3-50 Cl-30 SO_4-20 / Ca-55 Mg-25 Na-20
	Каменноугольная ©	7,9	1494	HCO_3-36 Cl-25 SO_4-20 / Ca-60 Mg-25 Na-15
	Девонская (D)	7,9	1735	Cl-45 HCO_3-35 SO_4-30 / Ca-50 Mg-30 Na-20
Гумид-ный	Четвертичная (Q)	7,6	632,5	HCO_3-55 Cl-25 SO_4-20 / Ca-58 Mg-25 Na-17
	Каменноугольная ©	8	905,6	HCO_3-45 Cl-30 SO_4-25 / Ca-52 Mg-30 Na-18
	Девонская (D)	7,9	797	HCO_3-50 Cl-30 SO_4-20 / Ca-55 Mg-30 Na-15

В результате факторного анализа методом главных компонент по 44 переменным (состав + характеристики территории) выделено 9 главных компонент, объясняющих ~90% общей дисперсии данных, обобщенно представленных в таблице 2.

Таблица 2

Факторы, определяющие изменчивость рассматриваемых данных

Фактор	Дисперсия фактора	Ключевые переменные
1	30,12%	Средние значения: уклон (-0,9523), TRI(-0,9525), VRM(-0,9327), CI(-0,9448), высота (-0,9159). Максимальная высота (-0,8573), Разница высот
2	14,02%	Na (0,4070), Na + K (0,4044); SO_4 (0,3308), Cl (-0,1120); Минерализация (0,3539), CO_3 (0,3283), HCO_3 (0,3442)
3	11,03%	Минимальная высота (0,7331); Площадь (0,3150), Периметр (0,3455); Cu (0,1346), Fe (0,2209), Zn (0,1105)
4	5,41%	Порядок речной долины (0,2661); NH_4 (0,1648), NO_2 (0,1354); Осадки (0,4666)
5	5,28%	NO_3 (0,4660), Климат (0,3915), Mg (0,5190)
6	4,43%	Коэффициент фильтрации, Испарение, Коэффициент антропогенного изменения
7	3,58%	Высота, Испарение, Осадки
8	2,79%	Zn, Средний TWI, Рельеф
9	2,71%	Cl, Cu, Коэффициент антропогенного изменения

Обсуждение. При рассмотрении изменчивости состава вод по горизонтам для территорий с аридным (и семи-аридным) и гумидным климатом наблюдаются общие закономерности: рост доли хлоридов и сульфатов, увеличение минерализации с глубиной. При этом в аридном климате эти процессы выражены намного ярче за счёт испарения и концентрирования солей.

Полученные в результате факторного анализа данные свидетельствуют о том, что изменчивость химического состава подземных вод Хакасии контролируется сочетанием

региональных геологических и климатических факторов, на которые накладываются локальные антропогенные факторы: первые три фактора (55,17% дисперсии) отражают основные природные закономерности: рельеф, химический состав подземных вод, размеры водосборов. Факторы 4–9 (34,83% дисперсии) выявляют локальные особенности: биогенные нагрузки, климатические условия, антропогенное загрязнение.

Заключение. Полученные данные имеют значение для: оценки запасов и качества подземных вод и прогнозирования их изменений под влиянием антропогенных и природных факторов, а также разработки мер по рациональному использованию и защите водоносных горизонтов, прежде всего в аридных и семи-аридных районах.

Установлено, что формирование химического состава подземных вод Республики Хакасия определяется в первую очередь литологическим составом водовмещающих пород, а также рельефом, определяющим интенсивность водообмена, на которые в свою очередь оказывают влияние климатические условия региона (прежде всего, осадки) и антропогенное воздействие.

Предложенная методика интеграции гидрогеохимической базы данных и ГИС-анализа позволяет ранжировать факторы по степени их влияния и может быть использована для обоснования приоритетов при организации мониторинга подземных вод и водоохранных мероприятий.

Благодарности: *автор выражает искреннюю признательность Льготину В.А. и коллективу ФГБУ Гидроспецгеология за предоставленные данные по химическому составу подземных вод.*

Список литературы

1. История природных вод / В.И. Вернадский ; [Сост. Ф.Т. Яншина]; Отв. редакторы: С.Л. Шварцев, Ф.Т. Яншина. – Москва : Наука, 2003 (ППП Тип. Наука). – 750, с.
2. Овчинников А.М. Гидрогеохимия. – Москва : Недра, 1970. – 200 с.
3. Кирюхин В.А. Гидрогеохимия. – Москва : Недра, 1993. – 384 с.
4. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Недра, 1998. – 366 с.
5. Collins A.G. Geochemistry of Oilfield Waters. – Amsterdam : Elsevier, 1975. – 496 p. – Series: Developments in Petroleum Science, 1. scispace.com +1
6. Stumm W., Morgan J.J. Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. – 3-е изд. – New York : Wiley, 1996. – 1022 p.
7. Дутова Е.М., Покровский Д.С., Парначев В.П., Покровский В.Д. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 394. – С. 239–249. – DOI: 10.17223/15617793/393/38.
8. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 384. – С. 189–197. – DOI: 10.17223/15617793/384/33.
9. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Булатов А.А., Кузеванов К.И. Подземные воды Республики Хакасия и водоснабжение населения. – Томск : Изд-во НТЛ, 2001. – 300 с.
10. Drummer T.D. Generalized Geology of the Former Soviet Union (geo1ec) : U.S. Geological Survey data release. – 1998.
11. Kennedy C.M., Oakleaf J.R., Theobald D.M., Baruch-Mordo S., Kiesecker J. Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient // Global Change Biology. – 2019. – Vol. 25, No. 3. – P. 811–826. – DOI: 10.1111/gcb.14549.
12. Интернет-ресурс: База фильтрационных параметров. – URL: https://ansdimat.com/Ru/parabase/ (дата обращения: 23.03.2026).

УДК 550.834:551.24:553.98

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГРЯДЫ ЧЕРНЫШЕВА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Подопригорова А.А.[1], Востриков Н.Н.[2]
[1] студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, npodoprigorova@yandex.ru
[2] аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, vostrikov_nn@pers.spmi.ru

Научный руководитель: Нефёдов Ю.В.
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры Геологии нефти и газа, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Исследование посвящено уточнению тектонического строения центральной части гряды Чернышева – сложно построенной чешуйчатой структуры с элементами надвигов, находящейся в северо-восточной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Актуальность работы предопределена сложностью интерпретации сейсмических материалов на данной территории и необходимостью поиска новых перспективных объектов нефтегазонакопления. На основе переинтерпретации системы 2D-сейсмических профилей, построения сейсмического псевдо-куба, атрибутного анализа и кластеризации уточнена разломно-складчатая модель участка и обоснована роль транспрессионных деформаций, некомпетентных толщ и глубинных разломов в формировании гряды.

Ключевые слова: гряда Чернышева, Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция, сейсморазведка, псевдо-куб, атрибутный анализ, чешуйчато-надвиговая структура, транспрессия, глубинные разломы.

Введение. Гряда Чернышева расположена в северо-восточной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа [1, 2, 3]. В пределах гряды Чернышева осадочный чехол вовлечен в систему надвиговых пластин и складчатых осложнений, формирующих дугообразную тектоническую зону на восточной окраине Тимано-Печорской плиты. В течение длительного времени эта территория рассматривалась как слабо перспективная в отношении нефтегазоносности, однако необходимость пополнения ресурсной базы региона обусловила рост научного и поискового интереса к данному объекту [4, 5, 8].

Основная проблема исследования связана со сложным строением осадочного чехла и неоднозначностью существующих геологических интерпретаций [6, 7]. Цель работы – уточнение геологического строения центральной части гряды Чернышева на основе современной переинтерпретации сейсмических материалов, построения геологической модели участка и анализа разломно-складчатых деформаций.

Методы. Исходными материалами исследования послужила система 2D-сейсмических профилей, характеризующихся зонами потери корреляции и неоднозначным прослеживанием отражающих горизонтов. На первом этапе были устранены временные невязки между профилями, выполнена собственная корреляция основных отражающих горизонтов и построены карты горизонтов.

Далее на основе заданного уравнения интерполяции и подбора параметров вариограммы был создан сейсмический псевдо-куб, позволивший распространить информацию между профилями и повысить наглядность волновой картины [9]. Для уточнения дизъюнктивной тектоники выполнен расчет сейсмических атрибутов, чувствительных к зонам разломов и повышенной трещиноватости [9]; полученные атрибутные кубы были подвергнуты кластерному анализу с выделением зон, различающихся по физическим свойствам.

Результаты. В результате исследования выполнена корреляция основных отражающих горизонтов, построены структурные карты и создан сейсмический псевдо-куб, обеспечивший более уверенное прослеживание фаз в межпрофильном пространстве. Атрибутный анализ позволил визуализировать разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости [9], а кластеризация атрибутных кубов – выделить участки с различным характером геофизического отклика.

Полученная интерпретация подтверждает сложное чешуйчато-надвиговое строение центральной части гряды Чернышева. В разрезе фиксируются складчатые и разрывные деформации, включая надвиговые нарушения, второстепенные разломы и элементы, сопоставимые со структурами цветкового типа [6, 10, 11], формирование которых связано с сочетанием горизонтального сжатия, сдвиговой компоненты и наличия некомпетентных горизонтов солей и глин.

Обсуждение. Результаты исследования согласуются с представлениями о формировании гряды Чернышева над Усинско-Косью-Адакской зоной глубинных разломов [4, 6]. Согласно данной модели, в раннем палеозое на месте будущей гряды существовала зона прогибания, в которой происходило интенсивное осадконакопление; позднее, в условиях герцинского сжатия, накопленные толщи были вовлечены в складчато-надвиговые деформации и инвертированы в положительную структуру.

Сопоставление с тектоническими аналогами показывает, что сдвиговые и транспрессионные деформации могут играть ключевую роль в формировании нефтегазоперспективных ловушек [10, 11]. В таких условиях разломные зоны выступают не только как элементы структурного осложнения разреза, но и как возможные пути миграции углеводородов, а антиклинальные, надвиговые и цветковые структуры могут рассматриваться как потенциальные объекты нефтегазонакопления.

Для центральной части гряды Чернышева наиболее обоснованной представляется модель, в которой современный структурный облик сформирован не одним тектоническим механизмом, а последовательным наложением нескольких деформационных этапов. Ранняя стадия контролировалась заложением зоны прогибания и дифференцированным осадконакоплением; последующая стадия была связана с инверсией бассейна и формированием складчато-надвиговых деформаций; поздние напряжения реализовались в виде второстепенных нарушений и локальной перестройки ранее сформированных структур. Такой подход позволяет рассматривать гряду Чернышева как сложный объект, в котором нефтегазоперспективность обусловлена не только положением антиклинальных форм, но и пространственным соотношением разломов, зон трещиноватости, поверхностей срыва и литологических неоднородностей.

Заключение. Проведенное исследование позволило создать наиболее современную и достоверную модель геологического строения центральной части гряды Чернышева и подтвердить ее сложную разломно-складчатую природу. Создание сейсмического псевдо-куба, расчет атрибутов и их кластеризация повысили достоверность интерпретации разрывных нарушений, корреляции главных отражающих горизонтов, зон трещиноватости и структурных элементов, неочевидных при анализе отдельных 2D-профилей.

Гряда Чернышева интерпретируется как структура, сформированная в результате инверсии раннепалеозойской зоны прогибания под воздействием коллизионного сжатия, сдвиговых деформаций и транспрессии. Наличие некомпетентных прослоев эвапоритов и глин способствовало развитию чешуйчатых надвигов и расслоению осадочного чехла. Практическая значимость работы заключается в уточнении структурной модели участка и выделении направлений дальнейших исследований, связанных с интерпретацией новых сейсмических данных и оценкой нефтегазоперспективности разломно-надвиговых и трещиноватых зон.

Список литературы

1. Белонин М.Д., Прищепа О.М., Теплов Е.Л., Буданов Г.Ф., Данилевский С.А. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения. СПб.: Недра, 2004. 396 с.
2. Богацкий В.И., Ларионова З.В., Галкина Л.В., Довжикова Е.Г., Ермакова О.Л., Костыгова П.К., Куранова П.К., Мартынов А.В., Москаленко К.А., Никонов Н.И., Шабанова Г.А. Тимано-Печорский седиментационный бассейн: объяснительная записка к Атласу геологических карт, 2000. Ухта: Тимано-Печорский научно-исследовательский центр, 2002. 122 с.
3. Данилевский С.А., Склярова З.П., Трифачев Ю.М. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. Атлас карт. Ухта: Министерство природных ресурсов Республики Коми, 2001. 58 с.
4. Прищепа О.М., Богацкий В.И., Макаревич В.Н., Чумакова О.В., Никонов Н.И., Куранов А.В., Богданов М.М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6. № 4. С. 1–34.
5. Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Малинина С.С., Черненкова А.И. Роль глубинных процессов в формировании углеводородных скоплений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2016. № 3. С. 86–101.
6. Соборнов К.О., Коротков И.П., Яковлев Д.В., Куликов В.А., Кудрявцев К.Ю., Колесник В.Ф. Раздавленные соляные диапиры гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн): комплексное изучение и влияние на нефтегазоносный потенциал // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 73–88. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-1-73-88.
7. Сотникова А.Г., Лукова С.А. Перспективы нефтегазоносности объектов складчато-надвигового генезиса северного сегмента Предуральского краевого прогиба // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 89–102. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-1-89-102.
8. Котик О.С., Котик И.С., Даньщикова И.И., Соколова Л.В. Органическое вещество и генерационный потенциал палеозойских отложений Тальбейского блока гряды Чернышева (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 3. С. 370–385. DOI: 10.15372/GiG2021123.
9. Liu B., Yasin Q., Sohail G.M., Chen G., Ismail A., Ma Y., Fu X. Seismic characterization of fault and fractures in deep buried carbonate reservoirs using CNN-LSTM based deep neural networks // Geoenergy Science and Engineering. 2023. Vol. 229. Article 212126. DOI: 10.1016/j.geoen.2023.212126.
10. Qi L. Structural characteristics and storage control function of the Shun I fault zone in the Shunbei region, Tarim Basin // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. Vol. 203. Article 108653. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108653.
11. Егоров А.С., Большакова Н.В., Калинин Д.Ф. Роль сдвиговых дислокаций в формировании нефтегазоперспективных структур северного фланга Охотской нефтегазоносной провинции // Записки Горного института. 2025. Т. 276. Вып. 1. С. 3–15. EDN: HDWEBO.

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ КРЫМСКОГО УЧЕБНОГО ПОЛИГОНА С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Рахматуллина Л.И.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, linarahmatt@gmail.com

Научный руководитель: Горелик Г.Д.
к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Для систематизации и комплексного представления в едином координатном пространстве данных, полученных по результатам геолого-геофизических съемок студентами и преподавателями на Крымском учебном полигоне Санкт-Петербургского горного университета, создан и разрабатывается ГИС-проект в программном обеспечении QGIS версии 3.40.

Ключевые слова: ГИС-проект, геоинформационные системы, QGIS, геоинформатика, систематизация данных.

Введение. Географическая информационная система (ГИС) – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных [1]. Объекты в пространстве определяются координатами расположения и атрибутами (признаками), в которых содержится различная информация для описания объектов. На сегодняшний день ГИС-технологии имеют широкое распространение в таких областях, как картография, землеустройство, экологический мониторинг, городское планирование, транспорт, сельское хозяйство, геология и др. В данной работе предлагается использование программного обеспечения (ПО) QGIS 3.40 для систематизации и наглядного представления всех имеющихся геолого-геофизических данных, относящихся к Крымскому учебному полигону Санкт-Петербургского горного университета. Проект позволяет студентам заранее ознакомиться с территорией полигона и привязкой объектов геологических маршрутов до начала полевого этапа, а также объединяет результаты прошлых исследований (преподавателей и студентов старших курсов), что создаёт основу для развития новых проектов. Ранее в рамках отчётных работ по геологической практике создание ГИС-проектов учебного полигона выполнялось студентами геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета [2]. Однако эти проекты носили локальный характер и содержали только данные, собранные конкретной учебной бригадой. Настоящая работа предполагает создание ГИС-проекта, охватывающего данные со всех кафедр Геологоразведочного факультета Горного университета. Проект по систематизации данных, полученных в ходе практик на данном учебном полигоне, ранее реализовывался в ПО ArcGIS [3, 4]. Настоящая работа направлена на актуализацию и модернизацию идеи, изложенной ранее. Выбрано другое программное обеспечение по причине большей доступности, бесплатного скачивания. На основе данных, собранных в рамках предыдущего проекта, с дополнением актуальной информацией последних полевых сезонов реализуется создание интерактивной базы данных учебного полигона.

Методы. Для ознакомления с фундаментальными положениями и методами геоинформатики и геоинформационного картирования использовались соответствующие учебники и Интернет-ресурсы.[1] Поскольку QGIS относится к программному обеспечению с открытым доступом, его выбор повышает доступность обращения к проекту для студентов и преподавателей. Базовые принципы работы ПО изложены в соответствующей документации на официальном сайте [5], которая и была использована в начале реализации проекта. Его разработку можно разделить на следующие этапы. 1) Формирование основы из растровых карт и спутниковых снимков. Топографическая карта Генштаба

[1] Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформатика и геоинформационные системы: учебник для вузов – М., 2005. – 453 с.

(1:50 000) и Государственные геологические карты масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000 привязаны к системе координат WGS-84 (EPSG:4326). Геопривязка выполнена методом привязки по опорным точкам (не менее 10 точек на лист), осуществлен визуальный контроль совпадения рельефа со спутниковыми снимками в слое Yandex WEB HD Maps, добавленном ранее с помощью модуля QuickMapServices. 2) Построение карты рельефа. На основе данных SRTM (разрешение 1 угловая секунда) с использованием модуля обработки растров построены изолинии с шагом 30 м и осуществлено отображение теневого рельефа для улучшения визуального восприятия. 3) Создание слоя точек с отображением фото образцов и обнажений. Для подготовки данных для последующего добавления в проект разработана программа на языке Python. Интерактивный просмотр фотографий реализован путем добавления Действия: при нажатии на точку открывается изображение обнажения или образца, относящееся к точке наблюдения на соответствующих координатах. 4) 3D-визуализация рельефа. С помощью дополнительного модуля QGIS Qgis2threejs реализована функция, обеспечивающая наглядное представление о характере местности. На поверхность рельефа могут быть наложены любые объекты геометрии или карты из слоев проекта. 5) По предоставленным преподавателями данным на карту нанесены геологические маршруты, проводящиеся на полигоне.

Результаты. В ходе реализации проекта в программной среде QGIS 3.40 выполнена пространственная привязка предоставленных и найденных в открытом доступе картографических материалов Крымского учебного полигона, построена карта рельефа с изолиниями. На картографическую основу нанесены геологические маршруты. Созданы 2 точечных слоя, позволяющие осуществлять предпросмотр и открытие полевых фотографий обнажений и образцов, сделанных на летней практике в 2024 году и привязанных к координатам точек наблюдения. С помощью дополнительного модуля QGIS Qgis2threejs реализована 3D-визуализация рельефа и наложенных растровых карт.

Заключение. На текущем этапе сформирована основа ГИС-проекта. Дальнейшее развитие проекта предполагает его наполнение данными, предоставляемыми другими кафедрами и содержащими результаты проведенных на учебном полигоне исследований. В предстоящий полевой сезон (2026 года) необходимо обеспечить информирование студентов и преподавателей, направляющихся на Крымский полигон, о возможностях разрабатываемой системы, а также провести ознакомление целевой аудитории с форматом данных, пригодных для последующей интеграции в проект. В планах дальнейших работ – внесение результатов геофизических съёмок, актуализация (уточнение) маршрутов, добавление фотоматериалов образцов и обнажений предстоящего полевого сезона, а также включение в проект полевых записей и зарисовок из маршрутных дневников. Планируется ежегодное обновление базы данных и осуществление доступа для всех студентов и преподавателей.

Список литературы

1. Баранов Ю.Б. [и др.]. Геоинформатика. Толковый словарь терминов. – М. : ГИС-Ассоциация, 1999. – С. 24.
2. Аркадьев В.В., Каюкова Е.П., Волин К.А. Полигон геологических практик Санкт-Петербургского государственного университета в бассейне реки Бодрак (юго-западный Крым) // Полигоны учебных геологических практик вузов России : сборник статей. Вып. 1 / отв. ред. Ю.В. Попов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – С. 147-178.
3. Павленко С.В., Чивозерцев Н.Б. Геоинформационное сопровождение геологоразведочных работ на учебном полигоне Санкт-Петербургского горного университета в Республике Крым // Азимут геонаук. Вып. 4. Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции с международным участием «Азимут ГЕОнаук – 2023». – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2024. – С. 198-202.
4. Павленко С.В., Горелик Г.Д., Агеев А.С. ГИС-проект учебного полигона Санкт-Петербургского горного университета в Республике Крым // Азимут геонаук. Вып. 3. Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук – 2022». – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2023. – С. 442-445.
5. docs.qgis.org: Документация QGIS 3.40. Руководство пользователя. URL: https://docs.qgis.org/3.40/ru/docs/index.html (дата обращения: 20.03.2026).

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ПРЕДЕЛАХ ИЗУЧЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Семёнов Н.А.
геолог 2-й категории, АО «АГД ДАЙМОНДС», Архангельск, Россия, ebbies17@gmail.com

Научный руководитель: Пенделяк Р.Н.
главный геолог, АО «АГД ДАЙМОНДС», Архангельск, Россия.

Аннотация. Рассматриваются перспективы применения сейсморазведки для исследования перспективного участка, ранее исследованного методами магнито- и электроразведки. Показано, что при отсутствии выраженной геофизической аномалии и низких нарушениях массива горных пород при бурении, сохраняются характеристики кимберлитовых тел, не проявляющихся контрастными физическими явлениями. Обоснована приоритетность локального применения высокоразрешающей сейсморазведки на перспективных участках, выделенных по комплексу геологических и геофизических признаков. Предложен подход к выбору перспективных участков с учетом данных бурения и структурных характеристик изучаемой территории.

Ключевые слова: сейсморазведка, магниторазведка, кимберлитовые трубки, геофизика, бурение, локальные аномалии, структурный анализ, 3D-сейсмика.

Введение. В пределах современных поисковых работ на кимберлитовые тела основная роль традиционно отводится методам потенциальной геофизики, в первую очередь магнито- и электроразведке. Данные методы позволяют эффективно выявлять объекты, обладающие контрастными физическими свойствами относительно вмещающих пород. Однако накопленный опыт работ как в России, так и за рубежом показывает, что значительная часть кимберлитовых тел может не проявляться в магнитном и электрическом полях, либо характеризоваться слабыми и неоднозначными аномалиями.

В рассматриваемом районе выполнен значительный объём аэро- и наземных геофизических исследований, в результате которых выделен ряд локальных аномалий. По наиболее перспективным из них проведено бурение, которое в подавляющем большинстве случаев не подтвердило наличие кимберлитовых тел. Вместе с тем анализ геологической информации, включая результаты исследования керна, показывает наличие косвенных признаков тектонической нарушенности, изменения литологии и проявлений индикаторных минералов, что не позволяет полностью исключить перспективность данных участков.

Таким образом, возникает необходимость привлечения дополнительных методов исследования, способных фиксировать не только физические свойства пород, но и положение структурных неоднородностей, могущих быть связанными с кимберлитовыми телами. В этой связи сейсморазведка представляет собой перспективный инструмент, позволяющий получать изображение геологической среды и выявлять объекты по их геометрическим и кинематическим признакам.

Методы. Сейсморазведка рассматривается как метод, чувствительный к изменениям скоростных характеристик среды и нарушению сплошности отражающих горизонтов. В условиях поиска кимберлитовых тел это особенно важно, поскольку такие объекты могут проявляться не столько за счёт контраста физических свойств, сколько за счёт своей морфологии и особенностей внедрения вмещающих пород.

По данным ранее выполненных в 2008 году сейсморазведочных работ методом МОГТ (18 профилей по 1000 м, шаг между профилями 600 м) установлено наличие скоростного контраста между предполагаемыми кимберлитовыми телами и вмещающими породами, что создаёт физические предпосылки для их выявления сейсмическими методами. Однако использованные ранее параметры наблюдательной сети (значительное расстояние между профилями, ограниченная плотность пунктов возбуждения и приёма) не обеспечивали необходимого пространственного разрешения.

В современных условиях возможно применение высокоразрешающих методов сейсморазведки, включая:

- плотные сети профильных наблюдений,
- 3D-сейсморазведку,
- анализ сейсмических атрибутов,
- построение детальных скоростных моделей.

Отдельное внимание уделяется возможности использования данных бурения для калибровки сейсмической информации, а также проведению эталонных наблюдений на известных геологических объектах

Результаты. Анализ материалов ранее выполненных сейсморазведочных работ показывает, что при существующей конфигурации наблюдений выявленные аномалии волнового поля носили неоднозначный характер. В ряде случаев они интерпретировались как проявления тектонических нарушений или изменений литологии, что было подтверждено результатами бурения.

Вместе с тем следует отметить, что размеры искомых кимберлитовых тел в пределах исследуемой площади составляют порядка 200–300 м, что существенно меньше расстояния между сейсмическими профилями, достигавшего 600 м. При таких параметрах наблюдений даже при наличии объекта вероятность его пересечения профилем была невысокой, а его волновое проявление могло быть сглажено или искажено.

Дополнительный анализ волнового поля позволяет предположить, что часть ранее зафиксированных аномалий может быть связана с локальными трёхмерными объектами, не получившими корректной интерпретации. В частности, отмечаются зоны нарушения непрерывности отражающих горизонтов, локальные участки повышенной дифрагированности и изменения кинематических характеристик волн.

Моделирование и анализ современных аналогов показывают, что при использовании высокоразрешающей сейсморазведки такие объекты могут быть выявлены по следующим признакам:

- локальные нарушения отражающих горизонтов,
- зоны хаотичной записи,
- дифракционные эффекты по краям объектов,
- аномалии скоростной модели.

Таким образом, применение более плотной сети наблюдений и современных методов обработки данных позволяет существенно повысить вероятность выявления подобных объектов.

Обсуждение. Ключевым моментом является понимание того, что отрицательные результаты бурения по магнитным аномалиям не означают отсутствия кимберлитовых тел в пределах перспективного участка в целом. В ряде случаев бурение вскрывает лишь отдельные элементы геологической структуры, не затрагивая локальные тела или их периферийные части.

Кроме того, наличие тектонических нарушений и неоднородностей вмещающих пород может приводить к формированию ложных геофизических аномалий, что дополнительно усложняет интерпретацию данных. В таких условиях использование только потенциальных методов оказывается недостаточным.

Сейсморазведка позволяет перейти от анализа физических полей к изучению геометрии разреза, что принципиально меняет подход к поискам. При этом особое значение имеет комплексирование методов и использование всей совокупности имеющейся информации, включая геологические, геофизические и буровые данные.

Предлагаемый подход, основанный на локализации сейсморазведочных работ на ограниченных участках, позволяет не только повысить эффективность поисков, но и оптимизировать затраты, что особенно важно при больших площадях лицензионных участков.

Заключение. Применение сейсморазведки в пределах изученных магнитных аномалий является обоснованным направлением доразведки. Использование современных высокоразрешающих методов и локализация работ на перспективных участках позволяют повысить эффективность поисков кимберлитовых тел.

Предложенный подход обеспечивает снижение геологических рисков и может быть рекомендован для дальнейшего применения на аналогичных объектах.

Практическая реализация предложенного подхода предполагает проведение опытно-методических работ на наиболее перспективных участках с последующей оценкой эффективности сейсморазведки в конкретных геологических условиях. Полученные результаты могут быть использованы для масштабирования метода на другие объекты.

Список литературы

1. Maksimkina L.V., Goncharov E.M., Boyarov V.M. Perspectives of application 3D seismic for kimberlite exploration // 6th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition. 2014. С. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.20140171
2. Boyarov V.M., Goncharov E.M., Egorov G.S. Results of high-resolution 3D seismic application for kimberlites in Yakutia // Engineering and Mining Geophysics Conference. 2018. С. 1–6. DOI: 10.3997/2214-4609.201800493
3. Vakulenko S., Goncharov E., Ignatiev V., Oshkin A., Shuvalov A. Application of the advanced cross-hole seismic tomography for kimberlite pipe detection in Yakutsk diamondiferous province // NSG2020 Conference. 2020. С. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.202020204
4. Lebedev S., Gibson S., Fullea J., Xu Y., Bonadio R., Davidson F. Seismic thermography of continental lithosphere: structure, evolution, and controls on the distribution of kimberlites // International Kimberlite Conference. 2024. DOI: 10.29173/ikc4029
5. Giuliani A., Schmidt M.W., Torsvik T.H. et al. Genesis and evolution of kimberlites // Nature Reviews Earth & Environment. 2023. Т. 4. С. 738–753. DOI: 10.1038/s43017-023-00481-2
6. Mather B.R., Müller R.D., Alfonso C.P. et al. Kimberlite eruptions driven by slab flux and subduction angle // Scientific Reports. 2023. Т. 13. Ст. 9216. DOI: 10.1038/s41598-023-36250-w
7. Sparks R.S.J., Brown R.J., Field M. Kimberlite ascent and eruption // Nature. 2007. Т. 450. С. E21. DOI: 10.1038/nature06435
8. Malehmir A., Bellefleur G., White D.J. Seismic reflection imaging of thin kimberlite dykes and sills: exploration and deposit characterization of the Snap Lake dyke, Canada // Lithos. 2004. Т. 76. № 1–4. С. 359–367. DOI: 10.1016/j.lithos.2004.03.056
9. Valley J.W., Kinny P.D., Schulze D.J., Spicuzza M.J. Zircon megacrysts from kimberlite: oxygen isotope variability among mantle melts // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1998. Т. 133. С. 1–11. DOI: 10.1007/s004100050432
10. Giuliani A., Pearson D.G., Griffin W.L. Kimberlite magmatism and diamond exploration: advances and perspectives // Elements. 2019. Т. 15. № 6. С. 407–412.

УДК 551.83

ИХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕРЕ КЕРНА СКВАЖИНЫ 3-НЕРУТЫНСКАЯ (ТИМАНСКИЙ И САРГАЕВСКИЙ ГОРИЗОНТ, ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

Смирнов Д.М.
аспирант кафедры Исторической и динамической геологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, dms-51@yandex.ru

Научный руководитель: Цинкобурова М.Г.
к.г.-м.н., доцент кафедры Исторической и динамической геологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Развитие такой относительно новой науки как палеоихнология дает геологам новые инструменты получения информации о процессах осадконакопления в геологическом прошлом. В данной работе представлены результаты палеоихнологического изучения тимано-саргаевского интервала скважины 3-Нерутынская, а также палеогеографическая интерпретация на основе анализа ихнокомплекса, тафономических особенностей ископаемой биоты и литологического состава изученного интервала.

Ключевые слова: ихнофоссилии, палеоихнология, изучение керна, Pentichnus, Balanoglossites, Virgaichnus, фациальный анализ, палеогеография, верхний девон, фран, Тимано-Печорская провинция.

Введение. Развитие палеоихнологии как науки дало геологам новые методы и дополнительные инструменты для получения палеогеографической и палеоэкологической информации, что позволяет дополнять существующие представления об условиях осадконакопления и органическом мире осадочных бассейнов прошлого. Сущность ихнофоссилий как следов, свидетельств какого-либо вида поведения древних организмов дает возможность анализировать особенности их взаимодействия друг с другом и с окружающей средой, получать представления о распространении и численности даже не сохранившихся в окаменелом виде животных. Ввиду того, что глубокозалегающие пласты доступны для непосредственного изучения только при бурении с отбором керна, что увеличивает конечную стоимость строительства скважин, а потому применяется далеко не всегда, объем керна по интересующему интервалу всегда ограничен. Данное обстоятельство делает целесообразным развитие методов, позволяющих получать максимум седиментологической информации при небольшом объеме исходных данных для дальнейшего моделирования. Ихнологический анализ является примером такого метода. Исследование ископаемых следов жизнедеятельности актуально не только при изучении нефтегазоносных бассейнов, но и в других районах, и может явиться дополнительным корреляционным признаком при изучении крупных седиментационных бассейнов. Примером такого бассейна является море, занимавшее в позднем девоне территорию Тимано-Печорского региона и значимой части Восточно-Европейской платформы. Породы франского яруса Тимано-Печорского региона характеризуются недостаточным уровнем ихнологической изученности. На данный момент опубликовано небольшое количество работ, посвященных ихнофоссилиям в породах девона только района Тиманского кряжа [1-3]. Целью проводимого исследования являлось изучение ископаемых следов жизнедеятельности древних организмов (ихнофоссилий) тимано-саргаевского интервала скважины 3-Нерутынская. Небольшой выход керна и его плохая сохранность затрудняют проведение фациальных исследований для изучаемого интервала, анализ ихнокомлексов позволяет дополнить представления об условиях осадконакопления в данном районе в тимано-саргаевское время.

Методы. В ходе исследования проводилось изучение ихнофоссилий тимано-саргаевского интервала скважины 3-Нерутынская, включавшее макроскопическое описание, диагностику таксонов, анализ взаимного расположения следов и их распространения по разрезу. Также в Проблемной лаборатории «Глубинная метагеология» Горного университета на анализаторе структур SIAMS было проведено микроскопическое изучение образцов. На основе полученных результатов проводилась палеогеографическая интерпретация. Также автором были изучены породы саргаевского горизонта северо-запада Русской плиты (восток Главного девонского поля, ГДП). Несмотря на приповерхностное залегание пород девона в районе ГДП утрата обнажений, обусловленная интенсивной оползневой динамикой и другими опасными природными и антропогенными процессами [4] затрудняет переизучение стратонов верхнего девона в этом регионе.

Результаты. Изученный разрез тимано-саргаевского интервала скважины 3-Нерутынская характеризуется ритмичным чередованием зеленовато-серого микритового известняка с детритом ринхонеллиформных брахиопод и красно-коричневого, серовато-бурого мергеля, в верхней части интервала развиты серовато-коричневые аргиллиты (полностью дезинтегрированы в ходе хранения керна, изучение ихнофоссилий невозможно).

Интервал 3730,6 – 3731,0 м. Зеленовато-серый микритовый известняк с детритом ринхонеллиформных брахиопод. Выявлены ориентированные вдоль поверхностей напластования следы ползания *Planolites*, системы разветвляющихся ходов *Chondrites*, а также сложные 3D-системы шахт, туннелей и камер *Balanoglossites*.

Интервал 3729,3 – 3730,6 м. Бурый, красно-коричневый, серовато-бежевый мергель с прослоем зеленовато-серого известняка с 3D-системами ходов *Balanoglossites* в нижней части. В мергелевой части интервала развиты ихнофоссилии *Chondrites*, 3D-системы ходов *Thalassinoides*, также была описана спиралевидная постройка *Spirophyton*. Особый интерес вызвал след *Pentichnus* караваеобразной формы – редко встречаемый ихнород, представляющий собой нору, вероятно, эхинодермат. Присутствие следа *Planolites*, проходящего сквозь нору *Pentichnus* свидетельствует о длительном характере биотурбации и неодновременности образования разных ихнофоссилий животными-следообразователями, способностью разных организмов продуцировать норы и ходы в осадке на разной глубине.

Интервал 3729,0 – 3729,3 м. Зелено-серый известняк с детритом и целыми раковинами ринхонеллиформных брахиопод. Хорошая сохранность свидетельствует о незначительном посмертном переносе. В интервале присутствуют следы *Planolites*.

Интервал 3728,0 – 3729,0 м. Бурый, красно-коричневый мергель. Для этого слоя характерен обильный ихнокомплекс – системы разветвляющихся ходов *Chondrites* и *Virgaichnus*, субгоризонтальные ходы *Palaeophycus* и *Planolites*, довольно крупные (до 12 см в диаметре, глубина 5-10 см) спиральнозавитые постройки *Spirophyton*.

Обсуждение. В изученном интервале четко выделяются 2 литотипа, для каждого из которых характерен определенный литологический состав и присутствие ихнородов, не встречающихся в другом литотипе. Так, в серо-зеленых известняках описаны следы *Balanoglossites*, часто характерные для условий фирмграундов и хардграундов [5, 6]. Также для этого литотипа характерно присутствие детрита и раковин ринхонеллиформных брахиопод – морских животных, обитавших на морском дне в зоне небольших глубин. Хорошая сохранность раковин свидетельствует о посмертном переносе на небольшое расстояние (а значит, данные организмы обитали недалеко от места захоронения и по ним можно судить о фациальных условиях в данном районе). Детрит свидетельствует о присутствии палеотечений, разрушивших целые раковины. Еще одним аргументом в сторону подобных палеобатиметрических условий является присутствие ихнофоссилии *Pentichnus*, возможные следообразователи которой также обитали в зонах небольших глубин. Таким образом, данный литотип был образован в зоне сублиторали (глубины до 100-200 м).

Бурые мергели характеризуются отсутствием биокластов и другим ихнокомплексом. Ихнофоссилии *Spirophyton* и *Thalassinoides* указывают на более глубоководные условия. Встреченный только в данном литотипе ихнород *Virgaichnus* является недостаточно изученным, тем не менее, в литературе описаны случаи его нахождения в разных фациях [5, 7]. Таким образом, данный литотип был образован в условиях нижней сублиторали – псевдоабиссали.

Среди описанных ихнофоссилий были встречены и полифациальные ихнорода [8], которые присутствуют как в зеленовато-серых известняках, так и в бурых мергелях – *Palaeophycus, Planolites* и *Chondrites*.

Анализируя одновозрастный интервал в пределах востока ГДП, автором была подмечена также ритмичная смена комплексов ихнофоссилий. Как показало изучение пород верхнего девона востока ГДП режим морского бассейна также отличался большой нестабильностью [9, 10]. В породах нижнего франа востока ГДП автором также была установлена характерная пачка с легко узнаваемыми следами *Balanoglossites* [11].

Заключение. Проведенный ихнологический и литолого-фациальный анализ позволил сделать вывод о изменчивом характере осадконакопления в изучаемом районе в ритмично сменяющихся условиях верхней-нижней сублиторали, и, возможно, псевдоабиссали. Выделенный интервал со следами *Balanoglossites* можно рассматривать как реперную поверхность при корреляции отложений позднедевонского морского бассейна востока Лавруссии – как в скважинах, так и в обнажениях – однако вопрос, на какие расстояния это можно делать, требует дополнительного изучения. Метод выделения и использования ихнотектстурных реперов, связанных с конкретными ихнородами, является перспективным для задач стратиграфии.

Работа выполнена в рамках Государственного задания FSRW-2024-0008 «Исследование термодинамических процессов Земли с позиции генезиса углеводородов на больших глубинах».

Список литературы

1. Безносов П.А., Снигиревский С.М., Наугольных С.В., Лукшевич Э.В. Верхнедевонский комплекс отложений дельтовой равнины на Северном Тимане //Вестник ИГ Коми. 2018. № 1. С. 25-44.
2. Гамолюк О.В. Предварительные данные о распространении ихнофоссилий в отложениях франского яруса Тимана // Структура, вещество, история литосферы тимано-североуральского сегмента. Сыктывкар : Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 15-17.
3. Luksevics E., Beznosov P., Mikulas R., Meskisi S. Late Devonian trace fossil from the Sosnovogorsk formation (South Timan, Komi Republic) //Conference Paper ĢEOLOĢIJA. 2013. P. 332-334.
4. Об утрате объектов геологического наследия Главного девонского поля / М.Г. Цинкобурова, Л.П. Норова, Д.М. Смирнов, М.Л. Барановская // Горный журнал. – 2024. – № 9. – С. 91-97.
5. Knaust D. Atlas of Trace Fossils in Well Core Appearance, Taxonomy and Interpretation Springer, 2017. 209p. DOI: 10.1007/978-3-319-49837-9
6. Knaust D. Balanoglossites-burrowed firmgrounds – The most common ichnofabric on earth? // Earth-Science Reviews. 2021. V. 220. Pp. 13-22. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103747
7. Knaust D Meiobenthic trace fossils comprising a miniatureichnofabric from Late Permian carbonates of the Oman Mountains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecologe. V. 286. 2010. Pp 81–87
8. Baucon A., Bednarz M., Dufour S. et al. Ethology of the trace fossil Chondrites: Form, function and environment //Earth-Science Reviews. 2020. V. 202. 130 p. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102989
9. Faunal and facies changes at the Early–Middle Frasnian boundary in the north−western East European Platform / A. V. Zhuravlev, E. V. Sokiran, I. O. Evdokimova [и др.] // Acta Palaeontologica Polonica. – 2006. – Vol. 51, № 4. – P. 747–758.
10. Геккер, Р.Ф. Тафономические и экологические особенности фауны и флоры Главного девонского поля / Р.Ф. Геккер. – Москва : Наука, 1983. – 144 с.
11. Барановская, М. Л. Слои с Balanoglossites как маркирующий уровень староизборской свиты (нижний фран, Псковская область) / М. Л. Барановская, Д. М. Смирнов // Геология XXI века. Передовые технологии и научно-методическое обеспечение регионального геологического изучения недр Российской Федерации. Материалы VI Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского. – СПб: Издательство ФГБУ «Институт Карпинского», 2024. – С. 203-206.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ ЦЕПНОЙ ДРОБЬЮ

Смук Г.В.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, georgii.smuk@gmail.com

Аннотация. В работе описывается методология интерпретации потенциальных полей, включающая три основных этапа: истокообразные аппроксимации, аналитическое продолжение цепной дробью и решение обратной задачи методом подбора. Разработанная методика позволяет строить согласованные физико-геологические модели земной коры.

Ключевые слова: аналитическое продолжение, геофизические поля, цепная дробь, особые точки, истокообразные аппроксимации, гармонические функции, обратная задача.

Введение. В теории интерпретации потенциальных полей особую роль играет задача аналитического продолжения в нижнее полупространство поскольку, в отличие от обратных задач, ее постановка корректна. Проблема неустойчивости была решена К.М. Ермохиным, который предложил использовать аппроксимации Паде для представления мероморфных функций и цепные дроби для нахождения суммы расходящегося ряда [1, 2]. Наибольший интерес представляют особые точки функций, которые определяются по максимумам модуля комплексной напряженности поля в нижней полуплоскости. Наличие априорных сведений о координатах особых точек позволяет перейти к решению обратной задачи в классе элементарных источников, для чего необходимо определить тип особенностей, которые могут являться полюсами или точками ветвления. Каждому типу соответствует своя элементарная интерпретационная модель – цилиндры, пластины, стержни [3, 4].

Методы. Ранее автором рассматривался вопрос, связанный с учетом различной высоты измерений при аналитическом продолжении [5]. Прямое использование метода приводит к появлению ложных источников поля, не отражающих истинного положения особых точек. В связи с этим, первый этап интерпретации непременно должен быть связан с приведением полей к плоскости, для чего существуют эффективные алгоритмы интерполяции гармоническими функциями [6, 7]. На следующем этапе выбираются профили, пересекающие либо аномалии, приближенные к двумерным, либо эпицентры трехмерных аномалий, и реализуется аналитическое продолжение цепной дробью в нижнюю полуплоскость. Модуль и аргумент комплексного поля используются для определения типа особых точек. Анализ фазовых портретов в окрестности особенности позволяет надежно определять полюсы функций, также информативен график радиального затухания модуля. Далее с учетом априорных сведений об особых точках решается обратная задача методом прямого моделирования. Полученные результаты ложатся в основу физико-геологической модели изучаемого объекта.

Результаты. Описанная методология апробирована автором при поисках золото-кварцевых рудных жил в различных регионах РФ (Красноярский край, Забайкальский край и др.). Особенно информативно в данной задаче аномальное магнитное поле, в котором интенсивно проявлены поисковые объекты [8]. В соответствии с описанной методикой, магнитное поле приводится к горизонтальной поверхности, реализуется аналитическое продолжение поля вниз и строится петромагнитная модель. К примеру, в Красноярском крае на перспективной площади по магнитному полю выделен объект, для которого с использованием аналитического продолжения определены верхняя и нижняя кромка, особые точки соответствуют полюсам первого порядка, для которых интерпретационной моделью является пласт малой мощности. Объект локализован на контакте гранитоидного массива и карбонатного комплекса, где могут формироваться золотокварцевые жилы [9]. Структура источников магнитного поля коррелирует с разрезами УЭС по данным АМТЗ.

Обсуждение. В работе описывается методология интерпретации потенциальных полей, включающая три этапа – истокообразные аппроксимации, аналитическое продолжение и решение обратной задачи методами подбора. Последовательное применение указанных алгоритмов позволяет строить согласованные физико-геологические модели земной коры. Дальнейшее развитие напрямую связано с автоматизацией процесса решения обратной задачи, поскольку А.В. Цирульским показано, что если граница области поиска решения определяется конечным числом параметров (которые можем получить по результатам аналитического продолжения), то обратная задача разрешима [10]. Для этого требуется решить систему трансцендентных уравнений с последующим построением семейства эквивалентных решений.

Заключение. Рассмотренная в работе методология интерпретации гравитационных и магнитных полей демонстрирует эффективный симбиоз строгого математического формализма и практических потребностей геологии. Ключевым результатом является использование устойчивого вычислительного алгоритма, позволяющего по наблюденному полю на рельефе определять тип и координаты особых точек, соответствующих реальным геологическим источникам (контактам, дайкам, жилам, интрузивным телам). Показано, что совместный анализ модуля и аргумента потенциального поля в нижней полуплоскости является надежным диагностическим признаком для определения типов источников. Практическая значимость подтверждена успешным применением методики при поисках золотокварцевых объектов, результаты напрямую влияют на рекомендации для последующего поискового бурения.

Список литературы

1. Ермохин, К.М. Технология построения разрезов методом аналитического продолжения геофизических полей / К.М. Ермохин // Геоинформатика. – 2010. – № 2. – С. 51-60. – EDN LGVYEO.
2. Ермохин, К.М. Аналитическое продолжение геофизических полей методом цепных дробей / К.М. Ермохин // Записки Горного института. – 2009. – Т. 183. – С. 238-241. – EDN KZECFN.
3. Трошков, Г.А. Математические методы интерпретации магнитных аномалий / Г.А. Трошков, А.А. Грознова. – М. : Недра, 1985. – 151 с.
4. Тафеев, Г.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий / Г.П. Тафеев, К.П. Соколов. – Л. : Недра, 1981. – 327 с.
5. Смук, Г.В. Особенности учета рельефа с использованием эквивалентных источников в методе аналитического продолжения цепной дробью / Г.В. Смук, Н.П. Сенчина // Материалы 52-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». – Воронеж : Издательство «Цифровая полиграфия», 2026. – С. 219-222.
6. Soler, S.R. Gradient-boosted equivalent sources / S.R. Soler, L. Uieda // Geophysical Journal International. – 2021. – Vol. 227. – № 3. – P. 1768-1783. DOI: 10.1093/gji/ggab297.
7. Долгаль, А.С. История метода истокообразных аппроксимаций геопотенциальных полей / А.С. Долгаль, А.В. Пугин, П.Н. Новикова // Физика Земли. – 2022. – Т. 2. – № 2. – С. 3-26. DOI: 10.31857/S0002333722020028.
8. Ермолин, Е.Ю. Оптимизация наземной геофизики для поиска кварцевых золотоносных жил в республике Саха (Якутия) / Е.Ю. Ермолин, А.В. Мельников, Г.К. Григорьев // Материалы 49-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. – Екатеринбург : Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, 2023. – С. 155-159. – EDN GKYWCY.
9. Coulibaly, Y. Multistage Fluid Evolution and P-T Path at Ity Gold Deposit and Dahapleu Prospect (Western Ivory Coast) / Y. Coulibaly, M. Cathelineau, M.-C. Boiron // Minerals. – 2025. – Vol. 15. – № 9. DOI: 10.3390/min15090918.
10. Цирульский, А.В. Функции комплексного переменного в теории и методах потенциальных геофизических полей / А.В. Цирульский. – Свердловск : УрО АН СССР, 1990. – 135 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АНТАРКТИДЫ

Тоторина К.А.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, kstotorina@mail.ru

Научный руководитель: Сенчина Н.П.
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются особенности пешеходной магнитной съемки в прибрежной зоне Антарктиды, где исследования сопряжены с экстремальными климатическими условиями и высокой степенью нестационарности магнитного поля. Актуальность обусловлена необходимостью выполнения корректных измерений и дальнейшей геологической интерпретации данных, полученных в труднодоступном районе, который вызывает большой интерес международного научного сообщества. Проблематика включает комплекс факторов: низкие температуры, береговой эффект, влияние авроральных зон и изменчивости рельефа, которые необходимо учитывать при проведении магниторазведочных работ. Автором предложена методика компенсации указанных искажающих факторов, адаптированная для пешеходных магниторазведочных работ.

Ключевые слова: наземная магниторазведка, Антарктида, береговой эффект, магнитное поле, влияние рельефа, авроральная зона, интерпретация магниторазведочных данных.

Магниторазведочные работы являются эффективным инструментом при решении множества геологических, технических задач. Исследования данным методом выполняются в широких объемах в различных масштабах как в нашей стране, так и за рубежом. В настоящее время одним из направлений концентрации научно-исследовательских работ отечественными специалистами являются наблюдения на научных станциях в Антарктиде. В ходе 70-й, 71-й РАЭ (Российская Антарктическая экспедиция) учеными Горного университета выполняются высокоточные магниторазведочные работы на полуостровах Брокнес и Стурнес в Восточной Антарктиде [1]. При подготовке к работам и выполнении указанных исследований обозначился ряд проблем и особенностей съемок, характерных для прибрежных зон Антарктиды, которые необходимо учитывать при обработке, интерпретации результатов наблюдений и планировании будущих исследований. Целью настоящей работы является описание особенностей магниторазведочных работ в Антарктиде и формирование перечня рекомендаций для их учета.

Основными особенностями магниторазведочных работ в прибрежных зонах Восточной Антарктиды по сравнению с типичными для средних широт территории России условиями, являются:

1) низкие температуры выполнения работ. Это приводит к сезонности выполнения работ (средняя температура на ст. Прогресс летом (январь) – -0,6º; зимой (июль) – -15,2º), необходимости дополнительной проверки аппаратуры на морозоустойчивость, удвоенного количества аккумуляторных батарей, оценке необходимости учета поправок за влияние температуры на некоторых типах магнитометров.

2) возможное влияние «берегового эффекта» на результаты магнитных наблюдений. В прибрежных зонах, особенно в районах с близким к побережью расположением континентального склона, возможно влияние на результаты измерений магнитного поля электрических токов теллурического происхождения, текущих в морских и океанических водах с низким удельным электрическим сопротивлением [2]. Данный эффект требует дополнительной оценки на участках выполнения работ.

3) влияние близости к участкам работ авроральной зоны. В Южном полушарии область, где чаще всего происходят полярные сияния – 65º-75º ю. ш., приходится примерно на береговую зону Антарктиды. В связи с этим, магнитные вариации являются более изменчивыми, сильно отличаются по характеру от вариаций в средних широтах и на полюсах [3, 4].

Это требует более жесткого ограничения магниторазведочных работ во время магнитных бурь, в случае крупного участка работ – расположение нескольких вариационных станций.

4) характер нормального магнитного поля в Южном полушарии, обратный к полю в Северном полушарии. При этом вид кривой ΔT должен иметь характер, аналогичный для приполярных зон Северного полушария [5, 6]. Данные факты необходимо учитывать при интерпретации и сопоставлении результатов магнитных наблюдений с геологическими.

5) изменчивый рельеф местности, практически полное отсутствие четвертичных отложений и наличие намагниченных пород в верхней части разреза [7, 8]. Это приводит к двум эффектам – влиянию намагниченных пород рельефа и разновысотности наблюдений. Учет указанных эффектов возможен с помощью вычитания из данных наблюдений результатов решения прямой задачи для магнитного рельефа, и пересчета результатов наблюдений на постоянную высоту [9, 10].

В результате представлен перечень особенностей магнитных наблюдений в Антарктиде, для некоторых из них даны рекомендации для района работ ученых Горного университета, отчасти выполнен учет на материалах наблюдений на п-вах Брокнес и Стурнес (70, 71 РАЭ).

При подготовке к работам в условиях прибрежных зон Антарктиды необходимо учитывать данный перечень особенностей для получения корректного результата и рентабельности работ.

Практическая значимость работы заключается в повышении достоверности геологического картирования прибрежных территорий Антарктиды посредством привлечения данных высокоточной магниторазведки. Полученные результаты могут быть использованы при планировании и проведении геофизических экспедиций. Направления будущих исследований включают обработку и комплексную интерпретацию данных магниторазведки совместно с другими геофизическими методами.

Список литературы

1. Горелик Г.Д., Сенчина Н.П., Ушаков Д.Е. О результатах крупномасштабной пешеходной магнитометрической съемки в пределах полуострова Брокнес (холмы Ларсеманн, Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) // Записки Горного института. 2025. Т.273. №16735. С.123-135.
2. Hitchman A.P., Peter R., Milligan P.R., Lilley F.E.M. (Ted), White A., Heinson G.S. The total-field geomagnetic coast effect: The CICADA97 line from deep Tasman Sea to inland New South Wales // Exploration Geophysics. 2000. Vol 31, Nos. 1 and 2 P. 52 – 57. DOI:10.1071/EG00052
3. Плоткин В.В., Поспеева Е.В., Потапов В.В., Запланова А.А. Оценки искажений кривых магнитотеллурического зондирования в авроральной зоне при неоднородности первичного поля // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2024. Т.2 №4. С. 20 – 26. DOI 10.33764/2618-981X-2024-2-4-20-26
4. Chen X., Jiang R., Wan J., Xu G., Jiang M., Chen D. Cenozoic Exhumation of Larsemann Hills, East Antarctica: Evidence from Apatite Fission-track Thermochronology // Acta Geologica Sinica – English Edition. 2010. Vol. 84. P. 306-320. DOI:10.1111/j.1755-6724.2010.00142
5. Логачев А.А. Магниторазведка // Недра, Ленинград, 1968. 295 стр.
6. Шаблыко П.В. Структурное районирование аномального магнитного поля Z и T Вечернегорской площади (Земля Эндерби, Восточная Антарктида) // Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий: материалы II Междунар. науч. конф., Респ. Беларусь, Минск, 16 февр. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: О. В. Лукашёв (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ. 2021. С. 286-290.
7. Бабенко И.А., Таловина И.В., Ушаков Д.Е., Крикун Н.С. Пегматиты оазиса Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида: новые полевые геологические и геофизические данные // Записки Горного института. 2025. № 273. С. 65-79.
8. Таловина И.В., Бабенко И.А., Илалова Р.К., Дурягина А.М. Оливин – шпинелевая геотермометрия – индикатор формационной принадлежности пород и основа для геодинамических реконструкций в условиях Антарктиды // Горный журнал. 2024. № 9. С. 77-82.
9. Ермохин К.М. Сложности интерпретации магнитных аномалий и способ их преодоления // Геоинформатика. 2018. Т. 27. № 2. С. 27-31.
10. Смук Г.В., Сенчина Н.П. Особенности учета рельефа с использованием эквивалентных источников в методе аналитического продолжения цепной дробью // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 52-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова (г. Воронеж, 26 января − 30 января 2026 г.) – Воронеж, Издательство «Цифровая полиграфия». 2026. С. 219 – 222.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ LIDAR ПРИ СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ CU-AG РУДОПРОЯВЛЕНИЯ АГЫНДЖА (РАССОХИНСКИЙ ТЕРРЕЙН, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Трифонов И.В.[1], Сычев С.Н.[2], Федосеева К.А.[3]
[1] старший геолог, ООО «Геовектор»; аспирант, ФГБУ «Институт Карпинского», Санкт-Петербург, Россия, i.v.trifonof@gmail.com
[2] зам. директора по ГРР, ООО «Геовектор»; ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Институт Карпинского»; доцент, ФГБОУВО «СПбГУ», Санкт-Петербург, Россия, s.sychev@geovector.pro
[3] геолог, ООО «Геовектор», Санкт-Петербург, Россия, kristinaaa055@gmail.com

Научный руководитель: Сычев С.Н.
к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Институт Карпинского»; доцент, ФГБОУВО «СПбГУ», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Впервые на медно-серебряном рудопроявлении Агынджа (Восточная Якутия) применена LiDAR-съёмка с использованием смартфона iPhone 13 Pro для детального структурного анализа. Построены 3D-модели обнажений в среде Micromine, для каждого треугольника каркаса рассчитаны элементы залегания. Подтверждена сходимость с классическими структурными замерами, рудоконтролирующая сланцеватость падает на юго-запад (250–280°∠60–80°). LiDAR обеспечивает увеличение статистической выборки на порядок и рекомендуется для быстрой и точной оценки элементов залегания плоскостных структур.

Ключевые слова: LiDAR, iPhone, структурный анализ, рудопроявление Агынджа, чилийское манто, Рассохинский террейн, Восточная Якутия, медная минерализация, 3D-моделирование, Micromine

Введение. Месторождения типа «чилийское манто» (manto-type) являются крупным источником меди и серебра. Наиболее известные объекты этого типа расположены в Чили, Иране и Китае [1, 2, 3] В России объекты, однозначно относимые к данному типу, практически не описаны [4]. Рудопроявление Агынджа, локализованное в ордовикских вулканитах Рассохинского террейна (Восточная Якутия), рассматривается как первый в России представитель этого типа [5, 6, 7].

Предшествующими исследованиями на объекте установлен структурный контроль оруденения, выделено пять этапов деформаций. Рудная минерализация ассоциирована с зонами, сформированными в надвиговом и транспрессионном режимах, а также режиме тектонического разуплотнения на завершающих стадиях развития орогена [7]. Однако детальная количественная оценка ориентировок структурных элементов оставалась ограниченной из-за трудоёмкости массовых замеров компасом в условиях сложного высокогорного рельефа и недостатка времени.

В 2020 году Apple Inc. представила смартфоны iPhone 12 Pro со встроенным LiDAR-модулем, что открыло новые возможности для оперативной трёхмерной съёмки геологических обнажений мобильным устройством [8,9], находящимся в доступном ценовом диапазоне. Цель настоящей работы – апробация мобильного LiDAR для структурного анализа рудопроявления Агынджа. Задачами данной работы является обработка LiDAR-съёмки ключевых обнажений, построение их цифровых моделей, расчет основных структурных параметров систем трещиноватости и сопоставление полученных результатов с данными, полученными в ходе традиционных структурных замеров геологическим компасом.

Съёмка проведена в каньоне реки Агынджа, где вскрывается полный разрез Южного тектонического клина, представленного песчаниками, конгломератами и покровами трахиандезитов, трахибазальтов [10]. Использован смартфон iPhone 13 Pro с LiDAR-модулем, который использует массив VCSEL-лазеров (8×8 точек, дифрагированных в 3×3

сетки, всего 576 точек) и измеряет прямое время пролёта (dTOF) с помощью SPAD-фотодетекторов. Плотность точек составляет 7225 т/м² на расстоянии 0,25 м и 150 т/м² на расстоянии 2,5 м, точность измерения малых объектов – ±1 см, для моделей масштаба 130×15×10 м – ±10 см [8].

Полученные облака точек и OBJ-модели импортированы в программное обеспечение CloudCompare, где была осуществлена их плоскостная привязка. Далее модели переносились в ГГИС Micromine 2026, где файлы были переведены в триангуляционные каркасные модели. Для каждого треугольника каркаса автоматически были рассчитаны азимут и угол падения, что позволило получить массивы замеров (в среднем от 350 до 1500 штук) для различных систем трещиноватости. Структурный анализ выполнен с построением стереограмм (сетка Шмидта, нижняя полусфера).

Построенные 3D-модели позволили визуализировать и детально охарактеризовать зоны рассланцевания, к которым в ряде случаев тяготеет медная минерализация (рис. 1).

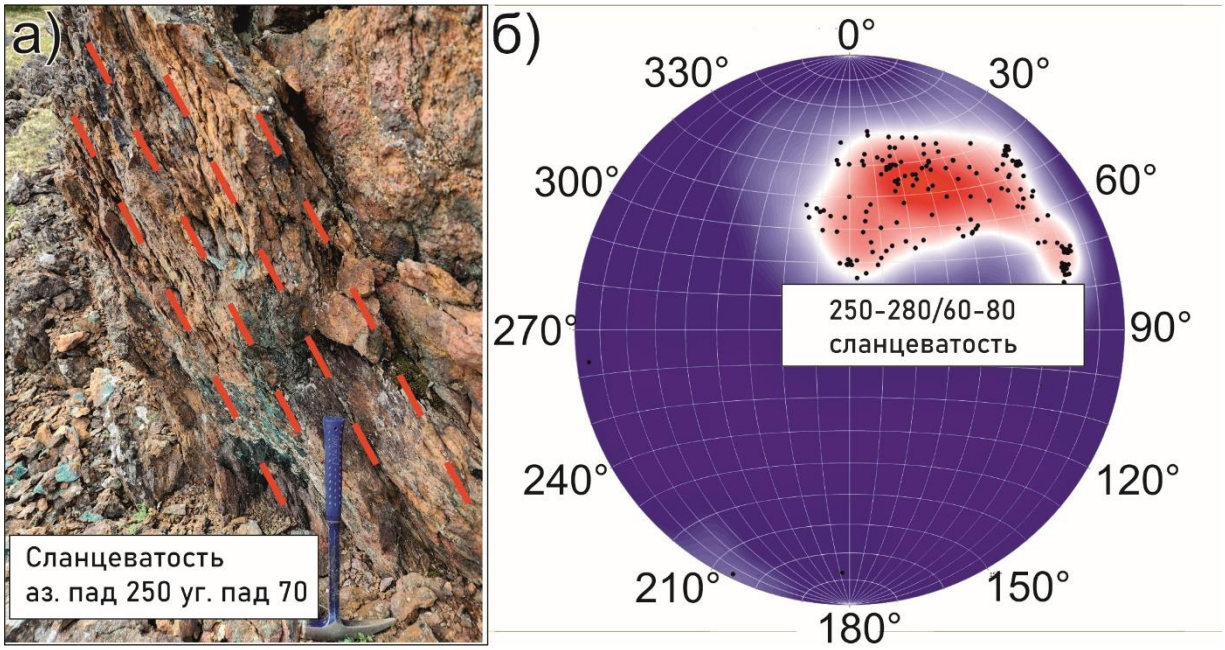


Рисунок 1. а) Развитие медной минерализации по плоскостям рассланцевания.
б) π – диаграмма по результатам вычисления элементов залегания поверхностей модели обнажения, n = 350, нижняя полусфера, сетка Шмидта

Для поверхностей сланцеватости, получены элементы залегания: падение на юго-запад (азимут 250–280°, угол 60–80°). Эти значения соответствуют структурам, отнесённым к этапу субширотного сжатия [7].

Полученные с помощью LiDAR количественные данные о пространственной ориентировке структурных элементов демонстрируют высокую сходимость с результатами традиционных структурных замеров геологическим компасом [7]. При этом съемка методом LiDAR позволила во много раз увеличить объём статистической выборки, обеспечила их равномерное распределение по площади обнажения, а также позволила оцифровать крутые стенки каньона, опасные и недоступные для ручных измерений.

Таким образом, LiDAR на базе iPhone может быть рекомендован в качестве экспресс-метода при структурном анализе рудных объектов, помогающий геологу, но не заменяющий его труд по изучению и идентификации кинематических индикаторов.

Комплекс полевых работ проведен на лицензионной площади юниорной компании ООО «Голд Майнинг» в ходе совместного проекта с предоставляющей финансирование компанией АО «Полиметалл».

Список литературы

1. Boric R., Holmgren C., Wilson N.S.F., Zentilli M. The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, Central Chile // Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective. Adelaide: PGC Publications, 2002. Vol. 2. P. 185–205.
2. Kojima S., Tristá-Aguilera D., Hayashi K. Genetic aspects of the manto-type copper deposits based on geochemical studies of North Chilean deposits // Resource Geology. 2009. Vol. 59. P. 87–98. DOI: 10.1111/j.1751-3928.2008.00081.x.
3. Sato T. Manto type copper deposit in Chile: a review // Bulletin of the Geological Survey of Japan. 1984. Vol. 3 (11). P. 565–582.
4. Волков А.В. Перспективы открытия месторождений меди типа «манто» на Северо-Востоке и в других регионах России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018. № 1. С. 3–19.
5. Шпикерман В.И., Мерзляков В.М., Лычагин П.П., Савва Н.Е., Гагиев М.Х., Ликман В.Б. Медное оруденение в ордовикских вулканитах на востоке Якутской АССР // Тихоокеанская геология. 1988. № 4. С. 55–64.
6. Петров С.В., Сычев С.Н., Задорожный Д.Н., Головина Т.А., Карнаухов О.Н., Шелухина Ю.С., Павлова М.А., Пономарева Н.И., Тихонова Н.В., Рогов А.В., Карнаухов А.С. Проект Агынджа – первое в России месторождение типа чилийского манто // Геологический вестник: Производственные и методические аспекты геологоразведочных работ. Электронное издание АО «Полиметалл УК». 2023, т. 14. С. 19-29.
7. Сычев С.Н., Задорожный Д.Н., Трифонов И.В., Федосеева К.А., Лебедева О.Ю., Кушнарева А.В., Петров С.В., Головина Т.А., Рогов А.В., Карнаухов О.Н., Андреева К.Р., Карнаухов А.С. Геолого-структурные условия локализации медного оруденения типа чилийского манто на проявлении Агынджа (Рассохинский террейн, Восточная Якутия) // Геология рудных месторождений, 2026 (в печати).
8. Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A.A. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. 22221. DOI: 10.1038/s41598-021-01763-9.
9. Сивков Д.В. Возможности LiDAR в современных смартфонах для геологического картирования мезомасштабных структур // Труды VI Международной геолого-геофизической конференции «Гео-Евразия-2023. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес». Тверь: ТвГУ, 2023. Т. 1. С. 78–82.
10. Кропачев А.П., Коновалов А.Л., Федорова Н.П. Медное оруденение на северо-западе Омулевского поднятия // Стратиформное оруденение Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. С. 98–110.

УДК 550.84:553.98

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫШЕВСКОЙ, ГОЛЬЧИХИНСКОЙ И ШУРАТОВСКОЙ СВИТ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Хасанова А.О.[1], Яшмолкин А.М.[2]
[1] студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, angelinacv173@gmail.com
[2] инженер-лаборант 1 категории, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, yashmolkin_am@pers.spmi.ru

Научный руководитель: Нефёдов Ю.В.
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры Геологии нефти и газа, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В работе представлены результаты комплексных геохимических исследований кернового материала потенциально нефтегазоматеринских гольчихинской и малышевской свит. Выполнены пиролитические исследования с определением доли свободных углеводородов (S1) и остаточного потенциала (S2) для всех изученных образцов. Дополнительно проведено определение содержания общего органического углерода (TOC). На основании суммарных значений параметров S1 и S2, а также содержания TOC выполнена классификация образцов по значению генерационного потенциала. В результате для каждой из свит отобраны наиболее репрезентативные образцы, характеризующиеся максимальными значениями генерационного потенциала, которые использованы для последующего анализа распределения н-алканов и расчёта битумоидного коэффициента.

Ключевые слова: Енисей-Хатангский региональный прогиб, имитация Rock-Eval, TOC, битумоидный коэффициент, малышевская, гольчихинская и шуратовская свиты.

Юго-западный сектор Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) является приоритетным объектом геологоразведочных работ на углеводороды в Арктической зоне. Согласно современным представлениям о геологическом строении региона, высокий потенциал нефтегазоносности связан с благоприятным сочетанием структурно-тектонических условий, особенностями осадконакопления и длительной эволюцией нефтегазогенерирующих систем [1–2]. В условиях истощения традиционной ресурсной базы и активизации освоения Арктики возрастает значимость исследований нефтегазонакопле-ния в пределах ЕХРП. Приоритетными направлениями являются геохимическое изучение нефтегазоматеринских толщ, оценка их генерационного потенциала, условий генерации углеводородов и факторов сохранности залежей на больших глубинах [3–5].

Объектом исследования являются отложения малышевской, гольчихинской и шуратовской свит Танамского и Пайяхского нефтегазоносных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Цель работы заключается в предварительной оценке нефтегазогенерационного потенциала исследуемых свит на основании комплекса органогеохимических исследований, выполненных на базе лаборатории глубинной метагеологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Исследования проводились на девяти пробах керна с месторождений Южно-Носковское, Пайяхское, Верхнекубинское, Соленинское: выполнялось первичное литологическое описание образцов, пиролитические исследования по методу-имитации Rock-Eval, определение содержания общего органического углерода (TOC), проведение экстракции на аппарате Сокслета, биомаркерный анализ [6–7].

По результатам первичного литологического описания установлено, что исследуемые образцы характеризуются преимущественно терригенным составом с преоблада

нием алевролитовой фракции. В ходе интерпретации результатов пиролитических исследований установлено, что пирограммы образцов, приуроченных к интервалам развития нефтегазоматеринских пород, характеризуются выраженной асимметрией: отмечаются повышенные значения параметра S1 при одновременном снижении, вплоть до полного отсутствия, интенсивности пика S2.

Для исследуемых образцов были определены значения общего органического углерода (TOC), а также выполнена комплексная классификация образцов в соответствии с объединённой классификацией [8], основанной на оценке общего генерационного потенциала (G = S1 + S2) и содержания TOC. На основе полученных значений Tmax были определены стадии зрелости органического вещества согласно классификации нефтематеринских пород [9-11].

На основе выполненного анализа для каждой свиты отобраны три наиболее репрезентативные пробы, для которых выполнен анализ распределения н-алканов. Дополнительно проведена экстракция в аппарате Сокслета для определения битумоидного коэффициента, характеризующего степень сингенетичности или эпигенетичности углеводородов в породах.

По результатам исследований установлено:

1. Анализ распределения н-алканов и степени катагенетической преобразованности показал, что юрско-меловые свиты характеризуются литолого-геохимической неоднородностью. В их составе присутствует как аквагенное, так и террагенное органическое вещество, а генерационный потенциал изменяется в широких пределах.

2. Значения битумоидного коэффициента свидетельствуют об обогащении репрезентативных образцов всех трёх свит органическим веществом миграционной природы (паравтохтонный битумоид). Это указывает на принадлежность исследованных проб к прослоям пород-коллекторов в пределах нефтегазоматеринских толщ, что подтверждается сочетанием низкого остаточного и высокого реализованного генерацион-ного потенциала.

Список литературы

1. Казаненков В.А. Геология, палеогеография и нефтегазоносность Малышевского горизонта (верхний байос–бат) Западной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2024. 585 с.
2. Конторович В.А.Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-во-сточных районов Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. 253 с.
3. Родченко А.П. Геохимия органического вещества верхнеюрских отложений северо-востока Западной Сибири и генезис меловых нефтей региона// Геология нефти и газа. 2016. № 6. 107–108 с.
4. Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Демин В.И. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней–средней юры Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Наука, 2005. 156 с.
5. Фурсенко Е.А., Бурухина А.И., Ким Н.С., Родченко А.П. Современные представления о геохимии органического вещества и нафтидов мезозойских отложений арктических районов Западной Сибири // Геохимия. 2021. Т. 66. № 12. 1077-1105 с. DOI: 10.31857/S0016752521120025.
6. Espitalie J., Deroo G., Marquis F. Rock-Eval pyrolysis and its applications // Revue de l'Institut Français du Pétrole. 1985. Vol. 40, No. 5. P. 563–579. DOI: 10.2516/ogst:1985035.
7. Behar F., Beaumont V., Penteado H.L.B. Rock-Eval 6 Technology: performances and developments // Oil & Gas Science and Technology. 2001. Vol. 56, No. 2. P. 111–134. DOI: 10.2516/ogst:2001013.
8. Большакова М.А., Ступакова А.В., Сауткин Р.С., Ситар К.А., Калмыков А.Г., Краснова Е.А., Пронина Н.В., Вайтехович А.П. О классификации нефтегазоматеринских пород. Георесурсы. 2025;27(2):54–63. DOI: 10.18599/grs.2025.2.5
9. Peters, K.E., Walters, C.C. and Moldowan, J.M. (2010) The Biomarker Guide Vol. 1: Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History. 2nd Edition, Cambridge University Press. DOI: 10.2516/ogst:1985035.
10. Tissot B.P., Welte D.H. Petroleum Formation and Occurrence. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 699 p.
11. Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. 2nd ed. New York: W.H. Freeman and Company, 1996. 743 p.

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗ ГЕНЕЗИСА СИЛЛА «ТРЕУГОЛЬНИК», АТАГСКИЙ ХРЕБЕТ

Цокова Б.Х.[1], Галушкина Е.Ю.[2]
[1] студентка СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия, anynwu@mail.ru
[2] к.г.-м.н., доц.кафедры «ПГиНГ», СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия, anynwu@mail.ru

Научный руководитель: Галушкина Е.Ю.
к.г.-м.н., доц.кафедры «ПГиНГ», СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия

Аннотация. Проведены комплексные геолого-петрографические и геохимические исследования силла «Треугольник», расположенного в пределах Атагского хребта (юго-восточное обрамление Сибирской платформы). Объект представляет собой субгоризонтальное расслоённое тело ультраосновного и основного состава, сложенное плагиолерцолитами, вебстеритами, плагиовебстеритами, габброноритами и серпентинитами. На основе изучения кернового материала, петрографического анализа (28 шлифов), химического и микроэлементного состава (30 проб) установлена закономерная последовательность кристаллизации: от плагиолерцолитов через вебстериты к оливиновым габброноритам.

Ключевые слова: силл «Треугольник», расслоённые ультраосновные интрузивы, плагиовебстериты, лерцолиты, фракционная кристаллизация, петрогенезис, медно-никелевая минерализация, коллизионная обстановка.

Введение. Изучение дайково-силловых комплексов основного и ультраосновного состава является одним из ключевых направлений современной петрологии, поскольку они выступают в качестве природных индикаторов эволюции мантийных источников, глубинных магматических камер и геодинамических обстановок. В мировой науке значительное внимание уделяется расслоенным интрузивам, в которых процессы фракционной кристаллизации, гравитационной дифференциации и взаимодействия расплава с вмещающими породами фиксируются в виде закономерной смены породных ассоциаций. Особый интерес вызывают высокомагнезиальные комплексы, ассоциирующие с малосульфидным медно-никелевым оруденением, поскольку они являются важными источниками стратегических металлов (Ni, Co, Pt, Cr).

Цель исследования – выявить особенности кристаллизации и обосновать модель генезиса силла «Треугольник» на основе комплексного анализа его геологического строения, петрографических особенностей и геохимических характеристик.

Задачи исследования:

1. Изучение геологическое строение и структурно-текстурные особенности пород силла «Треугольник».
2. Петрографическая диагностика и определение последовательность кристаллизации минеральных ассоциаций.
3. Установление геохимической специализации оруденения.

Методы. В основе исследования лежит комплексный подход, включающий полевые геологические наблюдения, петрографическое изучение пород, химический и микроэлементный анализ. В ходе работ были изучены керновый материал из скважин (С218, С227, С87 и др.) и образцы из канав (К101, К137, К138, К170), вскрывших силл «Треугольник» и вмещающие породы. Общая коллекция составила более 30 образцов, из которых изготовлены прозрачные шлифы.

Анализ данных. Полученные результаты обработаны с использованием методов сравнительной петрографии, построены диаграммы распределения химических элементов, проведена корреляция между составом пород и их положением в разрезе силла. А также построены петрохимические диаграммы (Ti/Zr – Al_2O_3/TiO_2, Nb/Y – Zr/Y) для реконструкции геодинамических условий формирования и анализа кристаллизационной эволюции.

Результаты. Геологическое строение и тектоническая позиция силла. «Треугольник» имеет пластовую форму, субгоризонтальное залегание (до 10–20°) и блоковое строение, обусловленное серией крутопадающих разломов северо-западного простирания (135–315°). Амплитуда смещений блоков достигает 10–50 м, суммарная оценка – 160–180 м.

Установлено структурное несогласие: дайки андезитов и гранит-порфиров позднемелового возраста залегают резко секуще по отношению к гнейсовидности метагаббро, а система субвертикальных разрывов формирует мозаичную структуру с полигональной морфологией блоков.

Петрографические особенности кристаллизации пород силла

В разрезе интрузии выделены четыре генетические группы пород, отражающие последовательность кристаллизации: габброидная (метагаббро, габбронориты), пироксенитовая (вебстериты, плагиовебстериты), ультрамафитовая (лерцолиты, верлиты, гарцбургиты) и серпентиниты.

Для вебстеритов и плагиовебстеритов характерны панидиоморфнозернистая и микропойкилитовая структуры (включения шпинели, плагиоклаза и диопсида в гиперстене), свидетельствующие о последовательной кристаллизации минералов. Плагиолерцолиты демонстрируют ламели паргасита как продукты высокотемпературного распада клинопироксенов.

Химический состав пород характеризуется преобладанием Na_2O над K_2O, высокими содержаниями MgO (до 15–19% в вебстеритах и серпентинитах), Ni (до 1,28% в вебстеритах) и Cr, что указывает на пикробазальтовый генезис магмы и её мантийное происхождение.

Кристаллизационная эволюция и модель формирования силла «Треугольник»:

Установлена закономерная смена пород от плагиолерцолитов и вебстеритов до оливиновых габброноритов, что интерпретируется как результат фракционной кристаллизации единого родоначального расплава. Первичная магма соответствует высокомагнезиальному низкотитанистому вебстериту и плагиолерцолиту.

Предложена гипотеза формирования силла «Треугольник»: дифференциация единого магматического очага в глубинных промежуточных камерах с последующей инъекцией пикритового расплава в верхние коровые горизонты и образованием межпластового габбро-перидотитового тела.

Анализ ксенолитов плагиолерцолитов в габброидной зоне подтвердил их генетическую связь с породами силла и полифазный характер его формирования.

Геодинамические условия образования интрузий Атагского хребта:

На петрохимических диаграммах составы ультрамафитов силла «Треугольник» частично попадают в поля океанических ассоциаций (N-MORB) и базальтов островных дуг, что свидетельствует о двойном характере геодинамической обстановки – с признаками как субдукционных, так и несубдукционных условий.

Выводы о генезисе и практическое значение

1. Комплексные геолого-петрологические исследования силла «Треугольник» позволили установить эволюционный ряд пород (плагиолерцолиты → вебстериты → оливиновые габбронориты) как результат фракционной кристаллизации единого расплава, что определяет особенности его кристаллизационной истории.

2. На сопредельных площадях силла «Треугольник» в условиях сжатия происходило развитие даек и расслоенных интрузивов, а на близком расстоянии, в условиях внутриконтинентального растяжения, формировались ультрамафиты палеорифтовой структуры. Совмещение разновозрастных комплексов произошло в результате столкновения микроконтинента и обрамляющей его островной дуги.

3. Результаты исследований могут быть использованы при дальнейшем изучении Атагского хребта и способствовать пересчету запасов медно-никелевой минерализации в близлежащих месторождениях и проявлениях, включая перспективы развития интрузий в южном направлении.

Список литературы

1. Арзамасцев А.А., Федотов Ж.А., Арзамасцева Л.В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с. Ветрин В.Р. Геология и геохимия неоархейского субщелочного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // ЗРМО. 2018. № 3. С. 1-15.
2. Баженова Г., Геншафт Ю. Петромагнитные характеристики и рудные минералы кристаллических пород нуклеара // Физика Земли. – 2001. – № 6. – С. 73–82.
3. Бочарникова Т.Д., Холоднов В.В., Воронина Л.К. (2005) Закономерное изменение состава ильменита и магнетита из рудных залежей в разрезе Кусинского габбрового массива. Ежегодник -2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 313-317.
4. Ветрин В.Р. Изотопно-геохимическая систематика (Sm-Nd, Lu-Hf) неоархейских субщелочных и щелочных пород Кейвской структуры (Кольский полуостров): возрастные и генетические соотношения // ЗРМО. 2018. № 4. С. 1-13.
5. Ветрин В.Р., Родионов Н.В. Геология и геохронология неоархейского анарогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // Петрология. 2009. Т.17. С. 578–600.
6. Галушкина Е.Ю., Кокоев Д.А., Петрографические исследования и анализ генезиса Сангутидонской неоинтрузии (Центральный Кавказ) // Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции. Владикавказ, 2021. С. 30-32.
7. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Хесс Ю.С. Нижнеюрский островодужный базальт-андезит-дацитовый магматизм Центрального Кавказа (Карачаевская вулканическая область): петролого-геохимические и изотопные особенности, генезис // Вестник Владикавказского научного центра РАН и Правительства республики Северная Осетия-Алания. 2011. Т.11. № 2. С. 15–32.
8. Кайгородова Е.Н., Лебедев В.А., Карташов П.М., Ковальчук Е.В., Чугаев А.В. Осумилитсодержащие лавы Кельского нагорья (Большой Кавказ): петролого-геохимические характеристики, минеральный состав и условия образования магматических расплавов. Петрология. 2024. Т. 32. № 5. С. 552-585.
9. Протопопов Р.И. Проблема выделения кестёрского комплекса редкометалльных гранитов (малых интрузий) // Вестник Госкомгеологии. –2014. – № 1 (13). – С. 47–52.
10. Соболева В.Н. Материалы к минералогии месторождения Кестёр из бассейна реки Яны //Материалы по геологии Северо-Востока СССР. –Магадан, 1949. – Вып. 6. – С. 40–65.
11. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М. : Наука,1977. – 279 с.
12. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Зайцев А.И., Роев С.П. Высокофосфоритистые литий-фтористые граниты Восточной Якутии (Верхояно-Колымская орогенная область) // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 1. – С. 86–101.
13. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М.: «Научный мир», 365 с. Штейнберг Д.С., Кравцова Л.И., Варлаков А.С. (1959) Основные черты геологического строения Кусинской габбровой интрузии и залегающих в ней рудных месторождений. Труды горно-геологического института, (40), 13-40.
14. Яковенчук В.Н., Пахомовский Я.А., Коноплёва Н.Г., Паникоровский Т.Л., Михайлова Ю.А., Бочаров В.Н., Кривовичев С.В., Иванюк Г.Ю. Епифановит -новый минерал из месторождения Кестёр (Саха-Якутия, Россия) // Записки Российского минералогического общества. – 2017. – Т. 146, № 3. –С. 30–39.

УДК 550.8.053

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТНЫХ РАЗРЕЗОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТРАДИЦИОННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И РАСПРЕДЕЛЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (DAS) МЕТОДОМ MASW

Юнюшина Д.С.
студент группы РФН-23,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, yunyushina_daria@internet.ru

Научный руководитель: Горелик Г.Д.
кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе представлен сравнительный анализ результатов работ с датчиками распределённого акустического зондирования (DAS) и электродинамическими приёмниками GS-ONE в составе сейсморегистрирующей системы ТЕЛСС-403. Полевой эксперимент проведён на территории палеодолины в береговой зоне Финского залива вблизи г. Сестрорецк с использованием трёх конфигураций оптоволоконного кабеля. Обработка выполнялась методом MASW. Установлено, что DAS эффективен для метода MASW благодаря высокой пространственной дискретизации. Технология рекомендована как дополнение к классическим методам.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, палеодолина, спиральный оптоволоконный кабель, прямой оптоволоконный кабель с кольцами, оптический шаг, анизотропия чувствительности датчика, продольные деформации.

Современная геофизика стремится к повышению детальности исследований при оптимизации затрат, перспективным решением этой проблемы становится метод распределённого акустического зондирования (Distributed Acoustic Sensing, DAS), который использует стандартные или специализированные оптоволоконные кабели в качестве непрерывных линейных массивов сейсмических сенсоров [1, 2]. Отсутствие унифицированной методики интерпретации и неопределённость в соотношении оптических параметров с характеристиками традиционных датчиков обуславливают необходимость верификации технологии относительно устоявшихся методов и проведения полевых экспериментов [2, 3]. Цель работы – проведение сравнительного анализа полевых данных, полученных при помощи DAS в составе программно-аппаратного комплекса (ПАК) «Агидель» и электродинамических сейсмоприёмников GS-ONE в составе сейсморегистрирующей системы ТЕЛСС-403. Задачи включают валидацию технологии и оценку влияния конфигурации оптоволокна на качество регистрируемого сигнала. Выбор полигона (палеодолина в береговой зоне Финского залива вблизи г. Сестрорецк) обусловлен высокой степенью его геологической изученности и наличием ранее проведенных геофизических, в том числе сейсмических работ [4, 5, 6].

Принцип действия DAS основан на явлении изменения рэлеевского рассеяния на внутренних неоднородностях оптоволокна, возникающего при внешних механических воздействиях. Анализ фазового сдвига обратного излучения позволяет определить величину деформации, а анализ временной задержки – координату события. Ключевой физической особенностью метода является анизотропия чувствительности: оптоволоконный кабель регистрирует преимущественно продольные относительно своей оси деформации. Пространственная дискретизация системы характеризуется параметром «оптический шаг», размер которого определяется частотой дискретизации анализирующего устройства. «Оптический шаг» представляет собой расстояние между соседними каналами DAS, являющимися интегральной мерой деформации на участке волокна и в случае использования ПАК «Агидель» составляет 1,21 м [7]. «Оптический шаг» соответствует пространственному шагу на прямом оптоволоконном кабеле, однако при спиральной намотке волокна шаг по пространству зависит от угла витка и в нашем случае составляет 0,52 м.

Экспериментальная часть включала одновременную регистрацию волнового поля сейсморегистрирующей системой ТЕЛСС-403 и ПАК «Агидель». На профиле была приготовлена траншея для обеспечения акустического контакта оптоволоконной линии с грунтом глубиной порядка 30 см и длиной 300 метров. В неё были параллельно уложены три типа кабелей, сваренных в единую линию: прямой кабель, прямой с кольцами и спиральный. Первый является базовой конфигурацией, чувствительной преимущественно к деформациям, направленным вдоль его оси. Кольца на кабеле расширяют азимутальный охват регистраций волн, однако система остается нечувствительной к колебаниям, вектор смещения частиц которых перпендикулярен линии профиля. Увеличение количества датчиков на единицу расстояния и суммирование фазовых сдвигов витков кольца позволяют повысить отношение сигнал/шум и локально усилить чувствительность системы к слабым воздействиям. Спиральный кабель обеспечивает регистрацию разнонаправленных волн за счет витковой геометрии, так как деформации грунта проецируются на ось волокна в ненулевое значение независимо от азимута прихода волны [8]. После укладки кабелей траншея была засыпана грунтом и утрамбована, непосредственно над ней по линии профиля были установлены полевые модули ТЕЛСС-403 с шагом 2 метра. Сейсмическое возбуждение осуществлялось ударами кувалды по металлической плашке с шагом 4 метра, наблюдения с сейсморегистрирующей системы ТЕЛСС-403 производились по конвейерной технологии. Обработка результатов полевого эксперимента производилась методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW).

Сопоставление материалов выявило различия в информативности данных. При обработке методом MASW технология DAS продемонстрировала высокую эффективность. Шаг пространственной дискретизации 0,52 м обеспечивает плотную запись волнового поля, недостижимую для традиционных расстановок без увеличения затрат.

Проведенные работы подтверждают высокий потенциал метода DAS в инженерной сейсморазведке, технологию целесообразно использовать как дополнение к классическим методам для малоглубинных исследований и мониторинга. Препятствиями для массового внедрения остаются отсутствие отлаженной методики проведения работ и стандартизированных алгоритмов обработки. Перспективные направления исследований включают оптимизацию геометрии укладки оптоволокна для повышения чувствительности к поперечным относительно оси кабеля волнам, разработку методов обработки сигналов DAS.

Благодарности: *автор выражает благодарность Е.И. Грохотову и М.В. Костенко за содействие в организации и проведении полевого эксперимента. Особую признательность автор приносит сотрудникам компании ООО «Т8» Г.Х. Ашкару, Э.А. Фомирякову, И.С. Пономареву за техническое сопровождение и экспертную поддержку на всех этапах работы.*

Список литературы

1. Кислов К.В., Гравиров В.В. Обзор перспективных использований распределенного акустического зондирования // Наука и технологические разработки. – 2023. – Т. 102, № 4. – С. 4–37.
2. Применение волоконной оптики в геофизике // Наука и технологические разработки. – 2025. – Т. 104, № 1. – С. 4–28.
3. Никитин С.П., Кислов К.В., Старовойт Ю.О. и др. Возможности и перспективы использования распределенных волоконных датчиков в геофизике // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 5. – С. 854–859.
4. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. 2011. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. Развитие городов и геотехническое строительство, 1:1–47. http://www.urban-development.ru/2011/2.pdf
5. Буданов Л.М., Сенчина Н.П., Шнюкова О.М., Горелик Г.Д. Исследование палеоразреза с помощью гравиметрических наблюдений. Геосистемы переходных зон, 2020, т. 4, № 3, с. 288–296. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.3.288-296
6. Горелик Г. Д., Буданов Л. М. Опыт применения малоглубинных многоканальных сейсмических исследований МОВ-ОСТ для уточнения внутренней структуры погребенной палеодолины // Инженерная и рудная геофизика (EAGE). – 2019. – DOI: 10.3997/2214-4609.201901777.
7. Li, Y., et al. (2020). Directional sensitivity of fiber-optic distributed acoustic sensing. Geophysics, 85(1), P1–P13. DOI: 10.1007/s40948-025-00972-0
8. Чугаев А.В., Тарантин М.В. Амплитудно-частотный отклик распределенного акустического сенсора DAS со спиральной намоткой волокна. Горные науки и технологии. 2023;8(1):13-21. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-10.

Секция 3. ЭКОЛОГИЯ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИОННО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Амер Адам Мохамед М.Е., Алексашин А.В.
магистрант, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, adham.elbaz114@gmail.com

Научный руководитель: Тихомирова Е.И.
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология и техносферная безопасность», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия.

Аннотация. Целью работы являлась разработка технологических решений для применения сорбционно-биологических методов рекультивации нефтезагрязненных земель с использованием гуминового органо-минерального детоксиканта. Проведены сравнительные полевые испытания традиционных приемов рекультивации нефтезагрязненных земель и сорбционно-биологической технологии с использованием разработанного композиционного препарата, с системой мониторинга контрольных анализов. На основании полученных результатов химико-аналитического исследования образцов почв с разных площадок показано, что применение гуминового органо-минерального детоксиканта в сочетании с технологическими агроприемами более эффективно по сравнению с другими вариантами биоремедиации.

Ключевые слова: нефтезагрязненные почвы, технологии рекультивации, биоремедиация, сорбционно-биологическая очистка.

Введение. В различных почвенно-климатических условиях концентрация нефти, при которой почвы можно считать загрязненными, различна. Она зависит от природных условий, способности конкретного вида почв к самоочищению, от вида и скорости распада нефти и ее токсичности [1, 2]. Показатели очистки грунта, которые можно считать окончательными, позволяющими прекратить очистку и использовать грунт по назначению, зависят от его дальнейшего использования [3, 4]. Каждая утвержденная технология рекультивации нефтезагрязненных почв требует проведения большого комплекса научных исследований, основным критерием которых должна быть оценка эффективности восстановления процессов самоочищения, а не только достижение минимальной концентрации загрязнителя (5, 6). В этой связи актуальным является совершенствование технологии рекультивации нефтезагрязненных земель с использованием современных энергоэффективных и экологически чистых технологий.

Целью работы являлась разработка технологических решений для применения сорбционно-биологической технологии рекультивации нефтезагрязненных земель с использованием гуминового органо-минерального детоксиканта (ГМД), и сравнительная оценка их эффективности.

Методы. В процессе выполнения работы был проведен анализ современных технологии рекультивации нефтезагрязненных территорий с использованием гуматов, природных и модифицированных сорбентов, биопрепаратов; технологий детоксикации буровых шламов и их использования в рекультивации почв [7, 8]. Проведены полевые испытания эффективности сорбционно-биологической технологии рекультивации нефтезагрязненных земель с использованием гуминового органо-минерального детоксиканта (9) в сравнительном аспекте с традиционными технологиями и системой мониторинга контрольных анализов.

Результаты. На подготовительном этапе на основании результатов лабораторных испытаний эффективности разработанного композиций ГМД определили необходимые концентрации и объемы для их испытаний в экспериментально загрязненной почве в естественных условиях. Были предусмотрены также технологии активизации почвенных микроорганизмов и технологические агроприемы внесения биопрепаратов. В ходе подготовки были проанализированы следующие подходы:

– создание необходимых условий (подготовку почвы, аэрацию, полив, внесение удобрений и т.д.) для активизации аборигенных микроорганизмов с учетом особенностей типа почвы (чернозема обыкновенного;

– возможность применения разработанного ГМД с использованием оборудования и техники из арсенала сельскохозяйственных предприятий;

– использование планшетного ПК и прикладного программного обеспечения для сбора и обработки данных, дифференцированного проведения агротехнических решений с учётом неоднородности характеристик в пределах загрязненного земельного участка.

Проведение экспериментальных исследований в полевых условиях: после искусственного внесения в почву загрязнителя проводили культивацию для равномерного распределения в слое почвы глубиной 0,1 м и одновременно для создания благоприятных условий внесения различных препаратов. Для сорбции загрязнителя частицами почвы участки экспонировали в течение 3 суток.

При последующей обработке почвы вносили минеральные удобрения, проводили рыхление, полив (методом дождевания) для создания благоприятных условий в почве и адаптации и активизации внесённых в нее деструкторов. Через трое суток было произведено рыхление почвы культиватором–окучником для равномерного распределения действующего вещества в почве на глубину 10 см.

С участков были отобраны образцы почв на определения остаточного содержания загрязнителя. В течение всего времени полевых исследований проводили следующие мероприятия с целью контроля условий эксперимента:

– ежедневное измерение влажности и температуры почвы на всех участках;

– ежедневная регистрация климатических показателей в полевом журнале;

– проведение мероприятий для защиты участков от незапланированного поступления воды в виде осадков.

Отбор образцов почв с экспериментальных участков проводили:

– для определения изменения концентрации загрязнителя в почве на 0, 7, 14, 21, 30 сутки;

– для определения титра общего количества микроорганизмов: 1 и 30 сутки;

– для проведения токсикологических исследований (биотестирования): 1 и 30 сутки.

Отбор образцов почв на все виды исследований проводили согласно нормативным документам.

Эффективность использованной технологии и агроприемов оценивали по совокупности показателей, полученных при анализе химических, микробиологических и токсикологических данных. Определение концентрации нефтепродуктов в почве экспериментальных участков проводилось общепринятым методом.

Установлено, что применение агроприемов без использования препаратов (участок № 2) не оказало заметного влияния на изменение концентрации загрязнителя в почве по сравнению с контрольным участком № 1. На участках № 1 и № 2 концентрация загрязнителя снизилась незначительно по сравнению с участками № 3 и № 4, где были применены технологии рекультивации с использованием удобрений для активизации аборигенных микроорганизмов и агроприемов. Лучше процессы рекультивации наблюдались на участке № 4. Следовательно, эффект снижения концентрации нефтепродуктов в почвах

связан не только с сорбцией загрязнителя, а еще является следствием применения биотехнологических агроприемов, обеспечивающих деятельность микроорганизмов – деструкторов. Значительный эффект снижения концентрации ксенобиотика отмечен для участка № 5, где был дополнительно использован препарат ГМД.

Заключение. Таким образом, на основании полученных результатов химического анализа образцов почв показано, что применение разработанного гуминового органо-минерального детоксиканта в сочетании с технологическими агроприемами более эффективно по сравнению с другими вариантами процессов биоремедиации [10].

Разработанные и предложенные технологические решения позволяют существенно сократить экономические и временные затраты на рекультивацию нефтезагрязненных почв и грунтов. Эффективность их применения подтверждена комплексом полевых исследований и разработанными рекомендациями.

Работа выполнена в рамках основных научных направлений СГТУ имени Гагарина Ю.А., тематики НИР 15В кафедры «Экология и техносферная безопасность» «Совершенствование технологий мониторинга и прогнозирования состояния антропогенно нарушенных территорий, предотвращения и ликвидации их загрязнений» с 2022-2025 гг. на базе научно-образовательного центра (НОЦ) «Промышленная экология» и Испытательного аккредитованного лабораторного центра (ИЛЦ) «ЭкоОС».

Список литературы

1. Васильев, А.В. Анализ и оценка загрязнения биосферы при воздействии нефтесодержащих отходов: монография– Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2022. – 106 с.
2. Зволинский В.П., Батовская Е.К., Черных Н.А. Влияние нефти и нефтепродуктов на свойства почв и почвенные микроорганизмы // Агрохимический вестник, 2005. – С. 22-28.
3. Восстановление нефтезагрязнённых почвенных систем / под ред. М.И. Глазовской. – М.: Наука, 1988. – 254 с.
4. Мурзаков Б.Г. Экологическая биотехнология для нефтегазового комплекса – М., 2005. – 200 с. Андерсон Р.К.
5. Биотехнологические методы ликвидации загрязнений почв нефтью и нефтепродуктами – М.: ВНИИОЭНГ, 1994. – 24 с.
6. Киреева Н.А. Биодеструкция нефти в почве культурами углеводородокисляющих микроорганизмов / Н.А. Киреева // Биотехнология, 1996. № 1. – С.51-54.
7. Логинов О.Н., Бойко Т.Ф., Костюченко В.П., Комаров С.И. О биологической очистке технологических отвалов от нефтепродуктов // Почвоведение, 2002. №4. – С.481-486.
8. Карпухин К.Ю., Алексашин А.В., Кошелев А.В. Гуминовый органо-минеральный детоксикант для биологической ремедиации почв // Экологические проблемы природо– и недропользования: Труды междунар. молодежной науч. конф. / Под ред. В.В. Куриленко – СПб.: СПбГУ, 2019. Том XIX. С. 161-165.
9. Кошелев А.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Алексашин А.В. Патент на изобретение № 2762366 РФ «Способ получения гранулированного гуминового детоксиканта», дата регистрации в ГРИ 20.12.2021 по заявке № 2020134711 от 21.10.2020. 5 с.
10. Тихомирова Е.И., Алексашин А.В., Кошелев А.В., Атаманова О.В. Разработка технологических решений и способов получения гумино-минеральных композиций для задач рекультивации нефтезагрязнённых территорий // Теоретическая и прикладная экология, 2020. №4. С. 203-209. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-203-209.

УДК 502.3:621.928

МУЛЬТИВИХРЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР-ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Вдовина В.А.*, Зинуров В.Э.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Россия
** vik.ktor.ria@mail.ru*

Научный руководитель: Зинуров В.Э.
к.т.н., и.о. зав. каф. «Инженерная графика», ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Россия

Аннотация. Внедрение газотурбинных установок (ГТУ) в когенерационные циклы на горно-обогатительных комбинатах (ГПЗ) является ключевым направлением в повышении энергоэффективности. Это создает спрос на комплексные решения по очистке газа: защита турбин от абразивной пыли во всасываемом воздухе и, возможно, очистка выхлопных газов для рекуперации тепла. В данной статье представлен многовихревой классификатор-пылеуловитель, который обеспечивает более четкую границу разделения частиц на фракции по сравнению со стандартным циклоном, что доказано CFD-моделированием. Устройство обеспечивает целенаправленное удаление наиболее мелких фракций абразива (PM2,5-PM10) для защиты оборудования GTU и позволяет отделять и извлекать ценные компоненты из улавливаемой пыли. Полученные результаты позиционируют ИТ как ключевой элемент для создания замкнутых технологических систем, сочетающих в себе энергоэффективность, защиту оборудования и извлечение ресурсов при управлении недрами.

Ключевые слова: газотурбинная установка (ГТУ), инженерная экология, пылеулавливание, мультивихревой классификатор, воздушная классификация, фракционная эффективность, CFD-моделирование, абразивный износ.

Повышение энергоэффективности горно-обогатительных комбинатов (ГОК) напрямую связано с внедрением когенерационных циклов на базе газотурбинных установок (ГТУ) [1, 2]. Однако эффективная утилизация тепла выхлопных газов и долговечность самой турбины требуют качественной подготовки двух ключевых потоков: очистки забортного воздуха от абразивной пыли и, потенциально, очистки выхлопа перед котлом-утилизатором. Традиционные циклоны не обеспечивают необходимой селективности для решения этих сопряжённых задач [3, 4]. Цель работы – обоснование преимуществ мультивихревого классификатора-пылеуловителя для создания интегрированной системы очистки, обеспечивающей защиту ГТУ и возможность рекуперации ресурсов.

Авторами разработана конструкция аппарата, принцип работы которого основан на формировании системы вихрей в межтрубном пространстве для сепарации мелкодисперсных порошков [5]. Запыленный поток, проходя по внутренней трубе, через щели поступает в кольцевой канал, где создаются стабилизированные вихри. Благодаря центробежным и инерционным силам происходит эффективное разделение частиц по размеру. Проведено CFD-моделирование процессов в новом аппарате и стандартном циклонном сепараторе при идентичных условиях (плотность частиц 1000 кг/м³, скорость на входе 15 м/с) [6, 7].

Моделирование подтвердило формирование вихревой структуры. Сравнение фракционных кривых эффективности (рис. 1.) показало, что кривая для классификатора имеет более крутой наклон в области граничного размера d_{50}, что свидетельствует о более резкой границе разделения.

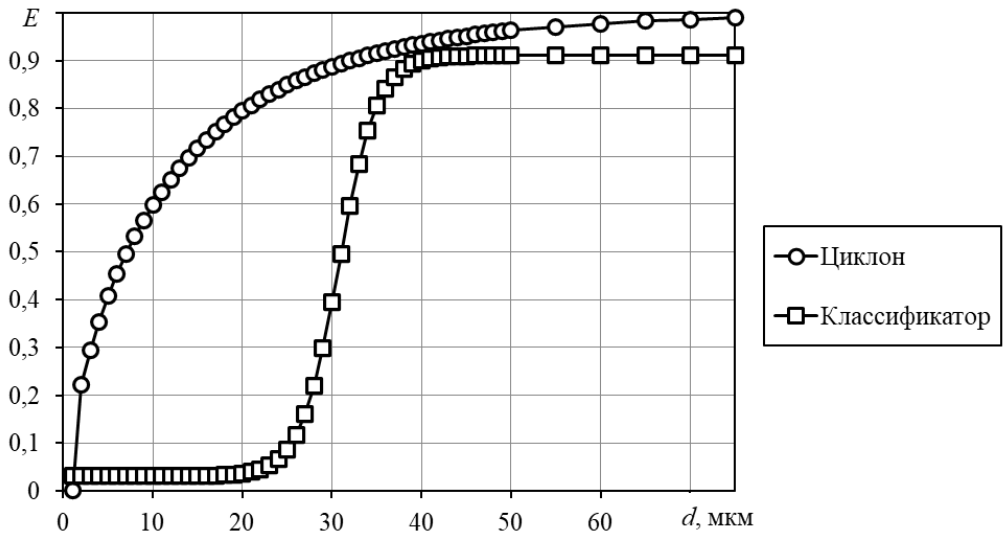


Рис. 1. Зависимость эффективности фракционирования от размера частиц для циклона и классификатора

Полученный результат объясняется иной организацией потока, обеспечивающей перераспределение частиц по сравнению с классической циклонной схемой [8]. Это позволяет настраивать аппарат на выделение целевой фракции, например, наиболее абразивной фракции PM2.5-PM10 для защиты ГТУ на входе или товарной тонкодисперсной фракции для рекуперации из уловленной пыли [9, 10]. Таким образом, аппарат приобретает функцию технологического классификатора в дополнение к очистной.

Предлагаемый мультивихревой классификатор-пылеуловитель обеспечивает необходимое для современных ГОКов селективное разделение. Его практическая значимость и причина внедрения заключаются в возможности создания замкнутого технологического и экологического цикла когенерационной установки. Аппарат становится ключевым звеном, которое: гарантирует защиту ГТУ от абразивного износа путём глубокой очистки воздуха на входе, обеспечивает ресурсосбережение за счёт извлечения полезных компонентов из уловленной пыли для возврата в производство и открывает перспективу для очистки выхлопных газов с целью повышения эффективности утилизации тепла. Это делает его не просто пылеуловителем, а элементом системы, напрямую влияющим на энергетическую и экономическую устойчивость предприятия.

Работа выполнена в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025г.

Список литературы

1. Матвеенко В.Т. Когенерационные газотурбинные установки с турбокомпрессорным утилизатором для локальных объектов энергопотребления: специальность 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Матвеенко Валерий Тимофеевич. – Киев, 2000. – 37 с.

2. Ануров Ю.М., Дубинин А.Б., Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А. Особенности использования когенерационных регенеративных ГТУ в системах теплоснабжения ЖКХ // Развитие технических наук в современном мире: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Воронеж, 11 декабря 2016 года. Том Выпуск III. – Воронеж: Инновационный центр развития образования и науки, 2016. – С. 29-32.

3. Новиков Л.М., Стефаненко В.Т., Новиков К.Л. [и др.]. Исследование фракционной эффективности прямоточного циклона НВГК и противоточного циклона ЦН-15 при разных скоростях очищаемого газа // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2008. – № 7(1303). – С. 56-58.

4. Голованчиков А.Б., Сафонов Е.В., Карпова О.В. Вероятность улавливания частиц в циклоне и в батарее циклонов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2000. – Т. 43, № 6. – С. 77-80.

5. Патент на полезную модель № 238025 U1 Российская Федерация, МПК B01D 45/06, B04C 5/103. мультивихревой пылеуловитель-классификатор: заявл. 05.08.2025: опубл. 16.10.2025 / М. А. Прец, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. А. Вдовина; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ».

6. Кочетов О.С., Сошенко М.В., Зубкова В.М. Циклонные пылеуловители систем очистки выбросов // ЗАКОНОМЕРНОСТИ и ТЕНДЕНЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 6 частях, Магнитогорск, 20 декабря 2017 года. Том Часть 3. – Магнитогорск: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017. – С. 66-68.

7 Попкова О.С., Баязитова Н.И. Численное моделирование циклонного сепаратора // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 74-4. – С. 79-82.

8. Сокова К.А., Пилипенко Е.А., Седляров О.И. Моделирование и исследование циклонных аппаратов: от классических конструкций к новым многоступенчатым системам // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): Материалы Молодежной программы 29-ой Международной специализированной выставки-форума, Москва, 14 ноября 2025 года. – Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2025. – С. 194-197.

9. Курило И.И., Дроздович В.Б., Жарский И.М. Электрохимическая рекуперация и тонкая очистка алмазных порошков // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Труды второй научно-технической конференции, Гродно, Беларусь, 20–21 января 1997 года. Том Часть 2. – Гродно, Беларусь: Отдел проблем ресурсосбережения Академия наук Беларуси, 1997. – С. 288-296.

10. Богатырева Г.П., Мяринич М.А., Базалий Г.А. [и др.]. Влияние методов рекуперации графитов на свойства синтезированных на их основе алмазов // Вісник Одеського національного університету. Хімія. – 2010. – Т. 15, № 2-3. – С. 69-74.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗДЕЛЕНИЕ НЕФТЕШЛАМОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПРИ ИХ УТИЛИЗАЦИИ

Галеев Р.Р.
аспирант 2 г.о.,УУНиТ, Уфа, Россия, galeevr93@gmail.com

Научный руководитель: Зиннатуллин Р.Р.
к.т.н., ведущий инженер кафедры прикладной физики, УУНиТ, Уфа, Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние электромагнитного поля различной частоты на процесс разделения сложных водонефтяных эмульсий. Были проведены эксперименты при удельной мощности 0,72 Вт/см³. Установлено, что высокочастотное воздействие (1–15 МГц) обеспечивает быстрое осаждение дисперсной фазы, тогда как низкочастотный диапазон (100 Гц – 500 кГц) позволяет достичь максимального выхода свободной воды при частоте 500 Гц. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологий разрушения стойких водонефтяных эмульсий и переработки нефтешламов.

Ключевые слова: водонефтяные эмульсии, нефтешламы, электромагнитное поле, низкочастотное воздействие, высокочастотное воздействие, коалесценция, разделение фаз.

Введение. Нефтегазовая отрасль является одной из самых значимых в мировой экономике, и эффективность добычи напрямую зависит от качества подготовки скважинной продукции и используемого оборудования. Одной из наиболее острых проблем в этой сфере остается образование и накопление стойких водонефтяных эмульсий и нефтешламов, которые представляют серьезную экологическую угрозу и осложняют процессы транспортировки и переработки [1, 2].

Стабильность таких эмульсий обусловлена сложным составом нефти и наличием прочных бронирующих оболочек вокруг капель воды, состоящих из асфальтенов, смол и парафинов [3], дополнительное осложнение вызвано наличием твердых включений, таких как: песок, глина, грунт [4]. Традиционные методы разделения, такие как гравитационное отстаивание или механическое центрифугирование, часто оказываются недостаточно эффективными, медленными или требуют значительных эксплуатационных затрат [5, 6].

В современных условиях актуальным направлением является разработка инновационных комплексных технологий, сочетающих различные физико-химические воздействия. [7,8] Одним из перспективных направлений является электромагнитное фазоразделение с использованием низкочастотного (НЧ) и высокочастотного (ВЧ) полей, позволяющее эффективно разрушать бронирующие оболочки глобул дисперсной фазы в зависимости от содержания воды и полярных компонентов нефти [9]. Результат достигается за счет применения неоднородных электрических полей, использующих диэлектрофоретические силы для принудительного сближения и укрупнения капель воды [10].

Целью данной работы является анализ и определение оптимальных параметров электромагнитных полей для совершенствования методов разрушения стойких водонефтяных эмульсий и нефтяных шламов, чтобы повысить интенсификацию нефтедобычи, сократить времени технологических процессов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Методы. В качестве объекта исследования была использована модельная эмульсия типа вода в масле с включениями твердых частиц. Дисперсионной средой выступало трансформаторное масло с добавлением неионогенного поверхностно-активного вещества моноолеат сорбитана Span 80 в массовой доле 0.05%, дисперсной фазой была вода, очищенная системой обратного осмоса, в массовой доле 40%, также в систему добавлялась глина, предварительно вымоченная в масле, с массовой долей 10%. Система перемешивалась с помощью верхнеприводной мешалки в течении 5 минут при 1500 об/мин.

Для экспериментального исследования влияния электромагнитного поля на разделение нефтешламовых эмульсий была спроектирована и собрана прозрачная экспериментальная ячейка на основе проводящих стекол с напылением оксида индий-олова (ITO).

На стеклах были вытравлены электроды специальной формы методом фотолитографии и мокрого травления. Генератор электромагнитного поля, подключенный к ячейке, работал на удельной мощности 0,72 Вт/см³ во всех экспериментах. Выбор мощности ЭМП был обусловлен необходимостью эффективно влиять на диэлектрические параметры эмульсии, сводя к минимуму тепловые эффекты и исключая пробой электродов.

Результаты. Экспериментально установлено, что наиболее эффективное выделение дисперсной фазы с механическими примесями достигается при частоте ЭМП 15 МГц, однако образование чистого водного слоя в этом случае не фиксируется. Поэтому дальнейшие исследования были проведены в низкочастотном диапазоне (100 Гц – 10 кГц). Для использованной конфигурации ячейки наибольший объем чистой воды выделяется при частоте 500 Гц. Эффективность воздействия поля снижается из-за возникновения тока утечки между электродами через формирующийся слой проводящей водной фазы. Перспективным решением данной проблемы представляется организация системы непрерывного или циклического удаления выделяющейся воды из рабочей зоны.

Обсуждение. В работе приведено обоснование эффективности управляемого электромагнитного воздействия как ключевого фактора интенсификации фазоразделения сложных нефтешламовых эмульсий, с акцентом на различие механизмов действия в низко- и высокочастотных диапазонах. Полученные результаты логично интегрируются в современное направление разработки комбинированных физико-химических методов обработки нефтяных систем, расширяя представления о механизмах электромагнитного воздействия и предлагая практико-ориентированные решения для повышения эффективности технологий подготовки нефти.

Заключение. Таким образом, высокочастотное воздействие (1–15 МГц) интенсифицирует седиментацию без образования чистого водного слоя, тогда как низкочастотный диапазон (100 Гц–500 кГц) обеспечивает максимальное выделение свободной воды при 500 Гц, причем наибольшая эффективность процесса достигается после отключения поля вследствие коалесценции предварительно сконцентрированных в областях максимальной напряженности капель, а оптимальный режим разделения реализуется при низкой частоте и удельной мощности 0,72 Вт/см³, обеспечивающей интенсификацию без термического разрушения системы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00181, https://rscf.ru/project/25-27-00181/.

Список литературы

1. Склярова А., Бурлака С. Д. Анализ проблемы утилизации и переработки нефтешламов // Кронос. – 2022. – Т. 7. – № 9 (71). – С. 64-65.
2. Крапивский Е. Нефтешламы: уничтожение, утилизация, дезактивация. – ЛитРес, 2022.
3. Нигаметзянов И.Р., Нехорошева А.В., Нехорошев С.В. Совершенствование процесса разделения водонефтяных смесей в лабораторных условиях // Аналитика и контроль. – 2025. – Т. 29. – № 4. – С. 368-377.
4. Ковалёва М.А. и др. Анализ методов разделения водонефтяных эмульсий // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 6. – С. 3.
5. Елемесов К.К., Тукубаев А.М., Басканбаева Д.Д. Технологии борьбы с механическими примесями в трехфазном сепараторе.
6. Идрисова Э.К. и др. Эффективные технологии восстановления исторических нефтяных отходов //Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2025. – Т. 7. – № 3. – С. 127-134.
7. Брицкая Д.Н. Технологии переработки нефтешламов // Синтез науки и образования как инструмент решения глобальных. – 2024. – С. 27.
8. Ковалева Л.А. и др. Обезвоживание водонефтяных эмульсий и нефтешламов комплексным воздействием СВЧ электромагнитного поля в центробежном поле сил //Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 6. – С. 45-48.
9. Доломатов М.Ю. и др. О разрушении углеводородных эмульсий под действием электромагнитных полей // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 2. – С. 39-51.
10. Рабцевич А.А., Ковалёва Л.А., Давлетбаев А.Я. Электромагнитные технологии при добыче нефти: эффективные решения и возможности коммерциализации // Недропользование. – 2025. – Т. 25. – № 2. – С. 123-135.

МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТНОЙ ГРУППЫ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Каганович Н.И.
инженер, ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты, Россия, n.kaganovich@ksc.ru

Научный руководитель: Макаров Д.В.
д.т.н., директор, ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Аннотация. Целью исследования является разработка оптимальной и эффективной технологии по удалению различных загрязнений из сточных вод для низкотемпературного климата с использованием водной растительности. В горнодобывающих регионах России, особенно в Арктической и Субарктической зонах, существует устойчивая проблема загрязнения водных объектов соединениями азотной группы и тяжёлыми металлами из-за сброса недостаточно очищенных сточных вод. Существующие технологии очистки зачастую не обеспечивают достижение нормативных показателей, что приводит к деградации водных экосистем, снижению биоразнообразия и длительному экологическому ущербу. Модульная конструкция, разработанная для имитации условий технологического отстойника, в которой предусмотрен способ размещения растений-аккумуляторов, позволяет изменять соотношение компонентов питания (субстратов), тем самым повышая их жизнеспособность и эффективность очистки.

Ключевые слова: очистка сточных вод, тяжелые металлы, биоплато, соединения азотной группы, фитоэкстракция, растения-аккумуляторы, горнодобывающая промышленность, водные растения, Арктика.

Введение. В горнодобывающих регионах России, особенно в Арктической и Субарктической зонах, существует устойчивая проблема загрязнения водных объектов соединениями азота и тяжёлыми металлами из-за сброса недостаточно очищенных сточных вод при проходке горных выработок и в процессе обогащения руды [1-3]. Существующие технологии очистки зачастую не обеспечивают достижение нормативных показателей, что приводит к деградации водных экосистем, снижению биоразнообразия и длительному экологическому ущербу [4-6]. Биологические методы, основанные на использовании микроорганизмов и растений, позволяют решить эту проблему и получить экономический эффект [7]. Системы фитоочистки (биоплато) – это системы, имеющие вид бассейна произвольной формы с расположенной внутри фильтрующей загрузкой из различных субстратов, в их роли могут выступать песок и щебень. В фильтрующую загрузку высаживают аккумулирующие растения, которые могут покрывать весь водоем целиком или только его определенную часть. Загрязненная вода в процессе прохождения через заросли растений, их корневой слой и загрузку из песка и щебня очищается до нормативных показателей, без негативного воздействия на окружающую среду [8-10]. Целью исследования является разработка эффективной технологии по удалению различных загрязнений из сточных вод для низкотемпературного климата с использованием растений-аккумуляторов. Для достижения поставленной цели необходимо: выполнить ряд экспериментов при помощи лабораторного стенда и оценить аккумуляционную способность различных поллютантов; определить возможность поглощения (сорбции) тяжелых металлов и соединений азотной группы водной растительностью при низких температурах; разработать оптимальные условия для эффективной работы системы фитоочистки; доказать применимость данной технологии для региона и конкретного предприятия, где будет находиться биоплато.

Методы. В качестве методов решения задач исследования выбраны следующие:

1. Лабораторное и полупромышленное моделирование процессов фитоэкстракции и адсорбции.
2. Химический анализ содержания тяжёлых металлов (Ni, Cu и др.) и азотных соединений (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) в воде и биомассе.
3. Биотестирование с использованием тест-культур (овес посевной, пшеница мягкая, редис, капуста красная).
4. Статистическая обработка данных, расчёт коэффициентов биоаккумуляции и эффективности очистки.

В биомассе растений определяли содержание тяжелых металлов (Ni, Fe, Mn, Co, Cu) методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой согласно методике производителя, для определения азота был использован метод Кьельдаля.

Результаты. В ходе проведения исследования была спроектирована модульная лабораторная установка, которая способна имитировать условия на действующих горнодобывающих объектах Мурманской области и республики Карелия. Также были проведены экспедиционные работы, в ходе которых был произведен отбор образцов растений и сточных вод с одного из действующих в регионе технологических отстойников горнопромышленного предприятия. По результатам этих исследований была проведена оценка токсичности воды для различных видов растений и их способности аккумулировать загрязнения. На основе полученных данных были разработаны рекомендации по использованию фитоочистной системы.

Обсуждение. Результаты исследования показывают, что сточная вода не всегда имеет «питательный» для растений состав, и это необходимо учитывать при подборе растений и субстрата. Также важно делать акцент на состав фильтрующей загрузки, которая может повысить жизнеспособность растений-аккумуляторов. Модульная конструкция, разработанная для имитации условий технологического отстойника, в которой предусмотрен способ размещения таких растений, позволяет изменять соотношение компонентов питания (субстратов), тем самым повышать их жизнеспособность и эффективность очистки.

Заключение. Исследование, проведенное на образцах воды из отстойника, показывает, что сточная вода оказывает угнетающий эффект на длину корней тест-культур, которые были использованы в эксперименте (овес посевной, пшеница мягкая, редис, капуста красная). Этот факт свидетельствует о необходимости предварительного подбора растений-аккумуляторов, которые будут способны к жизнедеятельности в конкретных производственных и климатических условиях, в зависимости от вида загрязнения и территориального расположения производства (климатический фактор).

Основываясь на результатах исследования, можно рекомендовать вносить дополнительные компоненты в субстрат, которые будут служить в роли сорбентов загрязнений и одновременно выступать в качестве источников питания для растений, формирующих биоплато. Например, в качестве источника азота, необходимого для роста и развития растений, можно использовать подстилочные опилки. В роли антисептика для корневой системы растений, улучшающего структуру почвы, может быть использован уголь, который показал свою сорбционную эффективность по отношению к тяжелым металлам никеля и меди.

Будущие исследования будут направлены на поиск оптимальной фитоочистной системы приспособленной к климату Арктики. Будут моделироваться различные условия, в том числе низкотемпературные, для повышения эффективности очистки сточных вод.

Благодарности: *выражаю благодарность за помощь в проведении исследований Красавцевой Е.А., Ивановой Л.А. и Мязину В.А.*

Список литературы

1. Кашулин Н.А. и др. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – № 1. – С. 98-107.
2. Даувальтер В.А. Загрязнение донных отложений озер Оленегорского района Мурманской области тяжелыми металлами // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2018. – № 15. – С. 437-440.
3. Солнышкова М.А. Снижение загрязнения поверхностных вод неорганическими соединениями азота в зоне воздействия горнодобывающих предприятий Мурманской области : дис. – СПб.: : автореф. дис. кан. техн. наук, 2020.
4. Аринжанов А.Е., Сарычева А.В. Загрязнение водоемов тяжелыми металлами // Материалы Всероссийской научно-методической конференции. – 2017. – С. 1494-1499.
5. Макаров Д.В. и др. Охрана природы в условиях развитого горнопромышленного комплекса Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2020. – № 2. – С. 5-14.
6. Питухина М.А., Белых А.Д. Экологический мониторинг промышленных моногородов Арктики: анализ и рекомендации //Россия: общество, политика, история. – 2024. – № 1 (10). – С. 135-155.
7. Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Ключникова Е.М. Устойчивое развитие горнопромышленного комплекса Мурманской области: минимизация техногенных воздействий на окружающую среду // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. – № 2.
8. Vymazal J. The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment // Land. – 2022. – Т. 11. – № 2. – С. 174.
9. Евдокимова Г.А. и др. Плавающие биоплато для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота в арктических условиях //Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – №. 9. – С. 35-41.
10. Казмирук, В.Д. Современные тенденции использования фитотехнологий для очистки и охраны вод / В.Д. Казмирук, Т.Н. Казмирук // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 76–81.

УДК 502.65; 550.424

СТРАТЕГИЯ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ КИПРЕЕМ УЗКОЛИСТНЫМ CHAMAENERION ANGUSTIFOLIUM (L.) НА ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОЧВАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Казанина Е.В.
студент каф. Геоэкологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, evakazanina1234@gmail.com

Научный руководитель: Пашкевич М.А.
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Геоэкологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В работе исследована способность кипрея узколистного (Chamaenerion angustifolium) к аккумуляции ряда тяжёлых металлов в условиях техногенного загрязнения почв Норильского промышленного района. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки экологически безопасных методов восстановления арктических почв с использованием аборигенных видов. Установлено многократное превышение нормативов содержания металлов в почве, при этом кипрей узколистный активно поглощает их подвижные формы с ограничениями по накоплению металлов физиологическими барьерами. Признаков фитотоксичности не выявлено. Сделан вывод о перспективности вида для фитостабилизации загрязнённых территорий Крайнего Севера.

Ключевые слова: фиторемедиация, кипрей узколистный, фитостабилизация, тяжёлые металлы, городские почвы, Крайний Север, восстановление экосистем.

Введение. Интенсивное освоение минерально-сырьевых ресурсов Крайнего Севера привело к устойчивому загрязнению почвенного покрова тяжёлыми металлами [1]. Из-за низких температур, короткого вегетационного периода и слабой микробиологической активности процессы самоочищения здесь крайне замедлены [2]. Фиторемедиация с использованием аборигенных видов растений является экологически безопасным и экономически оправданным методом восстановления таких территорий. Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium*) – пионерный вид, способный колонизировать нарушенные земли и проявляющий толерантность к загрязнению [3]. Цель исследования – выявление стратегии аккумуляции металлов и обоснование применимости вида для фиторемедиации.

Методы. В 2025 г. на двенадцати пробных площадках г. Норильска (селитебные, промышленные, рекреационные зоны) отобраны образцы почв (горизонт 0–20 см) и надземно-подземной фитомассы кипрея узколистного (в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017). После пробоподготовки проведён качественный рентгенофлуоресцентный анализ для скрининга элементного состава согласно ГОСТ 33850 2016. Руководствуясь методикой М-МВИ-80-2008, валовое содержание и подвижные формы Cr, Cu, Ni, Pb, Sr и Zn определили методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Рассчитаны коэффициенты контрастности загрязнения (отношение к ОДК/ПДК и фоновым уровням) и коэффициенты биологического поглощения.

Результаты. Во всех пробах почвы зафиксировано превышение нормативов по валовым формам *Ni* и *Cu*, а также по подвижным формам *Cu*, *Ni* и *Zn*. Наибольшие концентрации отмечены вблизи промышленных объектов. В биомассе кипрея обнаружены все исследуемые элементы, причём максимальные суммарные накопления –в зоне воздействия хвостохранилища. Коэффициент биологического поглощения, рассчитанный по подвижным формам, для всех металлов превысил 1, что указывает на интенсивное поглощение биодоступных фракций. Значения коэффициента биологического поглощения,

рассчитанного по валовому содержанию металлов в почве, не достигают единицы для исследуемых элементов. Внешних симптомов фитотоксичности (хлорозов, некрозов, угнетения роста) у растений не наблюдалось.

Обсуждение. Сочетание высоких значений коэффициента биологического поглощения для подвижных форм и низких – для валовых указывает на наличие у кипрея узколистного физиологических барьеров, ограничивающих поступление токсикантов в надземные органы. При этом растение эффективно извлекает наиболее опасную, миграционно-способную фракцию металлов, снижая их экологический риск. Отсутствие угнетения роста подтверждает толерантность вида к комплексному полиметаллическому загрязнению даже в экстремальных климатических условиях. Полученные данные согласуются с исследованиями других авторов, показавшими фитостабилизационный потенциал иван-чая на техногенных субстратах [4, 5].

Заключение. Кипрей узколистный, являясь аборигенным видом для экосистем Крайнего Севера, проявляет высокую устойчивость к загрязнению почв тяжёлыми металлами, реализуя стратегию исключения: он активно поглощает подвижные формы, но удерживает их в корневой системе без видимых повреждений надземных органов. Это позволяет рекомендовать его для фиторемедиационных мероприятий, направленных на иммобилизацию поллютантов и восстановление нарушенных земель в арктических регионах, в частности в Норильском промышленном районе.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации («FSRW-2024-0005 Новые подходы к проведению экологического мониторинга арктических экосистем, подверженных влиянию объектов минерально-сырьевого комплекса, и разработка технологий их комплексного восстановления»).

Список литературы

1. Юркевич Н.В., Ельцов И.Н., Гуреев В.Н. и др. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 12. С. 230-249. DOI: 10.18799/24131830/2021/12/3207.

2. Тяжелые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген / Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Шахова Е.В., Малков А.В. // Экология человека. 2014. № 9. С. 8-13.

3. Changes in the diversity of the herb-shrub layer of pine forests caused by severe pollution and fire disturbances in the Southern Urals / Zharkova D.A., Kuyantseva N.B., Mumber A.G., Veselkin D.V. // Biology Bulletin. 2024. Vol. 51. No. 2. P. 208-217. DOI: 10.1134/S1062359024611480.

4. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Собенин А.В. и др. Об основных положениях методики проектирования мероприятий, локализующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. Т. 166. № 6. С. 85-94. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-85-94.

5. Шапошникова Л.М., Раскоша О.В., Рачкова Н.Г. Фиторемедиационный потенциал иван-чая узколистного и канареечника тростниковидного в условиях полиэлементного загрязнения // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 162-169. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-162-169.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЛИСТОВОГО ОПАДА С ПОЛУЧЕНИЕМ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

Кальсин Н.А.
аспирант, ФГБОУ ВО «УУНиТ», Уфа, Россия, kalsin.nikita@bk.ru

Научный руководитель: Насырова Э.С.
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «УУНиТ», Уфа, Россия.

Аннотация. Целью работы является исследование сорбционных свойств листового опада города Уфа. Основная проблема заключается в высокой концентрации загрязняющих веществ в сточных водах горно-обогатительных предприятий, а также захламлении территории городов в осенний период года. Актуальность работы заключается в изучении сорбционных характеристик листового опада липы, распространенной в пределах урбанизированной территории города Уфа. В результате экспериментов определена нефтеемкость листового опада липы, составившая 3,43-5,24 г/г (ускоренное испытание) и 2,2-5,52 г/г (продолжительное испытание).

Ключевые слова: нефть, сорбция, листовой опад, нефтеемкость, сорбционная способность, биоэкономика.

Введение. Сточные воды предприятий, в частности, горно-обогатительных комбинатов содержат загрязняющие вещества. В зависимости от типа производства в сточных водах могут содержаться ионы тяжелых и щелочноземельных металлов, сульфаты, хлориды, фториды, нефть и нефтепродукты [1, 2]. В то же время на территориях городов каждый осенний сезон образуется отход в виде листового опада. В соответствии с концепциями биоэкономики данный отход может быть утилизирован путем получения сорбента для очистки вод от нефти [3-5], нефтепродуктов [6, 7] и ионов тяжелых металлов [8, 9]. Целью данной работы является исследование сорбционных свойств листового опада липы по отношению к нефти. Для этого необходимо собрать листовой опад липы, разработать технологическую схему получения сорбционного материала, апробировать схему в лабораторных условиях на примере собранного листового опада и провести эксперименты на адсорбцию нефти по утвержденной методике.

Методы. Эксперименты на адсорбцию нефти проводились в соответствии с ГОСТ 33627-2015. Проведены ускоренные и продолжительные испытания.

Результаты. В ходе экспериментов установлено, что листовой опад липы обладает нефтеемкостью, которая составила 3,43-5,24 г/г (ускоренное испытание) и 2,2-5,52 г/г (продолжительное испытание). Данные значения сопоставимы с промышленными сорбентами, представленными на рынке – SynergySorb ПС-150 и Adsorbium-95.

Обсуждение. Полученные значения соответствуют низкой (< 5 г/г) и средней (5-15 г/г) [10] нефтеемкости. Аналогичных результатов по исследованию нефтеемкости листьев липы в отечественной и зарубежной литературе в открытых источниках не найдено.

Заключение. В результате экспериментов определена нефтеемкость листового опада липы. Полученные данные позволят принимать решение о целесообразности преобразования листового опада данного древесного растения в сорбционный материал в пределах города и его применения для очистки сточных вод горно-обогатительных предприятий от нефти/нефтепродуктов. Дальнейшие исследования подразумевают исследование влияния модификаций, в том числе карбонизации, на сорбционную емкость листового опада, а также изучение сорбционных свойств по отношению к ионам тяжелых металлов.

Список литературы

1. Barthen R. Removal and recovery of metal ions from acidic multi-metal mine water using waste digested activated sludge as biosorbent // Hydrometallurgy. 2021. Т. 207. № 105770. DOI: 10.1016/j.hydromet.2021.105770.
2. Purwaningsih D.A., Redana I.W., Harmayani K.D., Pujianiki N.N. Evaluation of the potential for acid mine drainage formation from pit lake walls and its interaction with the aquifer system // Jurnal Penelitian Pendidikan IPA. 2025. Vol. 11(5). P. 839–848. DOI: 10.29303/jppipa.v11i5.11057.
3. Алексеева А.А., Степанова С.В. Повышение технологичности сорбционных изделий на основе листового опада для применения с целью локализации и ликвидации нефтеразливов на водной поверхности // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13. № 3. С. 261-271.
4. Nasyrova E., Kalsin N., Nafikova E., Chashnikova A. Fallen leaves as a possible decision to improve surface water bodies' quality in Belaya River basin (Russia) // Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA. 2025. Vol. 75. № 2. P. 183-198. DOI 10.2298/ijgi241129007n.
5. Святченко А.В., Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Ястребинский Р.Н. Целлюлозосодержащий сорбент для очистки сточных вод от нефти и ионов меди // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2021. № 2(303). С. 106-119. DOI 10.33285/2073-9028-2021-2(303)-106-119.
6. Сапронова Ж.А., Святченко А.В. Сорбент на основе листьев каштана для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: сборник докладов Международной научно-технической конференции, Алушта, 03–07 июня 2019 года. Часть I. Алушта: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 4-6.
7. Mahmoud M.A., Tayeb A.M., Daher A.M., Bakather O.Y., Hassan M., Eldoma M.A., Elsheikh Y.A., Abouatiaa A.F.F. Adsorption study of oil spill cleanup from sea water using natural sorbent // Chemical Data Collections. 2022. Vol. 41. № 100896.
8. Святченко А.В. Сапронова Ж.А., Четвериков А.В. Адсорбция ионов никеля термомодифицированным листовым каштановым опадом // Chemical Bulletin. 2021. Т. 4. № 4. С. 48-59.
9. Галимова Р.З., Латыпова Л.Ф., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Воронина Ю.С. Кинетика сорбции ионов железа (III) из водных растворов нативной и модифицированной листвой тополя // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 1-2 (82-83). С. 115-121.
10. Malyshkina E. Classification of sorbents used in technologies for purification of waste water from petroleum products // Urban Construction and Architecture. 2020. Vol. 10. № 3. P. 26–34. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5.

УДК 630*91

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА В КОНТЕКСТЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Медведев С.А.
магистрант 2 курса, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия, medvedevsa@m.usfeu.ru

Научный руководитель: Залесов С.В.
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия.

Аннотация. Проанализирован опыт рекультивации нарушенных в процессе добычи россыпных месторождений драгоценных металлов дражным и гидравлическим способами в Средне-Уральском таежном лесном районе. Отмечается, высокая эффективность применения лесохозяйственного направления рекультивации в данном районе. Путем посадки лесных культур сосны обыкновенной формируются достаточно производительные искусственные насаждения, которые не только решают проблему возврата нарушенных земель в хозяйственный оборот, но и как объекты создания карбоновых полигонов.

Ключевые слова: рекультивация, лесные культуры, дражные отвалы, гидравлические полигоны, драгоценные металлы, рельеф, сосна обыкновенная, карбоновые полигоны.

Введение. Открытие на Урале в начале XIX в. россыпных золото-платиновых месторождений, обусловило начало бурного развития добычных работ благородных металлов и развитие многочисленных промышленных предприятий [1]. В этих условиях за почти 300 лет при традиционных способах открытой добычи (дражный, гидравлический) драгоценных металлов на многих тысячах гектаров образовались техногенные ландшафты, которые после отработки территорий должны были быть рекультивированы [2, 3]. Как показывают имеющиеся литературные данные, большинство территорий было изъято для эксплуатации из лесного фонда, следовательно, должны быть в него возвращены, это объясняет то, что, основным направлением рекультивации следует считать лесохозяйственное [4-6].

Однако, несмотря на значительный опыт лесохозяйственного направления рекультивации, данных нарушенных земель на Урале, до сих пор недостаточно сведений об особенностях формирования и эффективности создания искусственных насаждений при специфических условиях изменения почвогрунтов и рельефа месторождений, чем и вызвана актуальность исследований в данной работе.

Цель исследования – определить эффективность создания искусственных насаждений при лесохозяйственном направлении рекультивации россыпных месторождений драгоценных металлов на территории Среднего Урала

Методы. Объектом исследований являлись лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) созданные на рекультивированных дражных отвалах и гидравлических полигонах добычи драгоценных металлов в пределах Средне-Уральского таежного лесного района. В основу работ положен классический в лесоводстве метод пробных площадей, которые закладывались на основе нормативных требований и общепринятых

методик с измерением основных таксационных показателей [7, 8]. Анализ данных производился в камеральных условиях с вычислениями математических и статистических расчетов в соответствии с подходами, применяемыми в биологии.

Результаты. В ходе проведения исследования были подобраны участки искусственных насаждений сосны обыкновенной, созданных в разные годы на дражных отвалах и гидравлических полигонах на территории Невьянского и Березовского лесничеств в Свердловской области.

Известно, что в ходе прохода драги формируется техногенный ландшафт с чередованием мелких водоемов с грядами галечных отвалов [9], которые отличаются низким плодородием почвогрунтов [10]. Процесс естественного восстановления ландшафтов здесь растягивается на многие годы, а с учетом уязвимости к эрозии и на десятилетия.

Однако из полученных нами данных можно сделать вывод, что несмотря на сложные лесорастительные условия дражных отвалов, можно путем посадки лесных культур сформировать высокопроизводительные искусственные сосновые насаждения Ia – II классов бонитета с запасом стволовой древесины в 18-летнем возрасте от 57 до 161 м^3/га.

На гидравлических полигонах в отличие от дражных отвалов из-за специфики разработки гидромониторами встречаются более разнообразные формы рельефа (вскрышные, намывные отвалы, дамбы, иловые поля и иные), требуя отдельного подхода при рекультивационных работах. Так на намывном отвале к 36-летнему искусственные сосновые насаждения достигают запас 209 м^3/га, такие же участки к 14 летнему возрасту с нанесением плодородного слоя характеризуются запасом стволовой древесины 63 м^3/га, а без нанесения достигают лишь 1 м^3/га.

Обсуждение. Проведенный анализ показывает, что подход к рекультивации каждого полигона должен быть строго индивидуален по показателям, зависящим от метода разработки, почвенно-грунтовых условий, рельефа и гидрогеологического режима.

Так как посадка лесных культур на дражных отвалах проводилась без подготовки почвы, можно сделать вывод о пригодности субстрата для выращивания искусственных сосновых насаждений, снижая тем самым затраты на технический этап рекультивации.

По таксационным характеристикам дражные отвалы и гидравлические полигоны существенных различий не имеют и в рекультивационном отношении однородны. Однако ввиду того, что при гидравлическом способе, зачастую невозможно вырастить производительные насаждения, технический этап следует проводить поэтапно, по мере отработки участков в зависимости от лесорастительных условий на них.

Заключение. Проведенный анализ позволяет считать лесохозяйственное направление рекультивации россыпных месторождений драгоценных металлов на Среднем Урале одним из самых перспективных. Созданием лесных культур сосны обыкновенной при комплексном подходе возможно сформировать продуктивные искусственные насаждения и вернуть данные земли в хозяйственный оборот, минимизируя финансовые расходы на всем цикле рекультивации.

Рекультивированные территории могут не только выполнять защитные, противоэрозионные и иные функции, но и стать объектами лесоклиматических проектов, например, в качестве карбоновых полигонов с целью увеличения поглощения парниковых газов формируемой экосистемой.

Список литературы

1. Баранников, А.Г. Анализ ведущих факторов образования золотоносных россыпей Урала. Рудно-россыпные узлы, возможные модели их формирования / А.Г. Баранников // Известия УГГУ. – 2024. – Вып. 2 (74). – С. 43–56.
2. Тимофеева, С.С. Рекультивация нарушенных земель при разработке месторождений золота в Бодайбинском районе Иркутской области / С.С. Тимофеева, Д.А. Тарасов, В.М. Ерошкин // XXI век. Техносферная безопасность. – 2025. – Т. 10, № 2(38). – С. 168-179. – DOI 10.21285/2500-1582-2025-10-2-168-179.
3. Космаков, В.И. Этапы лесохозяйственной рекультивации земель, нарушенных при открытой добыче полезных ископаемых / В.И. Космаков, С.Э. Бадмаева, А.А. Бакач // International Agricultural Journal. – 2021. – Т. 64, № 6. – DOI 10.24412/2588-0209-2021-10430.
4. Петров, А.И. Опыт рекультивации полигонов добычи россыпного золота / А.И. Петров, С.А. Медведев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3(153). – DOI 10.60797/IRJ.2025.153.107.
5. Дегтева С.В. Особенности восстановления растительности на отвалах отработанных россыпей Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология, 2021 № 3 С. 79–89. DOI: 1025750/1995-4301-2021-3-080-089
6. Гребенщикова, Е.А. Рекультивация нарушенных земель при добыче полезных ископаемых / Е.А. Гребенщикова, Н.С. Шелковкина, Н.А. Горбачева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 5. – С. 32-37.
7. Данчева А.В. Рациональное лесопользование с основами таксации леса: учебное пособие / А.В. Данчева. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2023 – 100 с.
8. Бунькова, Н.П. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.Г. Магасумова, Р.А. Осипенко. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 90 с.
9. Агибалов, О.А. Методические рекомендации по разведке техногенных месторождений россыпного золота и платиноидов / О.А. Агибалов, А.П. Захаров, А.Н. Краснов, Д.А. Куликов, А.С. Тарасов, Л.В. Шатилова; под ред. А.И. Иванова. – М.: ЦНИГРИ, 2025. – 121 с.
10. Ермакова, М.В. Рост и формирование культур сосны при рекультивации дражных отвалов / М. В. Ермакова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2022. – Т. 26, № 6. – С. 33-40. – DOI 10.18698/2542-1468-2022-6-33-40.

УДК 504.064.2

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НЕФТЕСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Мельникова А.С.
инженер, ФГБОУ ВО «УУНиТ», Уфа, Россия, annamel7@mail.ru

Научный руководитель: Кострюкова Н.В.
к.х.н., доцент, ФГБОУ ВО «УУНиТ», Уфа, Россия

Аннотация. Исследование посвящено разработке многокритериальной системы оценки эффективности нефтесорбентов с использованием интегрального показателя, учитывающего сорбционную способность, фрактальную размерность, физические свойства и эффективность очистки воды. В качестве объектов исследования использовались инновационный СВЧ-модифицированный нефтесорбент из свекловичного жома и коммерческие сорбенты на основе мха и вермикулита. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о сильной положительной связи сорбционной способности с эффективностью очистки воды, умеренной отрицательной связи с фрактальной размерностью, а также сильной положительной связи с влажностью сорбента. Расчёт интегрального показателя эффективности позволил выявить наиболее эффективные сорбенты для ликвидации разливов нефтепродуктов.

Ключевые слова: сорбенты, разливы нефтепродуктов, агропромышленные отходы, фрактальная размерность, сорбционная ёмкость.

Введение. Увеличение объёмов добычи и транспортировки нефти сопровождается ростом вероятности аварийных ситуаций, что делает разливы нефти и нефтепродуктов одной из ключевых геоэкологических проблем XXI века [1-3]. Подобные инциденты приводят к деградации экосистем, нарушению трофических цепей и значительным социально-экономическим потерям [4]. В настоящее время разработан широкий спектр нефтесорбентов, выполненных на основе различных материалов [5], включая минеральные [6], полимерные [7] и органические [8]. Несмотря на различия в свойствах и стоимости, до сих пор нет единой системы количественной оценки эффективности нефтесорбентов. Целью исследования является разработка многокритериальной системы оценки эффективности нефтесорбентов, которая интегрирует структурные характеристики материала (фрактальная размерность), сорбционную ёмкость по отношению к нефтепродукту, физические свойства и эффективность очистки воды от нефтепродуктов.

Методы. В качестве исследуемых образцов использовались инновационный нефтесорбент из свекловичного жома [9] и коммерческие сорбенты на основе мха и вермикулита. Оценка функциональных свойств материалов проводилась с использованием стандартных методик определения сорбционной ёмкости, влажности и эффективности очистки воды в модельных условиях с последующим анализом остаточной концентрации нефтепродуктов методом инфракрасной фотометрии. Структурные характеристики сорбентов исследовались с применением растровой электронной микроскопии и последующего расчёта фрактальной размерности методом box-counting в среде MATLAB [10]. Статистический анализ данных был выполнен с использованием теста ранговой корреляции Спирмена, а также расчёта интегрального показателя эффективности сорбента (ИПЭС).

Результаты. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о сильной положительной связи сорбционной способности с эффективностью очистки воды ($\rho = 0.69$, $p = 0.000192$), умеренной отрицательной связи с фрактальной размерностью ($\rho = -0.45$, $p = 0.0266$), а также сильной положительной связи с влажностью сорбента ($\rho = 0.67$, $p = 0.000353$). Расчёт ИПЭС позволил интегрально оценить эффективность каждого сорбента и выявил, что сорбенты «Профсорб ультра» и «Spill-Sorb» обладают

наивысшими показателями, в то время как инновационный сорбент из свекловичного жома, модифицированный СВЧ-излучением, показал заметный рост ИПЭС по сравнению с немодифицированным материалом.

Обсуждение. Согласно результатам исследования, структурные и физико-химические свойства сорбентов определяют их сорбционную способность и эффективность очистки воды. Интегральный показатель демонстрирует, что модифицированный сорбент из свекловичного жома характеризуется более высокой эффективностью по сравнению с исходным материалом.

Заключение. Разработанная многокритериальная система оценки с использованием ИПЭС позволяет определить ключевые характеристики, влияющие на эффективность нефтесорбентов. Полученные данные позволяют интегрально сравнивать сорбенты и выделять наиболее перспективные в зависимости от условий разлива нефтепродуктов. В дальнейшем планируется расширение выборки сорбентов и диапазона условий эксплуатации для повышения точности оценки эффективности очистки воды от нефтепродуктов.

Благодарности: *автор выражает благодарность руководству и сотрудникам Института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях Уфимского университета науки и технологий за предоставление оборудования и содействие в проведении экспериментов, а также Единому инновационному комплексу университета за поддержку и предоставление растрового электронного микроскопа для исследования структурных характеристик сорбентов.*

Список литературы

1. Du X.X., Tang Z.P., Chen K.J. A novel crude oil futures trading strategy based on volume-price time-frequency decomposition with ensemble deep reinforcement learning // Energy. 2023. 285. 129.
2. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Мероприятия по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. М.: Академия Государственной противопожарной службы. 2024. С. 95–97.
3. Han B., Fan S. Analysis of marine oil spill accidents using a human-centered approach // Transp. Res. Part D. 2025. 147. 104963. DOI: 10.1016/j.trd.2025. С. 104963.
4. Zafirakou A., Themeli S., Tsami E., Aretoulis G. Multi-criteria analysis of different approaches to protect the marine and coastal environment from oil spills // Journal of Marine Science and Engineering. 2018. 6(4). С. 125. DOI: 10.3390/jmse6040125.
5. Emenike E.C., Adeyanju C.A., Adeleke J., Iwuozor K.O., Amusa V.T., Ogunniyi S., Okoro H.K., Adeniyi A.G. Adsorption of crude oil from aqueous solution: A review // Journal of Water Process Engineering. 2022. 50. С. 103330. DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.103330.
6. Hayatioğlu N., Tekin İ., Ersus S. Optimization of Cellulose Extraction Parameters and Production of Nanocellulose from Black Carrot Juice Wastes // JOTAF. 2024. 21(2). С. 547–560. DOI: 10.33462/jotaf.1326627.
7. Мязин В.А., Шушков Д.А., Фокина Н.В., Чапоргина А.А., Канивец А.В., Брянцев А.В. Оценка эффективности биогеосорбентов на основе минеральных носителей для очистки нефтезагрязненной почвы // Вестник МГТУ. 2024. № 1. С. 91–102.
8. Chen Z., An C., Lee K., ben Hammouda S. Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: a state-of-the-art review // Journal of Cleaner Production. 2021. 311. С. 127630.
9. Мельникова А.С., Кострюкова Н.В. Модифицированный нефтесорбент из свекловичного жома для очистки поверхностной воды от нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336. № 7. С. 97–107.
10. Шайхулисламов Я.Р., Нафикова Э.В., Александров Д.В. и др. Использование фрактального анализа для определения эффективности рекультивации почв после нефтезагрязнений при оценке биомассы растения-биоиндикатора Avena sativa // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 6. DOI: 10.15862/56NZVN624.

УДК 665.6

ОЦЕНКА И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Панин Н.Е.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Научный руководитель: Пашкевич М.А.
доктор технических наук, Заведующий кафедры Геоэкологии, Санкт-Петербургский горный университет Императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В работе исследованы основные отходы, образующиеся на крупном нефтеперерабатывающем предприятии. Приведены ежегодные объемы их образования, описаны площадки их накопления. В результате проведённых теоретических и лабораторных исследований предложен оптимальный метод переработки нефтесодержащих отходов, заключающийся в совместной термической утилизации нефтешламов, ила и древесных отходов, образующихся на рассмотренном предприятии. Приведены результаты проведенных экспериментов.

Ключевые слова: нефтепереработка, нефтесодержащие отходы, термический метод утилизации отходов, нефтешламы, ил.

В настоящее время существует ряд проблем в нефтяной промышленности, одной из которых является образование нефтесодержащих отходов, образующихся на всех стадиях добычи и переработки нефти, а также применения нефтепродуктов.

Согласно литературным данным, объем образующихся нефтяных шламов составляет от 1 до 5 кг на 1 тонну перерабатываемой нефти [1]. В России за 2025 год было переработано около 262,3 млн. тонн нефти в результате чего потенциально образовалось до 13,11 млн. тонн нефтешламов в год. Проблема образования нефтесодержащих отходов является крупной мировой проблемой. Так, согласно литературным данным, ежегодный сброс нефтесодержащего шлама с нефтяных предприятий Китая достиг 3 миллионов тонн [2].

Целью исследования является снижение негативного воздействия на компоненты природной среды нефтесодержащих отходов различного генезиса, путём их термической утилизации.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить поставленные задачи: рассмотреть существующие направления утилизации нефтесодержащих отходов и выбрать оптимальное, определить теплоту сгорания отходов и подобрать оптимальное соотношение отходов в смеси, а также подобрать агрегатное состояние смеси отходов для термической утилизации.

К исследуемым отходам относятся нефтешлам, иловый осадок с иловых полей (ил складировался в течении 5 лет), а также древесные отходы

В качестве метода термической утилизации было проведено обоснование метода сжигания отходов для производства тепла и электроэнергии на объектах энергетики. Для этого необходимо подвергать отходы нефтепереработки брикетированию.

Ниже даны характеристики отходов, подвергаемых термической утилизации. Нефтешлам представляет черный смолянистый осадок из трубопроводов и резервуаров, который имеет в своем составе насыщенные углеводороды, ароматические углеводороды, смолы и асфальтены. Нетфешлам является основным отходом, подвергаемым

утилизации, а благодаря большому количеству горючих органических соединений в составе данный метод является целесообразным.

Добавление ила, который по своей природе является биомассой способствует повышению реакционной способности при горении смеси и снижению энергии активации [3].

Использование древесных отходов в смеси позволяет улучшить структуру и прочность создаваемых брикетов. Введение древесной биомассы (щепа, опилки) повышает плотность, механическую прочность и устойчивость брикетов, а также позволяет облегчить формование смеси за счёт волокнистой структуры и природных связующих (лигнин) [4]. Древесная биомасса отличается полнотой сгорания и меньшей зольностью, при её добавке к илу и промышленным осадкам уменьшается доля неорганических компонентов, снижается риск спекания и образования отложений [5].

В различных исследованиях также указывается что древесные отходы улучшают воспламеняемость и повышает долю летучих веществ, благодаря чему общий процесс горения смеси становится более устойчивым и завершается полнее [6].

За счёт пористой структуры опилки повышают воздухопроницаемость брикетов, что облегчает поступление воздуха в зону горения и уменьшает выбросы углеводородов, которые не до конца окислились [7].

На базе научного центра «Экосистема» была определена удельная теплота сгорания отходов при помощи бомбового калориметра TPC 2000 basic IKA. Согласно проведенным анализам теплота сгорания отходов составляет: для нефтешламов 43,9 МДж/кг, для избыточного ила 13,25 МДж/кг, для древесных отходов 19 МДж/кг.

Проведённый эксперимент заключался в смешении отходов в следующих соотношениях: нефтешлам : избыточный ил : древесные отходы – 0,35:0,4:0,25. Суммарная теплота сгорания отходов будет составила 25,4 МДж/кг, что сопоставимо с теплотой сгорания бурового угля. Причём, на одном из самых крупных нефтеперерабатывающем заводе Восточной Сибири в год можно получать порядка 17000 тонн отходов в год с теплотой сгорания около 25,4 МДж/кг и подвергать утилизации на ближайших энергетических объектах.

Таким образом, использование рассмотренных отходов для производства энергии позволит снизить объем складируемых отходов более чем на 90-99% [8].

Также исследуемые нефтесодержащие отходы производства могут стать ценным сырьем для получения тепла и электроэнергии для экономии ископаемых видов топлив, которое должно рассматриваться обществом не просто как товар, а как геополитический ресурс. [9]

В результате термической утилизации отходов образуется зола, которая может, в свою очередь, использоваться в качестве добавки в портландцемент или как заполнитель асфальтобетонов. Так, согласно литературным данным бетон с добавлением золы можно использовать для проведения подготовительных процедур перед заливкой монолитных лент фундамента и плит [10].

Список литературы

1. Афанасьев, С.В. Нефтешламы как вторичное сырье / С.В. Афанасьев, М.А. Паис, Н.С. Носарев // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 3,5(99.5). – С. 86-92. – EDN PZLWGS.

2. Wenting M, Tao Y, Chengtun Q, Jinli X. Rui M. Progress of Research on Gradient Hydrothermal Oil Recovery from Oily Sludge // Am J Biomed Sci & Res. 2024. Vol. 23 no 5. DOI: 10.34297/AJBSR.2024.23.003119 //

3. Dong L, Huang X, Ren J, Deng L, Da Y. Thermogravimetric Assessment and Differential Thermal Analysis of Blended Fuels of Coal, Biomass and Oil Sludge. Applied Sciences. 2023; 13(19):11058. https://doi.org/10.3390/app131911058

4. L. Jiang, J. Liang, X. Yuan, H. Li, C. Li, Z. Xiao, H. Huang, H. Wang, G. Zeng. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet. // Bioresource Technology. 2014. Vol. 166, P. 435-443. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.077\

5. L. Kai, Zhang, Rui, Y.B.Q., C. Jin, L. Dong. Study of Sewage Sludge/Coal Co-Combustion by Thermogravimetric Analysis and Single Particle Co-Combustion Method. // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32, Iss. 5. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b00511.

6. S. Guo, Y. Han, L. Wang, D. Che, H. Liu, B. Sun. Synergistic effects of co-combustion of sewage sludge and corn stalk and the resulting gas emission characteristics. // IET Renewable Power Generation. 2020. Vol. 14, Iss. 9. https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2020.0104.

7. B.M. Kamdem, R. Lemaire, J. Nikiema. Fuel briquettes produced via the co-treatment of wood sawdust, miscanthus and wheat straw: Physicochemical properties. // Industrial Crops and Products. 2025. Vol. 236. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121869.

8. A.S. Giwa, N.J. Maurice, A. Luoyan, X. Liu, Y. Yunlong, Z. Hong. Advances in sewage sludge application and treatment: Process integration of plasma pyrolysis and anaerobic digestion with the resource recovery. // Heliyon. 2023. Vol. 9, Iss. 9. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19765.

9. Litvinenko V. Bowbrick I., Naumov I. Zaitseva Z. Global guidelines and require-ments for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 338, 130530. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130530.

10. Пашкевич, М.А. Направление утилизации и переработки отходов нефтеперерабатывающей промышленности / М.А. Пашкевич, Н.Е. Панин // Актуальные проблемы недропользования : Тезисы докладов XX Всероссийской конференции-конкурса студентов выпускного курса и аспирантов, Санкт-Петербург, 02–06 декабря 2024 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. – С. 289-292. – EDN RXNQLZ.

УДК 628.3

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫМ БЕНТОНИТОМ

Проказов Н.
аспирант 2 курса, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, prokazov.n.d@mail.ru

Научный руководитель: Атаманова О.В.
доктор технических наук, профессор кафедры «Экологии и техносферной безопасности», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

Аннотация. В данной работе представлены краткие результаты исследований по улучшению сорбционной способности гранулированных форм бентонитовых адсорбентов по отношению к нефти.

Ключевые слова: Адсорбция, фильтрация, бентонит, нефть, гидрофобизация.

Введение. Как известно, нефть и нефтепродукты (далее НП) за счёт не полярности своих молекул не смешиваются с водой, образую на её поверхности плёнки. Эти плёнки изменяют физико-химические процессы в воде, в частности нарушают обмен энергией, газами и теплотой между средами. Помимо этого, лёгкие и ароматические углеводороды лучше растворяются в воде, что влечёт хроническое токсическое действие на организмы на клеточном уровне [1–3].

С экономической точки зрения очищать сточные воды, содержащие НП дешевле, чем ликвидировать последствия такого загрязнения, поэтому лучше пресекать загрязнение водных объектов на этапе очистки сточных вод. Для этого не прекращаются поиски оптимальных методов и материалов с целью очистки сточных вод. Совершенствуются все виды очистки стоков и в частности сорбционные методы. В этом направлении учёными и инженерами ведутся разработки как по созданию технических средств, так и по созданию новых видов сорбентов [4, 5].

Стоит также отметить, что величина нагрузки на водные объекты и количества попадающих в них поллютантов хоть и колеблются год от года, но остаются на нежелательных уровнях[1].

Целью исследований являлось улучшение сорбционных свойств по отношению к нефтепродуктам природных гранулированных форм бентонита.

Методы. Основными методами исследования были динамическое фильтрование модельных растворов нефти, а также ИК-спектрофотометрия[2] с целью определения остаточных концентраций НП в фильтрате.

Результаты. Результаты фильтрования показали следующее: гранулированные природные формы бентонитов недостаточно хорошо справляются с адсорбцией нефти.

---

[1] Государственный доклад. «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году». – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. – 686 с.

Государственный доклад. «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

Государственный доклад. «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». – М.: Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. – 721 с.

[2] ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратомеров серии КН» : природоохранный нормативный документ федеральный : принят и введен в действие 28.09.2012 г : федеральная служба по надзору в сфере природопользования – Изд. официальное. – Москва, 2012. – 25 с.

После первой фильтрации, по результатам ИК-спектрофотометрических замеров, концентрация нефти в растворах снизилась в 120 раз и составила от 0,256 до 0,51 мг/дм^3 (ПДК НП в водах 0,3 мг/дм^3). Дальнейшая фильтрация новых растворов показала рост концентрации нефти в фильтратах в арифметической прогрессии.

Следующим этапом исследований стала гидрофобизация сорбентов. Для гидрофобизации бентонитовых гранул использовалась гидрофобизирующая пропитка производства ООО «НПП Рогнеда» (г. Ст. Купавна), состоящий из смеси кремнийорганических соединений, антисептических добавок и воды [10].

Фильтрация на гидрофобизированных сорбентах показала, что в процессе первой фильтраций происходит первичный проскок нефти, что может быть вызвано установлением физико-химического равновесия в адсорбционной системе. В процессе второй фильтрации концентрация нефти снижается до уровня ниже ПДК и остаётся такой в плоть до момента вторичного (конечного) проскока.

Обсуждение. Стоит сказать, что у разных бентонитов наблюдался разный момент вторичного проскока нефти:

- бентонит Саригюхского месторождения – 22 фильтрация;
- бентонит Карасукского месторождения – 16 фильтрация;
- бентонит Зырянского месторождения – 21 фильтрация;
- бентонит Таганского месторождения – 17 фильтрация.

По итогам первичных лабораторных испытаний можно утверждать, что 100 грамм гидрофобизированного сорбента могут очистить 20 литров воды с концентрацией лёгкой фракции нефти 36,1 мг/дм^3 (121 ПДК). Дальнейшие испытания и разработка технологии применения помогут данному сорбенту оформиться как экологичная и дешёвая альтернатива другим сорбентам.

Заключение. По итогу проведённых лабораторных исследований установлено:

1. гранулированные природные формы бентонитов плохо справляются с сорбцией нефти;
2. гидрофобизация гранул бентонита в разы повышает адсорбцию нефти из воды;
3. бентонит Зырянского месторождения сопоставим по нефтеёмкости с бентонитом Саригюхского месторождения, одного из лучших в мире, что положительно повлияет на конкурентоспособность отечественного сорбента в условиях импортозамещения.

Список литературы

1. Акимова, А.С. Последствия загрязнения поверхностных и сточных вод нефтью и нефтепродуктами. / А.С. Акимова, Л.С. Филиппова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – 11. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.102
2. Патин. С.А. Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х т. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
3. Клишин А.Ю., Каниева Н.А., Баджаева О.В., Фёдорова Н.Н. Нарушения органов и тканей моллюсков рода Unio под воздействием нефти // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 82 − 86.
4. Деньгина, Е.А. Получение и предварительная подготовка сорбентов на основе промышленных отходов и шунгита для очистки сточных вод / Л.Х. Арасланова, А.Ю. Витценко, А.М. Назаров // Международная научно-практическая конференция «Обращение с отходами: современной состояние и перспективы», Уфа, 2021. – С. 168 – 174.
5. Воскобойников Г.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли Fucus vesiculosus в очистке прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 4. С. 716 − 721.
6. Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Глубокая А.С. Кошелев А.В. Изучение структуры поверхности и свойств сорбционных материалов на основе модифицированного бентонита // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25. № 6. С.155-164.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ПРИ МЕЛИОРАЦИИ

Семенова П.А.[1], Семенов А.О.[2], Павлов А.Т.[3]
[1] студентка 4 курса, СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, polinapavlova908@gmail.com
[2] студент 4 курса, СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, semenov020305@gmail.com
[3] директор, ООО НПП «Инноватика и экология», Саратов, Россия, interan@yandex.ru

Научный руководитель: Тихомирова Е.И.
д.б.н., заведующая кафедрой «Экология и техносферная безопасность», СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются причины глобальной мировой проблемы и обосновывается технология решения для предотвращения вторичного засоления при мелиорации 30-50% площади полей. Предлагаемое решение позволит регулировать при объёмы и сроки полива с учётом распределения и динамики подъёма солей при поливах к поверхности в подземном разрезе. Без бурения скважин, отбора и анализа керна. Результаты измерений цифровой геофизической платформы позволяют оперативно получить цифровые, высокоточные 2D, 3D модели геоэлектрической структуры с отображением распределения минерализации на глубину 0,5 – 10 метров в подземном разрезе. Успешно испытанный на различных задачах прототип программно-аппаратного комплекса ЗСБ наносекундного диапазона позволит точному, цифровому земледелию предотвратить вторичное засоление и продлить плодородие полей.

Ключевые слова: мелиорация, вторичное засоление, подземная минерализация, диагностика, точное земледелие, цифровая геофизическая платформа, ЗСБ.

Введение. Существует мировая, глобальная проблема – за 80 лет площадь плодородных земель на Земле сократилась на территорию больше, чем площадь Китая и Индии вместе взятых [1]. По прогнозам исследователей, при таких темпах интенсивного земледелия, плодородные земли через 40-60 лет будут уничтожены. По ФЦП РФ «Развитие мелиорации до 2020 г.» площадь орошаемых земель было предусмотрено увеличить до 4,9 млн га. Затраты около 820 млрд. руб. [2]. По ФЦП РФ до 2031 года – увеличение площадей мелиорации до 13,2348 млн. га. [3]. Однако, мировая практика показывает, что при мелиорации около трети полей быстро становятся солончаками в районах с близким залеганием солевых горизонтов – наличия подземных солевых пластов на глубине 3-6 метров и подъёма солей к поверхности при избыточном поливе. Цель предлагаемого проекта – за счёт саратовских высокотехнологичных, прорывных цифровых геофизических технологий ЗСБ-ВП наносекундного диапазона, повысить конкурентоспособность России на мировом рынке и обеспечить устойчивое развитие в сельском хозяйстве при рациональном природопользовании, точном цифровом земледелии и опережающем импортозамещении.

Методы. Нужно заметить, что засоление не является неизбежным и обязательным следствием орошения. Однако при избыточном поливе и при отсутствии оттока грунтовых вод почвы засоляются, а иногда и заболачиваются.

Но, оказывается, далеко не любая вода идет растениям во благо.

Вода, содержащая до 0,5 г/л солей, считается хорошей для полива, от 0,5 до 1 г – допустимой, от 1 до 3 г – опасной для растений и может использоваться в орошении очень осторожно, со всеми агротехническими и мелиоративными мероприятиями [4, 5].

На рис. 1 приведены зависимости удельного сопротивления различных водонасыщенных пород от величины минерализации г/л и выделен диапазон допустимой и опасной при поливах минерализации воды от 0,5 до 3 г/л.

Диагностика распределения повышенной минерализации в подземном разрезе высокого разрешения и мониторинг динамики подъёма солей к поверхности при поливах, позволит при принятии решения о сроках и объёмах полива, вести рациональное природопользование, для предотвращения избыточных поливов и продления плодородия полей. В Саратове, ещё в конце прошлого века, была изобретена в НВНИИГГ геофизиками Сидоровым и Тикшаевым технология электромагнитного зондирования в ближней зоне, ставшая мировым брендом «ЗСБ». Проблемы повышения точности, разрешения слабопроводных и слабоконтрастных объектов во вмещающих породах, зондирования малых глубин с интерпретацией на ранних временах и при наличии вызванной поляризации были также решены в Саратове, в том числе ещё в 1977 году Саратовским ГУ и НВНИИГГ по заказу ИКИ АН СССР для задач зондирования Луны [6].

Результаты. В инициативном порядке технология была доработана, создана программно-аппаратная цифровая геофизическая платформа, успешно испытанная в производственных условиях. Результаты испытаний на объектах, показали, что возможно получение цифровой геоэлектрической модели с требуемой точностью на подобных по параметрам объектах с повышенной минерализацией в требуемом диапазоне глубин. Разрешение предлагаемого аппаратно-программного комплекса (1,5-3%) значительно превышает возможности российских и мировых разработок (30%) [7,8,9]. Аналогов в мире нет. Превосходство над конкурентами в разрешении на порядок позволяет решать задачу диагностики и мониторинга распределения минерализации для предотвращения вторичного засоления полей. На рис.2 приведен результат испытаний технологии и оборудования при диагностике на оползне ж.д. перегона Жасминная- Курдюм и сравнение 18 лабораторных анализов параметров образцов керна из скважин с полученными параметрами цифровой геоэлектрической модели. Количество слоев, местоположение, мощность в колонках и в цифровой модели совпадают. Выявлен слой 0,1-0,2 м на глубине 9 метров в глинах. Выделяется насыпной грунт, влажные и тугопластичные слои. Модель с точностью до единиц процентов отображает распределение минерализованных вод в теле оползня в сравнении с естественной влажностью образцов керна. Глубина зондирования составила 14 метров. Максимальная минерализация в теле оползня на трех участках составила 10 г/л [10].

Есть ещё одна серьёзная проблема в предотвращении засоления полей – отсутствие на законодательном уровне ответственности собственника за порчу земель. Уничтожив одно плодородное поле, оставив после себя бесплодную пустыню, просто переходят на следующее. По мнению авторов представляется чрезвычайно опасной передача орошаемых земель в частную собственность и аренду мелким хозяйствам до тех пор, пока не будет разработано законодательство об ответственности владельца земли и ее пользователя за сохранение почвенного плодородия. Ответственность должна обеспечиваться эколого-воспроизводящими нормами восстановления утраченного плодородия за счет нарушителей, а не экологовозмещающими нормами, как это происходит в настоящее время [11].

Обсуждение. Выбранные технологии обработки сигналов и интерпретации позволяют наглядно и с высоким разрешением отображать распределение удельного сопротивления (проводимости), а значит и уровень минерализации в структуре подземного разреза. В настоящее время авторы, на данном этапе НИР намерены:

1. Провести опытно-методических работы с заверкой цифровой карты засоления подземного разреза лабораторными анализами керна из пробуренных на поле скважин на потенциально опасных к засолению полей мелиорации.

2. Проводится разработка и электромагнитная совместимость аппаратуры зондирования для размещения на БПЛА и выбор оптимального носителя для снижения цены и повышения оперативности получения и обработки результатов зондирования (рис. 3). Быстродействие оборудования таково, что за время 100 микросекунд, требуемое для проведения зонирования, БПЛА даже на скорости 100 км/час, сместится всего на 1 сантиметр.

Анализ потенциала рынка потребителей на услуги, показывает, что диагностика распределения минерализации в подземном разрезе полей необходима также и при купле-продаже земель сельхозназначения, поскольку карты солончаков нет в открытом доступе.

Заключение. В работе представлены результаты успешных испытаний уникальной, российской инструментальной цифровой геофизической платформы на объектах, подобных по параметрам подземному геоэлектрическому разрезу потенциально опасному при мелиорации на засоление плодородного поля. Планируется провести исследования опять, с заверкой бурением и лабораторным анализом керна на обводненность, минерализацию и удельное электрическое сопротивление и сопоставить с параметрами полученной геоэлектрической цифровой модели подземного разреза. Предлагается при точном, цифровом земледелии, на основе диагностики распределения подземной минерализации и мониторинга подъёма солей к поверхности при поливах, помочь в принятии решений мелиораторам в предотвращении вторичного засоления и продлить плодородие земель.

Список литературы

1. Сайт: Законодательное обеспечение эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения URL: https://kprf.ru/activity/ecology/160513.html (дата обращения 23.03.2024)
2. Сайт: Площадь мелиорируемых земель должна вырасти до 10,3 млн га. URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2012/03/21/orosit_i_osushit (дата обращения 23.03.2024)
3. Сайт: Госдоклад 2019. URL: https://gosdoklad-ecology.ru/2017/pochva-i-zemelnye-resursy/vozdeystvie-na-pochvy-i-zemelnye-resursy/ (дата обращения 23.03.2024)
4. Сайт: «Ресурсосберегающее экологически безопасное земледелие». URL: https://agriecomission.com/base/zasolenie-pochv-problema-i-puti-resheniya (дата обращения 23.03.2024)
5. Щербаков, В.А. Ошибки и перспективы в использовании мелиоративного потенциала Поволжья / В.А. Щербаков // Поволжский торгово-экономический журнал. – 2010. – № 4(16). – С. 11–14.
6. А.Т. Павлов. В.П. Лепешкин, Ю.Н. Павлова. Возможности и особенности импульсных индуктивных ЭМ зондирований ВЧР в сложных геологических условиях/ журнал «ФИЗИКА ЗЕМЛИ» АН РФ – 2007 г. – № 3. с.
7. Павлов А.Т., Лепешкин В.П., Федукин М.Б., Павлова Ю.Н. Разработка технологии и аппаратуры импульсной геоэлектроразведки высокого разрешения для исследования структуры оползня и прогноза его развития//5-я Всерос. конф. АН РФ Оценка и управление природными рисками (Риск – 2003), Москва, 26–27.03 2003 г. С. 200.
8. A.T. Pavlov, V.P. Lepeshkin, Ju.N. Pavlova. PRACTICAL OUTCOMES OF ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS OF HIGH- RESOLUTION FOR PROBLEMS OF GEOECOLOGY, ENGINEERING AND HYDROGEOLOGY, ORE RECONNAISSANCE IN ZONE OF PERMAFROST. // «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ» РАН, Москва, 2007 г., с.178.
9. Павлов А.Т., Павлова П.А., Павлова Ю.Н. НОВАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ГЕОФИЗИКА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ КРИОЛИТОЗОНЫ АРКТИКИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ // 30.03-1.04 2022, МГУ, г. Москва. Труды V Международной геолого-геофизической конференции «Гео-Евразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес», Том I (III) с. 169-173. www.gece.moscow/
10. Павлов А.Т., Павлова Ю.Н., Павлова П.А. Обоснование возможности предотвращения вторичного засоления полей при мелиорации // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность – основа прогресса и устойчивого развития : сборник статей VII международной научно-практической конференции. – Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 255–264.
11. Сайт: Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(29), 2018 г., [208–232] URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec539-field6.pdf (дата обращения 23.03.2024)

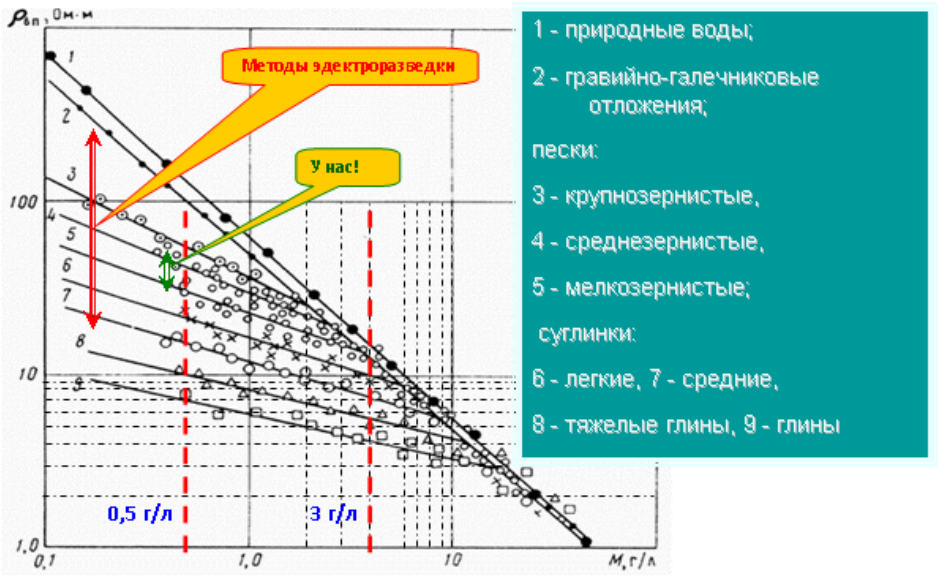


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления водонасыщенных пород от минерализации.

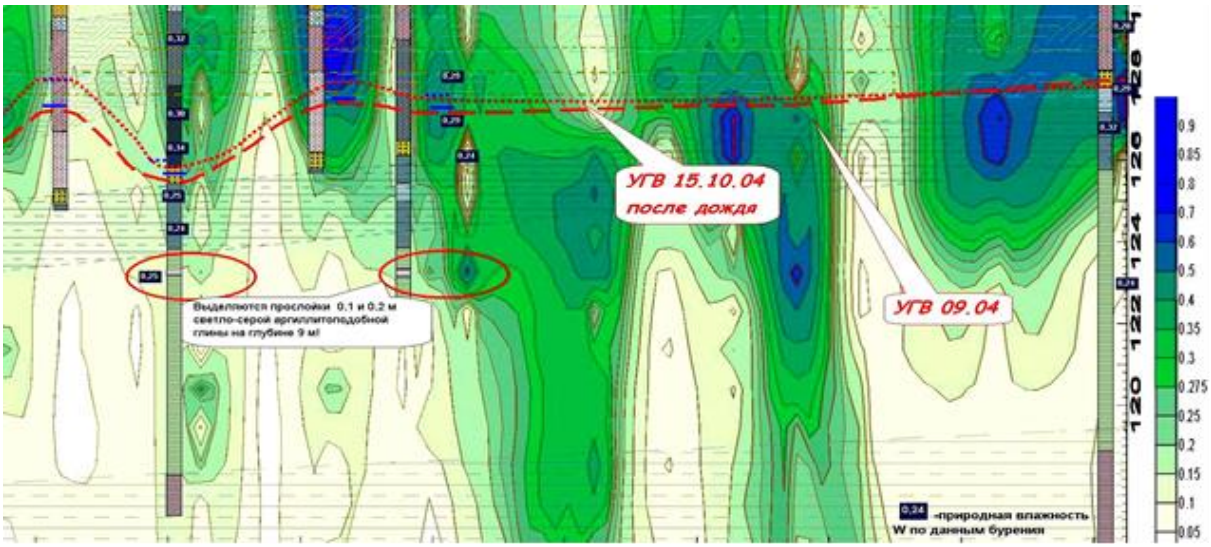


Рис. 2. Геоэлектрическая модель подземного разреза оползня ж.д. перегона Жасминная-Курдюм



Рис. 3. Выбор носителя для аэрогеофизической цифровой платформы

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В РАЙОНАХ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Тараканов Д.А.
старший преподаватель, ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия, T.Dm.A@yandex.ru

Научный руководитель: Елизарьев А.Н.
кандидат географических наук, заведующий кафедрой безопасности производства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Аннотация. Работа посвящена разработке интегрированного подхода к геоэкологической оценке загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) в районах недропользования. Актуальность обусловлена ростом техногенной нагрузки при добыче и переработке полезных ископаемых. Предложен комплексный подход, объединяющий геохимические методы, биоиндикацию и алгоритмы машинного обучения. Установлены закономерности распределения ТМ в отвалах и природных системах, а также разработаны модели прогнозирования загрязнения. Полученные результаты могут быть использованы при экологическом сопровождении горных работ.

Ключевые слова: недропользование, тяжелые металлы, отвалы, загрязнение почв, геоэкология, горнодобывающая промышленность, машинное обучение, фиторемедиация, мониторинг, природно-технические системы.

Введение. Процессы недропользования формируют природно-технические системы с высоким уровнем техногенной нагрузки на окружающую среду [1, 2]. Основными источниками загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) являются отвалы горных пород, хвостохранилища и выбросы предприятий переработки руд. В условиях горнопромышленных территорий формируются сложные геохимические аномалии, обусловленные миграцией ТМ [3]. Целью исследования является разработка метода геоэкологической оценки и прогнозирования загрязнения почв ТМ в районах недропользования.

Методы. Оценка состояния почв проводилась с использованием интегрального индекса загрязнения (*NCPI*) [4], а также коэффициентов радиальной и латеральной дифференциации [5, 6], позволяющих учитывать особенности перераспределения ТМ в отвалах и почвенных профилях. Для анализа биогенных процессов использованы методы биоиндикации на основе изменений биохимических показателей растений [7]. Прогнозирование концентраций ТМ выполнено с применением алгоритмов машинного обучения (*Decision Tree, Random Forest, MLP*), позволяющих учитывать нелинейные зависимости факторов горнопромышленного воздействия [8-10].

Результаты. Установлено, что в районах разработки медно-колчеданных руд происходит интенсивная аккумуляция Cu, Zn и Ni в верхних горизонтах почв отвалов, тогда как Fe и Mn мигрируют вглубь профиля. Наибольший уровень загрязнения выявлен вблизи техногенных объектов (отвалы, хвостохранилища), где значения *NCPI* соответствуют сильной степени загрязнения. В природных системах выявлена высотная зональность распределения ТМ, связанная с переносом аэрозольных частиц от горнопромышленных источников. Установлено влияние растительного покрова как биогеохимического барьера, способствующего аккумуляции ТМ. Разработанные модели машинного обучения показали высокую точность прогнозирования концентраций ТМ и позволили выявить ключевые факторы формирования загрязнения.

Обсуждение. Результаты исследования подтверждают ключевую роль объектов горнодобывающей деятельности в формировании геохимических зон загрязнения.

Отвалы горных пород выступают как источники вторичного загрязнения, обеспечивая длительное поступление ТМ в почвенную среду. Интеграция геохимических и биоиндикационных методов с алгоритмами машинного обучения позволяет учитывать сложные взаимосвязи между факторами горнопромышленного воздействия и экологическим состоянием территорий. Предложенный подход может быть использован для экологического сопровождения горных работ и оценки риска загрязнения.

Заключение. Разработан интегрированный метод геоэкологической оценки и прогнозирования загрязнения почв ТМ в условиях недропользования. Установлены закономерности распределения ТМ в отвалах и природных системах. Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов при экологическом мониторинге горнодобывающих территорий и принятии управленческих решений. Перспективы исследований связаны с развитием цифровых моделей экологического контроля в недропользовании.

Список литературы

1. Qianqi Y., Zhiyuan L., Xiaoning L., Qiannan D., Lei H., Jun B. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 642. P. 690-700.
2. Елизарьев А.Н., Папян Э.Э., Тараканов Д.А., Мансуров В.Н. Экологическая оценка загрязненной тяжелыми металлами почвы в результате разработки медно-колчеданных руд // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29, № 12. С. 66-71. DOI 10.18412/1816-0395-2025-12-66-71. EDN GSRVDL.
3. Han W., Tang L., Wang X., Zhang M., Wang M., & Ji H. Distribution and migration characteristics of heavy metals around rainfall in soil–water system at closed gold and iron mines in Beijing, China // Environmental Earth Sciences. 2024. Vol. 83. https://doi.org/10.1007/s12665-024-11710-2.
4. Hu B., Jia X., Hu J., Xu D., Xia F., & Li Y. Assessment of Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Soil-Plant-Human System in the Yangtze River Delta, China // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017. Vol. 14. P. 1042.
5. Шабанов М.В. Сера в геохимически сопряженных ландшафтах Соймоновской долины (Челябинская область) // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. №1. С. 118-126.
6. Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В. Эколого-геохимическая оценка накопления и миграции тяжелых металлов в почве разновозрастных виноградников интенсивного типа в условиях эродированного ландшафта Южнобережной зоны Крыма // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2024. №6. С. 1-19.
7. Елизарьева Е.Н., Фахертдинова А. А., Елизарьев А. Н., Тараканов Д.А., Кудашкина Н.В. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании Fallopia sachalinensis в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41–57. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.42.41.
8. Navada A., Ansari A. N., Patil S. and Sonkamble B. A. Overview of use of decision tree algorithms in machine learning // 2011 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, Shah Alam, Malaysia. 2011. P. 37-42.
9. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5-32.
10. Gardner M.W., Dorling S.R. 1998. Artificial neural networks (the multilayer perceptron) — a review of applications in the atmospheric sciences. Atmospheric Environment 32:2627–2636. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00447-0

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ГЛИНОЗЁМНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Тармёнок Е.О.
магистрант, ТПУ, Томск, Россия, ekatar1328@gmail.com

Научный руководитель: Таловская А.В.
д. г.-м. н., профессор, ТПУ, Томск, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования минерально-вещественного и химического состава снегового покрова на территории, подвергаемой влиянию глиноземного производства, для эколого-геохимической оценки степени его воздействия на окружающую среду. Определен уровень пылевого загрязнения, выявлены элементы-индикаторы и техногенные образования в твердом осадке снегового покрова, гидрохимические особенности талой воды, отражающие специфику влияния производства для разработки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: твердый осадок снегового покрова, снеготалая вода, элементный состав, минеральный состав

Введение. Оценка влияния глиноземного производства на окружающую среду является актуальной геоэкологической задачей, так как этот вид сырья служит основой для получения алюминия, занимающего ключевые позиции в мировой металлургии. Для экологического мониторинга атмосферного воздуха многие исследователи используют снеговой покров [1–3], который служит планшетом-накопителем атмосферных частиц и позволяет изучать их состав и распространение от источников загрязнения. Целью работы является эколого-геохимическая оценка территории, прилегающей к глинозёмному производству по данным изучения снегового покрова.

Методы. Отбор и подготовка 40 проб снегового покрова осуществлялись автором по стандартной методике [1-3], в трех направлениях от производства. Полученные пробы талой воды изучались методами ионной хроматографии, потенциометрическим, титриметрическим и расчётным, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в лабораториях НОЦ «Вода» ТПУ и г. Томск. Состав твердого осадка снегового покрова исследовали инструментальным нейтронно-активационным анализом в лабораториях центра коллективного пользования УНУ ИРТ-Т ТПУ «Исследовательский ядерный реактор». В МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ минерально-вещественный состав изучен автором электронной сканирующей микроскопией и рентгенофазовым методом.

Результаты. В районе исследования химический тип талой воды по формуле Курлова М.Г. – гидрокарбонатно-сульфатный, натриево-кальциево-калиевый. Талая вода является умеренно пресной и очень мягкой, среднее значение pH составляет 7,8 ед., что говорит о слабощелочном характере талой воды [4]. Содержание изучаемых макро и микрокомпонентов в талой воде превышают фоновые значения [2] от 1,5 до 70 раз. В пробах концентрации Fe, Ba, и Sr выше значений для атмосферных осадков бассейна Средней Оби, принятых из работы [5]. Талая вода по содержанию нитрит-ионов характеризуется как весьма загрязнённая, по нитрат-ионам – умеренно загрязненная [4]. По мере удаления в радиусе от 1 до 9 км от изучаемого объекта в талой воде наблюдается снижение концентрации CO_3^{2-}в 8 раз, HCO_3^- в 1,5 раза, SO_4^{2-}, Cl^- и K^+– в 2 раза, Na^+ в 3 раза. Концентрация ионов кальция в пробах не изменяется. Сумма концентраций редкоземельных элементов максимально в радиусе от 3 до 4 км. Обнаружены корреляционные связи (r = 0,46-0,74) между pH и содержаниями в талой воде Na, Cr, Fe, Rb, Zr, Sb, Cs, Sm, Tb, Th, CO_3^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Na^+, K^+.

Определен высокий уровень пылевой нагрузки относительно фона на расстоянии 1-2 км от комбината, далее за пределами санитарно-защитной зоны на расстоянии от 2 до

8 км происходит снижение нагрузки в 30 раз до низкого уровня. В твердом осадке снегового покрова установлены средние значения коэффициентов концентрации (Кс) относительно фона 40 км на север от предприятия (данные автора) – Ca (Кс >3), Na, Br, Ce, Sr, Eu (Кс > 1,5), которые формируют низкий уровень загрязнения (Z_c = 8) [1]. Анализ минерального состава твердого осадка снегового покрова показал наличие таких минералов как кварц (SiO_2) (15%), альбит ($Na[AlSi_3O_8]$) (10%), магнезит (MgCO3) (6,1%), а также характерных минералов для промышленной пыли и сырьевых материалов – кальцита ($CaCO_3$) (65,6%), нефелина ($(Na,K)AlSiO_4$) (13,3%) и афтиталита ($(K,Na)_3Na(SO_4)_2$) (2,3%). Определен низкий уровень загрязнения территории города по соотношению минеральных (69%) и техногенных образований (31%), градация [1]. По градации отношения минерал-индикатор/кварц [1], в радиусе от 1 до 2 км от производства определен очень высокий уровень обогащения твердого осадка снега кальцитом (14 ед.) и нефелином (4,2 ед.), средний уровень – афтиталитом (0,6 ед.) относительно доли кварца. В радиусе от 2 до 6 км, в районе жилой застройки, уровень обогащения кальцитом твердого осадка снегового покрова значительно снижается.

Обсуждение. Данные по физико-химическим, геохимическим и минерально-вещественным характеристикам твердого осадка снега и талой снеговой воды позволили оценить уровень загрязнения территории пылевыми частицами и большим спектром химических элементов. Полученные данные позволяют расширить научные знания о геохимической специфике воздействия глиноземного производства на окружающую среду. В качестве природоохранных мероприятий, можно предложить технологию пылеочистки «мокрым» скруббером с использованием подшламовой воды, установку защитных отсекателей на газоходах карбонизаторов, использование уловленной промышленной пыли в качестве нейтрализатора кислых почв или в качестве добавки к дорожной смеси.

Заключение. Научная новизна заключается в определении уровней пылевой нагрузки, накопления широкого спектра химических элементов в твердом осадке снега и талой воде, элементов-индикаторов, минеральных техногенных образований, отражающие специфику влияния глиноземного производства на эколого-геохимическое состояние прилегающей территории. Практическая значимость состоит в проведении исследовании в рамках договорных работ с производственным предприятием. Результаты также могут быть использованы для разработки природоохранных мероприятий и оценки рисков для здоровья населения. Направление будущих исследований включает изучение годовой динамики загрязнения снегового покрова, а также эколого-геохимических характеристик почвенного покрова и уличной пыли.

Список литературы

1. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова): дис. ... д-ра г.-м. наук. Томск, 2022. 373 с.
2. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар): дис. ... канд. г.-м. наук. Томск, 2018. 192 с.
3. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. [и др.] Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
4. Пасечник Е.Ю. Эколого-геохимическое состояние природных вод территории города Томска (правобережной части р. Томь): дис. … канд. геол.-мин. наук. Томск, 2010. – 196 с.
5. Савичев О.Г., Иванов А.О. Атмосферные выпадения в бассейне Средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2010. № 1. С. 63-70.

УДК 528.88

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ИНФИЛЬТРАЦИИ В РАЙОНЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Шиляев В.К.
аспирант 1 курса кафедры Геоэкологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, Vladislav.Shilyaev14@gmail.com

Научный руководитель: Петрова Т.А.
кандидат технических наук, доцент кафедры геоэкологии,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена возможность применения спектральных индексов дистанционного зондирования для выявления зон инфильтрации в районе хвостохранилища горно-обогатительного предприятия. На основе спутниковых данных Sentinel-2 выполнен сравнительный анализ индексов NDVI, EVI, NDWI и MSI. Для количественной оценки использован показатель контрастности между зонами предполагаемой инфильтрации и фоновыми территориями. Установлено, что наибольшей информативностью обладает индекс EVI, отражающий изменения растительного покрова, тогда как влагочувствительные индексы демонстрируют сопоставимую, но менее выраженную чувствительность. Полученные результаты подтверждают возможность использования дистанционных методов для выявления инфильтрационных процессов при отсутствии полевых данных.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, хвостохранилища, инфильтрация, спектральные индексы, NDVI, NDWI, EVI, MSI, Sentinel-2, геоинформационные системы.

Хвостохранилища горно-обогатительных предприятий являются источниками повышенной экологической опасности, связанной с инфильтрацией загрязнённых вод и миграцией токсичных элементов в окружающую среду. В последние годы методы дистанционного зондирования Земли активно применяются для мониторинга подобных объектов, что обусловлено доступностью спутниковых данных и развитием спектральных методов анализа [1, 5].

Современные исследования демонстрируют эффективность использования спектральных индексов для оценки состояния техногенных территорий, включая выявление зон повышенной влажности и деградации растительного покрова [2, 3]. Существует необходимость осуществить сравнительный анализ различных индексов, направленный на оценку их информативности относительно конкретных природно-техногенных условий [4].

Современные исследования свидетельствуют о высокой эффективности спутниковых данных Sentinel-2 для мониторинга хвостохранилищ, включая их гидрологическое состояние и морфометрические характеристики [9].

Следует отметить, что методы дистанционного зондирования успешно применяются и в отечественных исследованиях для оценки состояния природных и техногенных систем, в том числе при анализа изменений гидрологического режима и воздействия промышленных объектов на окружающую среду [7, 8].

Тем не менее, несмотря на значительное количество работ в области дистанционного мониторинга хвостохранилищ, вопрос количественной оценки эффективности спектральных индексов касательно выявления инфильтрационных процессов остается недостаточно изученным.

Целью работы является оценка информативности спектральных индексов для выявления зон инфильтрации в районе хвостохранилища.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

— выполнить обработку спутниковых данных Sentinel-2;

— рассчитать спектральные индексы;

— выделить зоны предполагаемой инфильтрации и фоновые территории;

— провести количественную оценку контрастности индексов.

В качестве исходных данных использовались мультиспектральные спутниковые изображения Sentinel-2 уровня обработки L2A, широко применяемые для экологического мониторинга [1].

Для анализа были рассчитаны следующие спектральные индексы:

— NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

— EVI (Enhanced Vegetation Index)

— NDWI (Normalized Difference Water Index)

— MSI (Moisture Stress Index)

Выбор индексов обусловлен их чувствительностью к изменениям растительного покрова и влажностного режима поверхности [2, 4, 6].

Использование индексов растительности и влажности в задачах мониторинга горнодобывающих территорий показало высокую эффективность при оценке динамики состояния экосистем и техногенных ландшафтов [10].

Дополнительно использовались композитные изображения в коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR) для визуального выявления зон повышенной влажности и инфильтрационных потоков [4].

Выделение зон инфильтрации осуществлялось по косвенным признакам на основе анализа SWIR-композитов, где фиксируются линейно вытянутые аномалии, соответствующие участкам повышенного увлажнения.

Для количественной оценки использовался показатель контрастности, рассчитываемый как отношение разности средних значений индекса в пределах зон инфильтрации и фоновых территорий к их сумме (формула 1).

$$K = \frac{(\mu_{inf} - \mu_{bg})}{(\mu_{inf} + \mu_{bg})}. \text{б/р.} \quad (1)$$

где μ_{inf} – значение коэффициента в зоне предполагаемой инфильтрации, б/р.; μ_{bg} – фоновое значение коэффициента, б/р.

В расчётах использовалось абсолютное значение показателя, при этом направление изменений анализировалось отдельно.

В результате анализа были получены значения контрастности для исследуемых индексов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Значение контрастности исследуемых индексов

Индекс	Контраст
NDVI	0,063
EVI	0,130
MSI	0,028
NDWI	0,063

На рисунке 1 представлено сравнение контрастности спектральных индексов. Наибольшее значение контрастности получено для индекса EVI (0,130), тогда как индексы NDVI и NDWI демонстрируют сопоставимые значения. Индекс MSI характеризуется наименьшей информативностью.

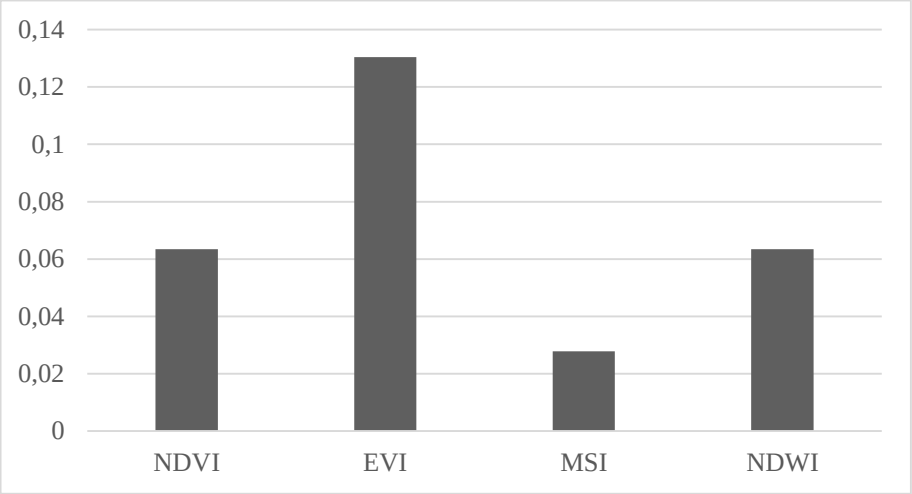


Рис. 1. Сравнение контрастности спектральных индексов

Анализ пространственного распределения индексов показал наличие аномалий, совпадающих с зонами, выделенными по SWIR-композитам. На рисунке 2 показано сравнение SWIR, EVI и MSI индексов.



Рис. 2. Сравнение SWIR (1), EVI (2) и MSI (3) изображений хвостохранилища

Полученные результаты свидетельствуют о комплексном характере инфильтрационных процессов. Наибольшая контрастность индекса EVI указывает на высокую чувствительность растительного покрова к изменениям условий среды. Снижение значений NDVI и EVI в пределах зон инфильтрации свидетельствует об угнетении растительности, что может быть связано как с избыточным увлажнением, так и с воздействием загрязняющих веществ.

Индексы NDVI и NDWI демонстрируют сопоставимые значения контрастности, однако характеризуются противоположным направлением изменений. Это объясняется различной физической природой индексов: NDVI отражает состояние растительности, тогда как NDWI – влагосодержание поверхности. В условиях инфильтрации увеличение влажности сопровождается деградацией растительного покрова, что приводит к разнонаправленной реакции данных индексов. Таким образом, их совместный анализ позволяет более полно охарактеризовать исследуемый процесс.

Низкая контрастность MSI может быть связана с особенностями распределения влаги в техногенных отложениях, а также с ограниченной чувствительностью индекса в рассматриваемых условиях.

Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, в которых отмечается высокая эффективность мультииндексного подхода при анализе техногенных территорий [2–4]. При этом следует учитывать, что отсутствие полевых данных ограничивает точность интерпретации, что подчёркивается в ряде работ [1, 5].

Полученные результаты согласуются с отечественными исследованиями, в которых показано, что изменения гидрологического режима и техногенное воздействие приводят к трансформации растительного покрова и спектральных характеристик поверхности, фиксируемых методами дистанционного зондирования [7, 8].

Проведённое исследование показало, что спектральные индексы дистанционного зондирования могут эффективно применяться для выявления зон, связанных с инфильтрационными процессами в районе хвостохранилищ. Наибольшей информативностью в рассматриваемых условиях обладает индекс EVI, отражающий реакцию растительного покрова на изменение экологической обстановки. Индексы NDVI и NDWI демонстрируют сопоставимую чувствительность, однако характеризуются противоположной направленностью изменений, что обусловлено различиями в их физической природе и позволяет более полно интерпретировать происходящие процессы при их совместном использовании. Индекс MSI, напротив, показал низкую информативность, что может быть связано с особенностями распределения влаги в техногенных отложениях. В целом полученные результаты подтверждают целесообразность комплексного применения спектральных индексов для дистанционного мониторинга хвостохранилищ и оценки связанных с ними экологических рисков.

Список литературы

1. Safo Kantanka, S.N. Monitoring of mine tailings ponds in Ghana: a remote sensing-based assessment / S.N. Safo Kantanka, M. Addaney, P. Kpiebaya, J.A. Akudugu, E.A. Kosoe, J. Abazaami, A. Asare // Environmental monitoring and assessment. – 2025. – Vol. 197, No. 10. – Art. 1157. – DOI: 10.1007/s10661-025-14618-x.
2. Chunyu Xiang. Prediction of soil heavy metal content around mine tailings using multiple methods combined with transformed hyperspectral reflectance data / Chunyu Xiang, Huxuan Xiao, Fakun He, Zhanpeng Dai, Wenbin Huang, Bowei Zhu, Shibin Liu // Ore and Energy Resource Geology. – 2025. – Vol. 18. – Art. 100072. – DOI: 10.1016/j.oreoa.2024.100072.
3. Smith, H.W. Remote sensing reveals trends in vegetative recovery and land cover transformation post-reclamation at tar creek superfund site / H.W. Smith, A.J. Ashworth, S. King, C. Kreman, D.M. Miller, L.L. Nalley, P.R. Owens // Discover Geoscience. – 2024. – Vol. 2. – Art. 53. – DOI: 10.1007/s44288-024-00057-7.
4. Jewell, D.A. An Exploration of False Positives Following Multispectral Analysis of Mine Tailings Extent / D.A. Jewell, L.M. Campbell, H.P. White // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2024. – Vol. 50, No. 1. – DOI: 10.1080/07038992.2024.2338357.
5. Huang, J.R. Satellite-based change detection for mining instability / J.R. Huang, D. Zekkos // 9th International Congress on Environmental Geotechnics (ICEG2023) : proceedings, Chania, Greece, 25–28 June 2023. – 2023. – P. 257–265. – DOI: 10.53243/ICEG2023-83.
6. Batoni, A.G. Remote sensing of hazards: The spatio-temporal evolution of land surface temperature over tailings flows and related drivers / A.G. Batoni, R.F. do Valle Junior, M.M.A.P. de Melo Silva, G.H. de Morais Fernandes, T.H.S. Feitosa, L.F.S. Fernandes, G. de Souza Rolim, T.C.T. Pissarra, C.A. Valera, M.C. de Melo, F.A.L. Pacheco // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2024. – Vol. 35. – Art. 101237. – DOI: 10.1016/j.rsase.2024.101237.
7. Кобелева, Н.В. Оценка состояния тундровых экосистем при изменении гидрологического режима (временных водотоков) на базе интегрированного наземно-аэрокосмического мониторинга (Ямбургское-нефтегазоконденсатное месторождение, Тазовский полуостров) / Н.В. Кобелева, И.И. Бутов, В.К. Шиляев // Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 10–14 ноября 2025 г. – Москва : Институт космических исследований РАН, 2025. – С. 275. – EDN YQCVSR.
8. Петрова, Т.А. Оценка воздействия угольного разреза на атмосферный воздух / Т.А. Петрова, В.К. Шиляев // Моя специальность : тезисы докладов конкурса научных работ обучающихся, Санкт-Петербург, 15–17 октября 2025 г. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2026. – С. 65–67. – EDN MYLLCZ.
9. Stringari, C.E., Engelbrecht, J., and Eaton, B.: Measuring Tailings Storage Facility Bathymetry Using Sentinel-2 and Landsat-8/9 Multispectral Imagery and Machine Learning, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-M-4-2024, 63–69, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-4-2024-63-2024, 2024.
10. Varouchakis, E.A., Komnitsas, K. & Galetakis, M. Spatiotemporal Analysis of Vegetation Health and Moisture Dynamics in Rehabilitated Mining Quarries Using Satellite Imagery. Environ. Process. 12, 45 (2025). https://doi.org/10.1007/s40710-025-00781-3.

ПОСТАНОВКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МОДЕЛЬНОЙ СМЕСИ КЕРОСИН – ПМС-3 – ФРЕОН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЛИВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ СКВАЖИНЫ 5Г-5 (СТ. ВОСТОК, АНТАРКТИДА)

Яковлева А.В.
инженер-лаборант I категории каф. ТЧ,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, alena_koleno@mail.ru

Научный руководитель: Игнатьев С.А.
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Для контроля состава заливочной жидкости из скважины 5Г-5 на станции Восток и оценки поведения ПМС-3 в керосин-фреоновой среде требуется специализированная лабораторная методика анализа проб с разных глубин. В работе представлены результаты постановки методики на модельных смесях (керосин ТС-1, ПМС-3 и фреон R141b). С целью сравнения методов выполнены: фракционная перегонка, ИК-Фурье-спектроскопия и газовая хроматография. Выявлено, что при фракционном анализе керосина ТС-1 с ПМС-3 образуются продукты крекинга ПМС-3, искажающие состав дистиллята и ограничивающие применимость метода. В свою очередь газовая хроматография обеспечивает количественное определение компонентов и выбрана в качестве основного метода.

Ключевые слова: заливочная жидкость; скважина 5Г; ПМС-3; керосин ТС-1; фреон R141b; газовая хроматография; фракционный анализ; ИК-Фурье спектроскопия; крекинг ПМС-3.

Введение. Актуальность изучения состава заливочной жидкости в скважине обусловлена необходимостью разработки технологии экологически безопасного вскрытия озера Восток, которая обеспечит длительный контакт с исследуемым объектом для изучения озера и донных отложений. В соответствии с требованиями международного сообщества (Мадридский протокол, 1991) [2] прежняя заливочная жидкость должна быть удалена из скважины или предотвращен ее контакт с поверхностью подледникового озера. В ходе 70-й РАЭ была произведена доставка экологически безопасной полиметилсилоксановой жидкости ПМС-3 на забой скважины и осуществлено экспериментальное бурение в кремнийорганической среде с последующим отбором проб на разных глубинах [1].

Методы. Постановка методики выполнена в рамках экспериментального метода, заключающегося в постановке лабораторных опытов на модельных смесях и последовательной оценкой пригодности методов фракционной перегонки и газовой хроматографии для количественного анализа системы керосин – ПМС-3 – фреон.

Результаты. Выполнена фракционная перегонка модельной двухкомпонентной смеси керосин ТС-1 – ПМС-3 и модельной трехкомпонентной смеси керосин ТС-1 – ПМС-3 – фреон R141b при атмосферном давлении с фиксацией температур начала и конца образования дистиллята [3-5]. Произведен математический баланс масс компонентов смеси до начала перегонки с массами дистиллята и кубового остатка, осуществлена визуальная фиксация момента крекинга ПМС-3.

Проведена ИК-Фурье спектроскопия для определения состава исследуемых компонентов смеси и сопоставления спектров чистых компонентов со спектрами полученных продуктов фракционирования [6, 7].

Осуществлена газовая хроматография модельной трехкомпонентной смеси и эталонных образцов компонентов заливочной жидкости для количественного определения всех компонентов в пробе [9, 10].

Обсуждение. Наличие продуктов крекинга ПМС-3 [8] в первом эксперименте принципиально ограничивает применимость фракционного анализа как основного метода: при высоких температурах изменяется химический состав системы, и количественные выводы о соотношении керосина и ПМС-3 становятся ненадежными. Таким образом, полученные результаты вписываются в общую тенденцию развития аналитических методов для сложных многокомпонентных систем, где термические методы разделения оказываются ограниченными из-за химических превращений, а приоритет смещается в сторону хроматографических подходов.

Заключение. Проведенные эксперименты показали, что фракционная перегонка, несмотря на информативность о летучести компонентов, не подходит в качестве основного метода анализа заливочной жидкости из-за крекинга ПМС-3 и неполного выделения фреона. Газовая хроматография, напротив, обеспечивает разделение пиков керосина, ПМС-3 и фреона без изменения их химического строения и поэтому выбрана в качестве основной аналитической методики, на базе которой будет выполнен анализ реальных образцов заливочной жидкости скважины 5Г-5 и построены профили распределения компонентов по глубине.

Благодарности: *сотрудникам Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» за помощь в проведении и обработке экспериментальных данных.*

Список литературы

1. Большунов А.В., Игнатьев С.А., Сербин Д.В., Туркеев А.В. Экспериментальное бурение льда с кремнийорганической жидкостью снарядом КЭМС-135 в скважине 5Г (станция Восток, Антарктида) // Записки Горного института. 2025. Т. 273. № 16749. С. 147-158. EDN VWTPCM.
2. Протокол об охране окружающей среды к Договору об Антарктиде. Мадрид, 4 окт. 1991 г.
3. Рыкова А.И. Основы нефтехимии. – 2019. – 39 с.
4. Бутенко, Л.И. Основные методы выделения, очистки и идентификации органических веществ: методические указания / Л.И. Бутенко, Л.В. Лигай, О.А. Андреева. – 3-е издание дополненное и переработанное. – Пятигорск: ООО «Рекламно-информационное агентство на Кавказских Минеральных Водах», 2024. – 60 с. – ISBN 978-5-605-33286-2. – EDN OXRGWG.
5. Silva F.A., Costa M.A., Rodrigues P.L. Bio-gasoline and bio-kerosene production by fractional distillation of pyrolysis bio-oil Açaí seeds // Energy & Fuels. 2021. Vol. 35. No. 7. DOI: 10.20944/preprints202102.0188.v1.
6. Romanenko, E.A., Tkachuk, B.V. Infrared spectra and structure of thin polydimethylsiloxane films. *J Appl S*pectrosc 18, 188–192 (1973). DOI: 10.1007/BF00604710.
7. Mastandrea A. et al. The characterisation of sedimentary organic matter in carbonates with Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy //Advances in Stromatolite Geobiology. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011. – С. 331-342. DOI 10.1007/978-3-642-10415-2_21.
8. Chainet F. et al. Characterization of silicon species issued from PDMS degradation under thermal cracking of hydrocarbons: Part 1–Gas samples analysis by gas chromatography-time of flight mass spectrometry // Fuel. – 2013. – Т. 111. – С. 519-527. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.03.046.
9. Gehring D.G., Barsotti D.J., Gibbon H.E. Chlorofluorocarbons alternatives analysis, Part II: The determination of HCFC-141b purity by gas chromatography //Journal of chromatographic science. – 1992. – Т. 30. – № 8. – С. 301-305. DOI: 10.1093/chromsci/30.8.301.
10. Dewulf J.O., Van Langenhove H., Wittmann G. Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography //TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2002. – Т. 21. – № 9-10. – С. 637-646. DOI: 10.1016/S0165-9936(02)00804-X.

Секция 4. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Алмосова Я.В.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, yanisvladislavovna@mail.ru

Научный руководитель: Кабанов Е.И.
к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Предложен методический подход, позволяющий осуществлять выбор адресных мероприятий по управлению персоналом угольных шахт, основанный на оценке влияния возраста, стажа и профессии работников на их профессиональный риск травмирования. Указанный подход основан на использовании аналитических моделей, полученных при проведении регрессионного, дискриминантного и кластерного анализа статистических данных о травматизме на действующих угольных шахтах. Обоснован алгоритм принятия управленческих решений в отношении работников угольных шахт различных профессий и кандидатов на их должности, позволяющий осуществлять заблаговременную реализацию мероприятий по предотвращению коренных причин травмирования работников.

Ключевые слова: угольная шахта, травматизм, охрана труда, управление персоналом, риск-ориентированный подход, профессиональный риск, кластерный анализ, дискриминантный анализ, регрессионный анализ.

Введение. По общепринятому мнению профессионального сообщества, одной из ключевых причин травмирования персонала угольных шахт является «человеческий фактор» [1], выражающийся в ошибочных действиях работников на различных уровнях менеджмента организации [2-3]. Не смотря на снижение в 2025 году числа несчастных случаев в угледобывающей отрасли [4] (на 16%, до 104 происшествий [5]), с 2023 года отмечается тенденция к росту уровня смертельного травматизма [6], что делает актуальным снижение его уровня и поиск новых подходов к управлению охраной труда. Существующие на данный момент способы анализа производственного травматизма [7-8] и выбора мероприятий по менеджменту персонала в целях охраны труда [9-10] не учитывают результаты сравнительной оценки индивидуального риска травмирования работников в зависимости от их индивидуальных особенностей, характеризующих специфику выполняемых ими трудовых операций и уровень профессиональной подготовки (профессии, стажа и возраста).

Таким образом, целью работы является повышение безопасности труда персонала угольных шахт на основе реализации риск-ориентированного подхода к управлению персоналом. Идея работы заключается в необходимости проведения сравнительной оценки индивидуального риска травмирования работника с учетом его профессии, стажа и возраста для последующего выбора адресных защитных мероприятий по управлению персоналом.

Методы. В работе использованы методы анализа описательной статистики травматизма при подземной добыче угля, методы регрессионного, дискриминантного и кластерного анализов.

Результаты. Получена модель множественной регрессии, позволяющая осуществлять прогноз индивидуального риска травмирования работника угольной шахты

в зависимости от его профессии, стажа и возраста. В ходе применения дискриминантного анализа получена модель, позволяющая определять наиболее вероятную степень тяжести травмы работника. В результате кластерного анализа определены приоритетные мероприятия по управлению персоналом в целях предотвращения возникновения коренных причин травматизма.

Обсуждение. Совокупность полученных результатов позволила сформировать алгоритм принятия управленческих решений в отношении как действующих работников, так и кандидатов на их должности. Применение предложенного алгоритма позволяет установить комплекс адресных защитных мероприятий, учитывающих зависимость коренных причин травмирования работников от их профессии, стажа и возраста, и заключающихся в подборе индивидуальных программ обучения, наставничества и осуществлении контроля действий персонала, в том числе в рамках поведенческого аудита безопасности.

Заключение. Реализация предложенного алгоритма позволит снизить вероятность возникновения ошибочных действий работников при выполнении ими должностных обязанностей и минимизировать уровень профессионального риска травмирования персонала угольных шахт. Дальнейшими направлениями исследования являются разработка модели прогноза ошибочных действий работника, учитывающей комплекс его индивидуальных характеристик, а также разработка рекомендаций для проведения поведенческого аудита безопасности.

Список литературы

1. Виноградова О.В. Роль персонала в обеспечении безопасности на угледобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 64–76. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-64-76.
2. Черских О.И., Макаров А.М., Довженок А.С. Организационно-методический инструментарий для повышения безопасности трудовых процессов на угольных разрезах // Горная промышленность. 2025;(1):109–117. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-109-117
3. Кулецкий В.Н., Жунда С.В., Довженок А.С., К 90 Галкин А.В., Полещук М.Н. Методика повышения качества трудовых процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 9 (специальный выпуск 42). – 40 с. – М.: Издательство «Горная книга». ISSN 0236-1493
4. Сергей Никитин: «81% несчастных случаев в угольной отрасли инспекторы Ростехнадзора не смогли бы предотвратить» // Информационно-аналитический журнал о системах безопасности RUБЕЖ: сайт. URL:https://ru-bezh.ru/gossektor/news/25/12/12/sergey-nikitin-81-neschastnyh-sluchaev-v-ugolnoy-otrasli-inspekt (дата обращения 9.02.2026)
5. «Число несчастных случаев в угольной промышленности в 2025 году снизилось» // ТАСС:сайт. URL:https://tass.ru/ekonomika/26207417 (дата обращения 9.02.2026)
6. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2024 году URL:https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения 9.02.2026)
7. Кравчук И.Л., Кравчук Т.С., Кутузова А.А. Анализ производственного травматизма в угольных шахтах с использованием риск-ориентированного подхода (на примере АО «СУЭК-КУЗБАСС») // Проблемы недропользования. – 2021. – № 3(30). – С. 6-15. – DOI 10.25635/2313-1586.2021.03.006. – EDN RZVJJH.
8. Фомин А.И., Михайленко Е.Д. Оценка компетентности работников угольных шахт // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 1. – С. 58-65. – EDN ZOKDUJ.
9. Туманов М.В., Гендлер С.Г., Кабанов Е.И. [и др.] Индекс персонального риска, как перспективный инструмент управления человеческим фактором в охране труда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 230-247. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230. – EDN WLDBEB.
10. Буйницкий А.И., Полещук М.Н. Качество организационно-управленческих процессов и их результаты в филиале АО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Березовский» // Уголь. 2024;(8):88-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-8-88-94.

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С САМОВОЗГОРАНИЕМ УГЛЯ

Белослудцев И.А.[1], Киренберг Е.А.[2]
[1] аспирант гр. ОПа-221, КузГТ, Кемерово
[2] магистрант гр. ИИм-241, КузГТ, Кемерово, Россия
baa.htnv@kuzstu.ru

Научный руководитель: Бобровникова А.А.
к.х.н., зав. кафедрой ОПИ КузГТУ, Кемерово, Россия

Аннотация. Установлено, что вспененные суспензии из отходов флотации можно использовать для профилактики самовозгорания угля. Константа скорости сорбции кислорода углем снижается более, чем в два раза после воздействия суспензии. Прогрев ранее обработанных вспененными суспензиями и затем окисленных проб угля показал, что их сорбционная активность по отношению к кислороду возросла по сравнению с непрогретыми пробами. Однако обработанный суспензией и разогретый уголь поглотил меньше кислорода, чем окисленный и разогретый.

Ключевые слова: уголь, самовозгорание угля, константа скорости сорбции угля, отходы флотационного обогащения угля, вспененная суспензия, предотвращение самовозгорания, эндогенный пожар, охлаждение очага.

Потери угля при работе угледобывающих предприятий приводят к созданию условий для развития процессов самовозгорания и формирования эндогенных пожаров [1]. Эндогенные пожары возникают в выработанном пространстве угольных шахт [2], при ведении открытых горных работ по добыче угля [3, 4], в местах хранения угля в штабелях [5, 6].

Эффективность борьбы с самовозгоранием угля определяется способами их обнаружения, работами по предотвращению самовозгорания и способами тушения очагов эндогенных пожаров. Для обнаружения очагов самовозгорания используют газово-аналитический метод. Индикаторами процесса самовозгорания являются оксид углерода, водород, углеводороды [7, 8], а также радон [9, 10]. На разрезах применяют контактную температурную съемку [11] и тепловизоры [12].

Для предотвращения самовозгорания угля используются антипирогены [13, 14], которые снижают сорбционную активность угля по отношению к кислороду и подачу инертных газов [15, 16]. В шахтах скопления угля в выработанном пространстве обрабатывают глинистой пульпой [1]. Однако использование антипирогенов и инертных газов требует существенных затрат, а глину не всегда можно добывать в районе угледобывающих предприятий.

Заменить глину для борьбы с самовозгоранием угля можно отходами флотационного обогащения угля, которые наносят экологический ущерб окружающей среде. Более 30 мл. т отходов флотационного обогащения угля хранятся в Кузбассе. Для снижения вредного воздействия отходов обогащения угля исследуется возможность их использования в промышленности [17, 18]. Предпосылкой использования отходов флотации для борьбы с самовозгоранием является большое содержание глинистых частиц. Для применения отходов флотации в качестве антипирогена необходимо определить изменение их собственной сорбционной активности по отношению к кислороду по сравнению с исходным углем. Также следует оценить их воздействие на константу скорости сорбции кислорода углем, обработанным таким составом.

Исследования проводили в три этапа. На первом этапе определяли константу скорости сорбции для угля, отобранного в шахте. На втором этапе в сорбционные сосуды

загружали отходы флотационного обогащения этого угля. На третьем этапе исследовали уголь, обработанный суспензией из твердой части отходов флотации и дистиллированной воды.

По результатам исследований можно сделать вывод, что константа скорости сорбции кислорода у отходов флотационного обогащения угля снижается в семь раз по сравнению с исходным углем. Обработка угля суспензией из отходов флотации, снижает его сорбционную способность по отношению к кислороду в 1,23 раза, поэтому данный состав можно отнести к антипирогенам.

Из результатов расчета следует, что отобранная в шахте проба угля имела длительность инкубационного периода самовозгорания 66,7 суток, что соответствует категории склонных к самовозгоранию [19]. Отходы флотационного обогащения угля имели длительность инкубационного периода самовозгорания 460 суток. Уголь, обработанный суспензией из отходов флотации, увеличил длительность инкубационного периода самовозгорания до 161,4 суток, что позволяет отнести его к категории несклонных к самовозгоранию [19].

Учитывая полученные результаты исследования, суспензию из отходов флотационного обогащения угля можно применять в качестве антипирогена для предупреждения самовозгорания угля. Такую суспензию можно подавать по скважинам в выработанное пространство шахт для обработки теряемых скоплений угля. Использование отходов флотационного обогащения угля для борьбы с эндогенными пожарами позволит снизить затраты на хранение отходов и уменьшит выделение вредных веществ и пыли из хранимых отходов в воздух, а также поверхностные и подземные воды.

Благодарности: *Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кемеровской области-Кузбасса № 25-27-20043, https://rscf.ru/project/25-27-20043/*

Список литературы

1. Скочинский А.А. Рудничные пожары /А.А. Скочинский, В.М. Огиевский. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 375 с.
2. Портола В.А., Храмцов В.И., Ярош А.С. Влияние применяемых в шахтах составов на склонность угля к самовозгоранию // Вестник КузГТУ. 2016. № 1. С. – 63-67.
3. Протасов С.И., Серегин Е.А., Портола В.А., Бобровникова А.А. Исследование очагов эндогенных пожаров на породных отвалах угольных предприятий // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 8. С. 65-70.
4. Калайгорода В.В., Простов С.М., Шабанов Е.А. Инструментальный мониторинг при локации очагов эндогенных пожаров в борту угольного разреза // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 2. С. 124-135.
5. Портола В.А., Жданов А.Н., Бобровникова А.А. Анализ условий, способствующих развитию процесса самовозгорания в штабелях угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6-1. С. 187-197.
6. Федорова, С.Е. Технологии складирования угля для предотвращения самовозгорания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № S2. С. 183-189.
7. Портола В.А., Бобровникова А.А., Син С.А., Игишев В.Г. Особенности выделения индикаторных пожарных газов при подаче азота в очаг самовозгорания угля// Безопасность труда в промышленности. 2022. № 4. С. 47-52.
8. Wang, H.; Zhang, J.; Cheng, H.; Yang, Y.; Wang, L.; Sun, X. Surface-Based CO2 Detection to Identify and Monitor Underground Coal Fires. Natural Resources Research. 2022, 31 (1), 551-69, DOI: 10.1007/s11053-021-09995-2
9. Портола В.А., Тайлаков О.В., Ли Хи Ун, Соболев В.В., Бобровникова А.А. Обнаружение, локация и оценка состояния очагов подземных пожаров по аномалиям радона на земной поверхности. Уголь. 2021. № 5. С. 47-52.
10. Коршунов Г.И., Мироненкова Н.А., Полещук А.А. Актуальные методы определения очагов самовозгорания на угольных шахтах. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2025. № 5. С. 169-180.

11. Протасов С.И., Портола В.А., Серегин Е.А. Влияние сезонных колебаний температуры атмосферы на очаги самовозгорания породных отвалов. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2025. № 2. С. 100-110.

12. Портола В.А., Черских О.И., Протасов С.И., Серегин Е.А., Шваков И.А. Особенности проведения тепловизионной съемки для обнаружения очагов самовозгорания на угольном разрезе. // Горная промышленность. 2023. 1. С. 95-100.

13. Корольченко Д.А., Халиков Р.В. Исследование локализации эндогенных пожаров в угольных шахтах комплексными ингибиторами. Безопасность труда в промышленности. 2025. № 11. С. 65-72.

14. Исследование воздействия антипирогенов на процесс самовозгорания бурого угля / В.А. Портола, О.И. Черских, С.И. Протасов, Е.А. Серегин, И.А. Шваков. // Уголь. 2022. № 12. С. 54-60.

15. Коврижин О.И., Коляда А.Ю., Калиниченко Н.А. Использование газообразного азота при ликвидации подземных пожаров // Научный вестник НИИГД Респиратор. 2020. № 5 (57). С. 37-44.

16. Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г. Повышение безопасности и эффективности использования азота для борьбы с самовозгоранием угля в выработанном пространстве шахт. Уголь. – 2019. – № 2. – С. 11-14.

17. Мурко В.И., Карпенок В.И., Баранова М.П. Вихревой способ сжигания водоугольного топлива из шламов углеобогащения. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 15. № 3. С. 338-345.

18. Черникова С.А., Левицкий С.И., Торопов А.В. Использование отходов добычи и обогащения угля. Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 10 (76). С. 154-157.

19. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при переработке, обогащении и брикетировании углей» (утверждены приказом Ростехнадзора № 428 28.10.2020, зарегистрирован в Минюсте России 21.12.2020 г. № 61627), в редакции приказа Ростехнадзора №485 от 27.12.2023 (зарегистрирован в Минюсте России 15.03.2024 г. N 77520).

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ОХРАННО-ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И МОДУЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Блажнов В.[1], Алтухова А.П.[2]
[1] студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, vyacheslavblazhnov@gmail.com

[2] к.э.н., доцент кафедры Отраслевая экономика, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, Altukhova_AP@pers.spmi.ru

Научный руководитель: Алтухова А.П.
к.э.н., доцент кафедры Отраслевая экономика, Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе анализируются текущее состояние и основные тенденции функционирования рынка охранно-пожарной безопасности Республики Казахстан. Проведён сравнительный анализ ведущих отечественных и зарубежных производителей систем сигнализации и газового пожаротушения. В рамках исследования акцентируется внимание на применении автоматических установок газового пожаротушения, а также на характеристиках современных огнетушащих веществ, обладающих пониженной экологической нагрузкой. На основе статистических данных о пожарах за 2024 год обосновывается необходимость внедрения комплексных инженерных решений. Результаты исследования подтверждают, что внедрение современных систем охранно-пожарной безопасности позволяют существенно повысить эффективность предотвращения и ликвидации возгораний.

Ключевые слова: охранно-пожарная сигнализация, системы оповещения и управления эвакуацией, газовое пожаротушение, огнетушащие вещества, техносферная безопасность, экологичность, предотвращение пожаров.

Введение. Строительный сектор в Республике Казахстан играет важную роль в экономическом развитии страны, и с его ростом растет необходимость в качественных и надежных решениях охранно-пожарной безопасности.

Проблема заключается в том, что казахстанский рынок в сфере охранно-пожарной безопасности испытывает импортную зависимость от иностранных брендов и компонентов, где в поставке готовых решений преобладают российские, китайские и европейские производители. При этом производство отечественного оборудования находится на стадии становления, что осложняет внедрение локальных систем. На практике ключевую роль играют интеграторы – которые обеспечивают поставку, монтаж и техническое обслуживание комплексных систем безопасности.

Цель исследования – анализ состояния и тенденций развития рынка охранно-пожарной безопасности в Республике Казахстан, а также рассмотрение принципов работы и областей применения модульных установок газового пожаротушения.

Задачи исследования включают:

- выявление структуры и особенностей казахстанского рынка охранно-пожарных систем;
- анализ основных производителей и интеграторов, действующих в данной сфере;
- классификацию применяемых систем сигнализации и пожаротушения;
- рассмотрение состава и экологической эффективности современных огнетушащих веществ;
- оценку необходимости внедрения комплексных инженерных решений на основе статистики пожаров в стране;

Методы. Исследование основано на анализе открытых статистических и отраслевых данных, отражающих состояние рынка охранно-пожарных систем в Республике

Казахстан. В работе использованы сведения Бюро национальной статистики, Комитета противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан (МЧС РК), а также аналитические материалы ведущих отечественных компаний. Методологической основой исследования является метод сравнительного анализа, включающий изучение структуры рынка, состава участников и ассортимента применяемых систем.

Результаты. Проведенное исследование позволило определить ключевые тенденции развития рынка охранно-пожарной безопасности в Республике Казахстан. По официальным данным Бюро национальной статистики, в период с января по сентябрь 2025 года объем строительно-монтажных работ вырос на 14,9% (943,1 млрд рублей) [9], что подтверждает устойчивый тренд на ввод новых зданий и реконструкцию существующих объектов.

Установлено, что отечественная отрасль формируется преимущественно как интеграторская модель, в рамках которой компании обеспечивают внедрение и адаптацию зарубежных технологий к национальным нормативам и условиям эксплуатации. Собственное производство оборудования находится на стадии становления, однако наблюдается постепенный рост доли локальных решений и комплектующих, в частности со стороны ТОО «Эгида Group» [10], ТОО «INTANT» [11] и других предприятий [2, 3].

Результаты анализа показали, что на рынке присутствует широкий спектр систем, включающих охранно-пожарную сигнализацию (АПС/ОПС), системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), а также различные типы установок пожаротушения – водяные, пенные и газовые [6, 8]. Наибольшую востребованность в последние годы получили автоматические системы газового пожаротушения (АГПТ), принцип работы которых основан на подаче газового огнетушащего вещества (ГОТВ) в защищаемое помещение. В результате снижается концентрация кислорода до уровня, при котором горение становится невозможным. Эти установки позволяют эффективно защищать оборудование и материальные ценности без нанесения ущерба имуществу. Подобные решения особенно востребованы на объектах с дорогостоящим оборудованием и электроникой – в серверных, центрах обработки данных, музеях, архивах и лабораториях [1].

В ходе работы были систематизированы данные об используемых в Казахстане газовых огнетушащих веществах. Наиболее распространенными являются хладоновые составы HFC-125 и HFC-227ea, а также экологичные альтернативы на основе фторкетона FK-5-1-12 и инертных газов. Последние характеризуются отсутствием химических реакций и вторичных продуктов, что делает их безопасными для человека и оборудования [5,7]. Отмечается рост интереса к экологически устойчивым технологиям и стремление производителей адаптировать продукцию под концепцию «зеленого» строительства [4].

Анализ статистических данных Комитета противопожарной службы МЧС РК подтвердил, что проблема обеспечения пожарной безопасности остается актуальной. В 2024 году зарегистрировано 11549 пожаров, в которых погибло 326 человек и 322 получили травмы, при этом 60% возгораний приходятся на жилой сектор. Основными причинами инцидентов являются нарушения правил эксплуатации электрооборудования, неисправность отопительных систем и неосторожное обращение с огнем [12]. Полученные эмпирические данные подтверждают необходимость оснащения объектов различного назначения комплексными инженерными решениями и современными автоматизированными системами защиты.

Обсуждение. На рынке охранно-пожарной безопасности Казахстана фиксируется постепенная трансформация отраслевой модели. Вместо ранее доминировавшего подхода, ориентированного на оборудование как таковое, возрастающее число участников рынка концентрирует усилия на обеспечении высокого качества проектирования, инсталляции и сервисного обслуживания систем. Данная тенденция указывает на переход рынка к более структурированному состоянию и его ориентацию на долгосрочное взаимодействие с объектами защиты.

В числе ключевых векторов развития рассматриваемой сферы следует выделить внедрение экологически безопасных технологий. Использование фторкетонов и инертных газов демонстрирует стремление к соответствию международным стандартам, в которых акцент делается на сочетании высокой эффективности подавления возгораний с минимизацией рисков для здоровья человека и экологической безопасности. Перспективы дальнейшего развития рынка обусловлены необходимостью подготовки высококвалифицированных специалистов, а также совершенствования нормативной базы. Эффективность работы систем и, как следствие, уровень защищённости объектов напрямую детерминированы качеством подготовки инженеров, проектировщиков и сервисного персонала.

Обобщая сказанное, отметим, что дальнейшее развитие сферы охранно-пожарной безопасности в Казахстане необходимо выстраивать на комплексной основе, объединяющей внедрение передовых технологий, подготовку квалифицированных кадров и укрепление национальной инженерной базы.

Заключение. Проведённое исследование выявило ключевые особенности и тенденции развития казахстанского рынка охранно-пожарной безопасности. Отрасль демонстрирует переход к комплексным инженерным решениям с приоритетом качества проектирования, монтажа и обслуживания систем. Установлено, что внедрение экологичных технологий и безопасных огнетушащих веществ соответствует актуальным требованиям техносферной безопасности.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения его результатов при разработке проектных решений, подготовке специалистов и совершенствовании нормативной базы. Дальнейшие исследования целесообразно направить на детальный анализ эффективности отечественных систем и их адаптации к различным типам объектов.

Список литературы

1. Волкова С.Н., Маркова Л.Ю. Газовое пожаротушение как один из видов систем противопожарной защиты // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы.2018. С. 121-123.
2. Гусев А.В. Казахстан – крупнейший рынок для российских производителей систем пожарной безопасности на просторах ЕАЭС // Журнал «РУБЕЖ». 2024.
3. Гусев А.В. Практика в университетах не приветствуется // Журнал «РУБЕЖ». 2025.
4. Каранова. В.В., Сикорская М.Н.А. «Зеленое» строительство // Вестник магистратуры. 2017. № 9(72). С. 15-20.
5. Котова М.Ю. Система газового пожаротушения Novec 1230 // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2011. С. 1-2.
6. Корольченко А.Я., Шилина Е.Н. Газовое пожаротушение // Средства и способы тушения пожаров. 2016. С. 57-64. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65.
7. Тукан Е.И. Система пожарной сигнализации // Фундаментальные и прикладные исследования. 2013. С. 1-8.
8. Хоанг Т.Д., Корольченко А.Я. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре // Безопасность людей при пожаре. 2013. С. 69-75.
9. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Раздел «Строительная деятельность». – URL: https://stat.gov.kz/ (дата обращения: 22.10.2025)
10. ТОО «Эгида Group». Официальный сайт компании. – URL: https://egida.kz/ (дата обращения 22.10.2025)
11. ТОО «INTANTt». Официальный сайт компании. -URL: https://intant.kz/ (дата обращения 23.10.2025)

УДК 654.924.5

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Болтов И.А.
студент СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия, boltovila30@gmail.com

Научный руководитель: Жеребко Т.Г.
ассистент кафедры ТСБ, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе рассматривается концепция модульного мультисенсорного датчика для систем пожарной сигнализации, ориентированного на раннее выявление возгораний и последующую модернизацию до сенсоров экологического мониторинга. Предложенная архитектура основана на ключевых физических параметрах (дым, температура, газовый состав воздуха, аэрозольные частицы) с локальной обработкой данных. Показано, что переход к открытой архитектуре и применение методов машинного обучения позволяет снизить вероятность ложных срабатываний и расширить функциональность датчиков.

Ключевые слова: техносферная безопасность, пожарная безопасность, мультисенсорный датчик, экологическая безопасность, интеллектуальная обработка данных.

Современные системы пожаротушения и пожарной сигнализации опираются на одиночные, иногда на комбинированные дымовые и тепловые датчики, что ограничивает чувствительность сенсоров и приводит к ложным срабатываниям в эксплуатационных условиях, а также приводит к низкой функциональной эффективности данных узлов мониторинга. На зарубежном рынке активно развиваются интеллектуальные датчики, работающие в реальном времени, интегрирующие несколько физических факторов обнаружения. Целью работы является обоснование концепции модульного мультисенсорного датчика, способного обеспечивать раннее выявление пожаров и расширение до экологического мониторинга [1].

В работе применен сравнительно-аналитический подход, основанный на сопоставлении российских и китайских решений в области пожарной сигнализации и интеллектуального обнаружения опасных ситуаций на предприятиях. На первом этапе были выделены функциональные требования к проектируемой системе: простая интеграция в существующую инфраструктуру, удобство программного обеспечения для инженеров, высокая достоверность обнаружения пожара и возможность расширения функционала за счёт дополнительных сенсорных модулей для прогнозирования экологических рисков [2]. На втором этапе проведен анализ российских платформ, прежде всего решений на основе «Болид» и «Рубеж», как примеров систем, ориентированных на промышленное внедрение, адресную идентификацию [3].

Первая часть анализа существующих систем на отечественном рынке ориентирована на архитектуры, которые наиболее востребованы на предприятиях и обладающие развитой независимой инженерной экосистемой. Рассматривались принципы работы адресных извещателей, контролеров, приемно-контрольных и программных средств управления, так как именно эти составляющие отвечают за удобство эксплуатации, диагностики и обслуживания на объекте.

Вторая часть анализа была посвящена китайским системам, которые более эффективно задействуют интеллектуальные датчики и алгоритмы раннего обнаружения опасных ситуаций. В качестве ключевого направления рассматривались решения, в которых используются методы искусственного интеллекта, видеоаналитика и комбинированная обработка данных от нескольких сенсоров одновременно. Анализ показал, что сильная сторона их систем заключается не столько в классической пожарной автоматике, сколько в развитых алгоритмах распознавания дыма, перегрева, визуальных

признаков возгораний и нештатных изменений в окружающей среде. Именно эти возможности были выбраны как основа для интеллектуального модуля предлагаемого гибридного продукта.

На следующем этапе мы разделили проектируемую систему на два ключевых уровня: российское ядро и новый интеллектуальный модуль. Выбранное ядро должно обеспечивать нормативно приемлемую интеграцию на предприятии, работу через привычный интерфейс и передачу аварийных сигналов уже в существующие системы мониторинга. Предложенный модуль будет отвечать за обработку данных с датчиков, классификацию событий и выдачу сигнала не только по пороговым значениям, но и на основе совокупности признаков, характерных для развития пожара или превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. Такой подход позволяет совместить надежность и интеллектуальность.

Таблица 1

Сравнение ключевых характеристик существующих и проектируемой систем

Параметр	**Системы в Российской Федерации**	**Зарубежные системы**	**Предлагаемый мультисенсорный датчик**
Тип обработки сигналов	Пороговая, по отдельным каналам	Интеллектуальная, по совокупности	Интеллектуальная локальная предобработка + классификация по нескольким сенсорным каналам
Количество анализируемых параметров	1-2(дым, температура)	3-6(дым, температура, изображение, иногда газы)	5-8(дым, температура, газовый состав, аэрозольные частицы PM2.5/PM10, визуальные признаки)
Отнормированная доля ложных срабатываний, ед.	1,0	0,70	0.60-0,70
Возможность расширения	Невозможно	Мультисенсорность	Мультисенсорность, создание нового уровня мониторинга техносферы
Относительная начальная стоимость, ед.	1,0	1,5-2,0	1,3-1,8
Относительные совокупные затраты жизненного цикла, ед.	1,0	0,8-1,2	0,7-1,0

В результате методика исследования позволила перейти от простого обзора рынка к обоснованию новой архитектуры, в которой отечественная система выполняет роль интеграционного и нормативного каркаса, а новый модуль – интеллектуального слоя раннего обнаружения. Такой подход является перспективным для создания уникального продукта, который сможет получить необходимые сертификаты, разрешительные документы.

В результате сравнительного анализа российских и зарубежных решений сформирована концепция гибридной системы пожарной и экологической безопасности. В качестве базовой платформы выбран «Рубеж», так как его архитектура, протоколы обмена и программное обеспечение ориентированы на промышленное внедрение, удобны для инженеров и хорошо подходят для подключения к существующей инфраструктуре предприятий. Это позволяет использовать привычную для проектировщиков и эксплуатационных служб систему без необходимости полной замены действующего оборудования [4].

Проведенный анализ показал, что существующие платформы целесообразны и полноценны как ядро системы, но основным их ограничением является ориентация на пороговое срабатывание и узкий набор признаков, используемых для принятия решения

о тревоге. Именно поэтому в структуру системы было предложено добавить интеллектуальный модуль, основанный на принципах, при которых оценка опасности основана на совокупности данных, а не только на одном сенсорном канале [5].

В рамках нашей концепции новый модуль выполняет функцию предварительной интерпретации сигналов. Он анализирует данные от датчиков дыма, температуры, газового состава воздуха и, при необходимости, визуальные признаки опасности, после чего формирует заключение о состоянии контролируемой зоны [6]. Такой подход позволяет повысить достоверность обнаружения за счёт интеллектуальной фильтрации помех и распознавания ранних стадий развития опасного процесса. Дополнительно это снижает количество ложных срабатываний, которые характерны для запыленных, влажных помещений.

Отдельным результатом работы стало включение в состав системы датчиков экобезопасности. Вместе с классическими пожарными сенсорами предложено использовать датчики PM2.5, PM10, летучих органических соединений, угарного газа, углекислого газа, оксидов азота и сероводорода. Это расширяет функционал системы за пределы традиционной пожарной сигнализации и позволяет применять ее для контроля качества воздуха, выявления техногенных загрязнений и оценки экологических рисков в производственной среде. Таким образом, один и тот же аппаратный комплекс может работать как извещатель пожарной опасности, так и быть узлом мониторинга воздушной среды помещения [7], [8].

На основе полученных результатов сформирована итоговая структура мультисенсорного продукта. Основа системы обеспечивает нормативную совместимость [9], удобство использования на предприятии, а интеллектуальный уровень добавляет расширенную обработку данных и раннее обнаружение рисков. Расширенный сенсорный блок делает систему прагматичной и универсальной. Такая архитектура обладает практической ценностью, поскольку она ориентирована на обеспечение пожарной и экологической безопасности.

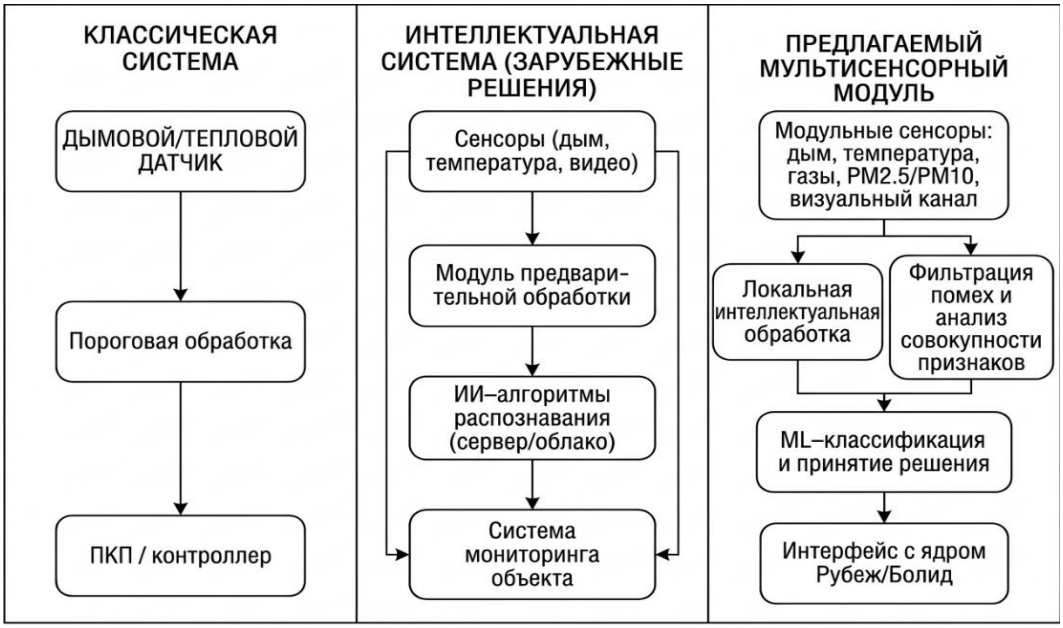


Рис. 1. Сравнительная структурная схема классической, интеллектуальной и проектируемой модульной мультисенсорной систем пожарной сигнализации

Предложенная архитектура может рассматриваться как основа для разработки практико-ориентированной платформы техносферной безопасности, объединяющей функции пожарного контроля и экологического мониторинга.

В результате анализа российских и зарубежных решений была сформирована концепция гибридной системы пожарной и экологической безопасности, основанной на разделении функций между нормативно совместимым ядром и интеллектуальным модулем раннего обнаружения. Конкретным результатом работы стало обоснование архитектуры, в которой классическая система выполняет интеграционную и сертификационную роль, а новый модуль обеспечивает анализ совокупности данных от нескольких сенсорных каналов и выявление опасных ситуаций [10].

Практический эффект предложенного решения заключается в повышении достоверности обнаружения, снижении вероятности ложных срабатываний и возможности расширения существующей инфраструктуры без её полной замены. Дополнительно система создает основу для комплексного мониторинга не только пожарной, но и экологической обстановки на предприятии, что повышает её прикладную ценность для промышленных объектов.

Список литературы

1. Искусственный интеллект в строительстве // eLIBRARY.RU. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41504483 (дата обращения: 10.03.2026).
2. Проблемы искусственного интеллекта в строительстве // eLIBRARY.RU. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82450870 (дата обращения: 10.03.2026).
3. Адресные системы охранно-пожарной сигнализации Болид // Адресные системы ОПС «Болид». URL: https://www.aktivsb.ru/adresnye-sistemy-ops/bolid/ (дата обращения: 27.03.2026)
4. Пожарная сигнализация (СПС) // Компания «Рубеж». URL: https://products.rubezh.ru/catalog/pozharnaya_signalizatsiya/ (дата обращения: 17.03.2026)
5. Информационные и интеллектуальные системы мониторинга и раннего обнаружения пожарной опасности // Научная статья. URL: https://uprinmatus.elpub.ru/jour/article/download/23/23 (дата обращения: 20.03.2026).
6. Мультисенсорные пожарные извещатели // Журнал «Рубеж». URL: https://ru-bezh.ru/journal-17/22853-bez-lozhnoj-skromnosti (дата обращения: 20.03.2026).
7. DAF-YOLO: Detection of Unsafe Behaviors on Construction Sites // PMC. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12694353/ (дата обращения: 21.03.2026).
8. Computer Vision for Construction Progress Monitoring: A Real-Time Object Detection Approach // arXiv. 2023. URL: http://arxiv.org/abs/2305.15097v1 (дата обращения: 21.03.2026).
9. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ред. от 25.12.2023). URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/30476 (дата обращения: 24.03.2026).
10. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства. СНиП 12-01-2004. Утв. приказом Минстроя России от 24.12.2019 № 861/пр., введен в действие с 25.06.2020. URL: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=101&RegNum=54&DocOnPageCount=100&page=1&id=237008 (дата обращения: 24.03.2026).

УДК 622:331.461.2

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОСТИ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Вшивцев В.Д.
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, vvsd02@inbox.ru

Научный руководитель: Родионов В.А.
к.т.н., доцент, доцент каф. Безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.

Аннотация. В работе рассматривается проблема прогнозирования взрывоопасности рудничной атмосферы в угольных шахтах. Приведены, выявленные на основе анализа научно-технической литературы и нормативно-правовых актов, системные недостатки традиционных детерминированных систем контроля, которые не позволяют адекватно учитывать неопределенность исходных данных и множественность влияющих факторов. Обоснована целесообразность применения аппарата нечеткой логики для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Показано, что внедрение таких систем способствует не только повышению безопасности, но и дает значительный экономический эффект за счет предотвращения аварий, сокращения простоев и сохранения рабочих мест.

Ключевые слова: взрывоопасность, рудничная атмосфера, нечеткая логика, прогнозирование, экономическая эффективность, промышленная безопасность

Обеспечение взрывобезопасности угольных шахт на сегодняшний день остается одной из наиболее сложных и приоритетных задач в области промышленной безопасности [1, 2]. Несмотря на постоянное совершенствование технических средств контроля и систем автоматического газового контроля, аварии, связанные с воспламенением пылегазовоздушных смесей продолжают происходить, при этом как правило приносят значительный материально-технический ущерб предприятиям и создают угрозу жизни и здоровью работников [3, 4, 5].

Целью настоящей работы является определение возможности применения нечетко-логических систем для прогнозирования взрывоопасности рудничной атмосферы на основе анализа недостатков традиционных методов и оценки ожидаемого экономического эффекта в условиях ограниченности исходных данных.

Традиционные системы контроля, применяемые в настоящее время, необоснованно настроены на значения концентраций метана значительно ниже нижнего концентрационного предела, при этом содержание кислорода в рудничной атмосфере при нормальных условиях изменяется в пределах 20-21%. Такой детерминированный подход имеет ряд принципиальных недостатков [1, 6]. Во-первых, он не учитывает динамику газовыделения, погрешности измерительных приборов и пространственную неоднородность распределения газов по выработке [2, 4, 7]. Во-вторых, в реальных условиях на взрывоопасность влияет множество взаимосвязанных факторов: температура, влажность, скорость воздушных потоков, дисперсность угольной пыли, наличие источников зажигания и др. [1, 8]. Жесткие пороговые значения взрывоопасных свойств обращающихся веществ и материалов в пространстве горных выработок не позволяют формализовать качественные знания специалистов в области предотвращения взрыва [9]. Как следствие, детерминированные подходы часто дают ложные срабатывания (что приводит к необоснованным простоям) либо запаздывают в распознавании условий, предшествующих возникновению аварийной ситуации пожар/взрыв [10].

Альтернативой выступают методы нечеткой логики, которые позволяют оперировать неточными, неполными данными, работать с лингвистическими переменными

(«низкая концентрация метана», «повышенная запыленность» и пр.) и имитировать логику принятия решений человеком-экспертом [2, 6]. Считаем, что применив такой подход база правил модели нечеткой логики может дополняться и корректироваться без изменения общей архитектуры, а гибридные подходы – например, использование нейро-нечетких сетей – открывают возможности для самообучения на основе накопленных данных.

Помимо технических аспектов, необходимо обратить внимание и на экономическую составляющую. Каждая крупная авария влечет за собой огромные затраты на ликвидацию последствий, простои в работе, выплату компенсаций пострадавшим и колоссальную потерю трудовых ресурсов. За последние 5 лет суммарный ущерб от взрывов в угольной отрасли страны оценивается более чем в 50 миллиардов рублей. Внедрение системы прогнозирования на основе нечеткой логики позволит значительно снизить частотность аварии, и, как следствие, экономический и социальный ущерб [5].

Исходя из всего вышесказанного, можно утверждать, что внедрение систем прогнозирования на основе нечеткой логики представляет собой не только технически обоснованное, но и экономически целесообразное решение. Традиционные системы аэрогазового контроля имеющиеся в шахтах, несмотря на свою надежность и многолетнюю апробацию, не способны обеспечить требуемый уровень достоверности прогноза в сложных горно-геологических условиях [7, 10]. В то время как, нечеткая логика позволит перейти от простого уведомления о превышении критических концентраций к интеллектуальной поддержке принятия решений, т.е. тогда, когда система выдает рекомендации по изменению режима проветривания, снижению нагрузки на очистные забои или эвакуации персонала и т.п. Это особенно важно в условиях, когда запаздывание в принятии решения может привести к катастрофическим последствиям.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание опытных образцов таких систем, их адаптацию к конкретным горно-геологическим условиям и апробацию в реальных шахтах.

Список литературы

1. Кабанов Е.И., Корушнов Г.И., Родионов В.А. Разработка экспертной системы на основе нечеткой логики для оценки риска взрывов метана и пыли на угольных шахтах // Горный журнал. 2022. № 3. С. 45–51. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.17.
2. Домрачев А.Н., Палеев Д.Ю. Использование аппарата нейронных сетей и нечеткой логики при оценке вероятности взрыва пылеметановоздушной смеси // Проблемы безопасности горного производства. 2020. № 1. С. 12–19. EDN: SFMMWZ.
3. Kursunoglu N., Onder M. Fuzzy multi-criteria decision-making framework for controlling methane explosions in coal mines // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 9045-9061. DOI: 10.1007/s11356-023-31782-0.
4. Николин В.И., Подкопаев С.В. Прогнозирование взрывоопасности рудничной атмосферы на основе нейронных сетей // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 7. С. 23–29.
5. Nevskaya E.E., Guskov M.A., Samylovskaya E.E. Advanced Risk Assessment in Coal Mines: Integrating Fuzzy Logic and Linguistic Variables for Enhanced Hazard Management // International Journal of Engineering. 2025. Vol. 38. No. 12. P. 2854–2864. DOI: 10.5829/ije.2025.38.12c.04.
6. Brodny J., Felka D., Tutak M. The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process // Archives of Mining Sciences. 2018. Vol. 63. No. 4. P. 857–874. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.133258.
7. Shi S., Jiang B., Meng X., Yang L. Fuzzy fault tree analysis for gas explosion of coal mining and heading faces in underground coal mines // Advances in Mechanical Engineering. 2018. Vol. 10. No. 8. P. 1–13. DOI: 10.1177/1687814018792318.
8. Liu X., Zhang Y., Wang J., Li H. Risk assessment of gas explosion based on fuzzy Bayesian network improved by entropy weight method // Safety in Coal Mines. 2024 Vol. 56 No. 1. P. 52-61. DOI: 10.13347/j.cnki.mkaq.20231154.
9. Xu K., Li S., Lu C., Liu J. Risk assessment of coal mine gas explosion based on cloud integrated similarity and fuzzy DEMATEL // Process Safety and Environmental Protection. 2023. Vol. 177. P. 1211-1224. DOI: 10.1016/j.psep.2023.07.043.
10. Danish E., Onder M. Application of Fuzzy Logic for Predicting of Mine Fire in Underground Coal Mine // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. No. 3. P. 455–461. DOI: 10.1016/j.shaw.2020.06.005.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА НЕОДНОРОДНЫЙ МАССИВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЛАТИНСКОГО ГИПЕРКУБА И КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ

Галиуллина Р.А.
студент, кафедра технологической безопасности и горноспасательного дела,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Научный руководитель: Афанасьев П.И.
кандидат технических наук,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе решена задача прогноза скоростей колебаний в прибортовом массиве золоторудного карьера при массовых взрывах с учётом литологической неоднородности. Для моделирования изменчивости физико-механических свойств применён метод латинского гиперкуба (10 000 сценариев) с последующей статистической обработкой методом квантильной регрессии. Расчёты скоростей колебаний выполнены по зависимостям В.Ф. Богацкого. Определены особенности затухания волн с учётом неоднородности массива, а также выявлена зависимость, позволяющая оптимизировать параметры буровзрывных работ и снизить вероятность повреждения бортов карьера.

Ключевые слова: Сейсмическое воздействие, взрывные работы, открытые горные работы, сейсмобезопасность, квантильная регрессия, метод латинского гиперкуба.

Актуальность работы. С увеличением глубины карьера под влиянием добычных работ и реологического ослабления массива активизируются процессы изменения трещинообразования массива, которые изменяют параметры распространения упругих волн, тем самым изменяя чувствительность бортов карьера к динамическим нагрузкам от массовых взрывов[2, 4]. Золоторудные месторождения характеризуются сложным литологическим строением и наличием различных литотипов пород с отличающимися упругими и прочностными свойствами. Различие скоростей продольных (C_p) и поперечных (C_s) волн приводит к вариативности их расположения в массиве горных пород и формированию неравномерного поля скоростей колебаний, что затрудняет применение детерминированных методов прогноза [1].

Объект и методы исследования. Объектом исследования является прибортовой массив золоторудного карьера, представленный литотипами со следующими диапазонами параметров: C_p = 2568,9–2752 м/с, C_s = 1569,3–1684,1 м/с, плотность γ = 2,75–2,83 т/м³.

Расчёт скоростей колебаний в массиве выполнен на основе зависимости Богацкого В.Ф.[1]:

$$u=\sqrt[3]{\frac{C_p}{\gamma}\left(1-\frac{4}{3}\frac{C_s^2}{C_p^2}\right)^2}\sqrt{\frac{\gamma C_p}{(\gamma C_p)_н}}R_э^{-2,21R_э^{-0,05}}, \quad (1)$$

где u – скорость колебаний в зоне размещения охраняемых объектов, м/с; Ср – скорость продольной волны,м/с; Cs – скорость поперечной волны, м/с; Rэ – эквивалентное расстояние, м; γ– плотность породы,т/м^3.

Ввиду вариативности исходных параметров среды применяется метод латинского гиперкуба, который представляет собой стратифицированный метод отбора значений [7]. В отличие от простого случайного выбора, метод латинского гиперкуба позволяет обеспечить, что каждый варьируемый параметр (плотность пород, скорости волн, свойства ВВ)

[1] Богацкий В.Ф., Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. М., «Недра», 1978, 128 с

равномерно охватывает весь диапазон своих возможных значений путем разбиения на равновероятные интервалы. При генерации 10 000 расчетных вариантов метод позволяет учесть не только изменчивость свойств массива, но и корреляционные связи между ними (например, между плотностью породы и скоростью продольных волн). Полученная в результате выборка обеспечивает репрезентативное распределение скоростей колебаний, что позволяет перейти от детерминированной оценки к вероятностной. Это дает возможность рассчитать не только средние ожидаемые значения, но и крайние (например, квантиль 90%), необходимые для инженерной оценки рисков.

Затем на основе сгенерированных и рассчитанных параметров строятся квантильные регрессии[6] с применение зависимости М.А. Садовского[2]:

$$V = K(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R})^n, \quad (2)$$

где K – коэффициент сейсмичности, n – показатель затухания.

Используя консервативную оценку (верхний квантиль) для прогноза скорости, формируется запас по скорости колебаний, учитывающий наихудшие возможные сочетания свойств массива и условий взрыва[3,5].

Основная часть. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

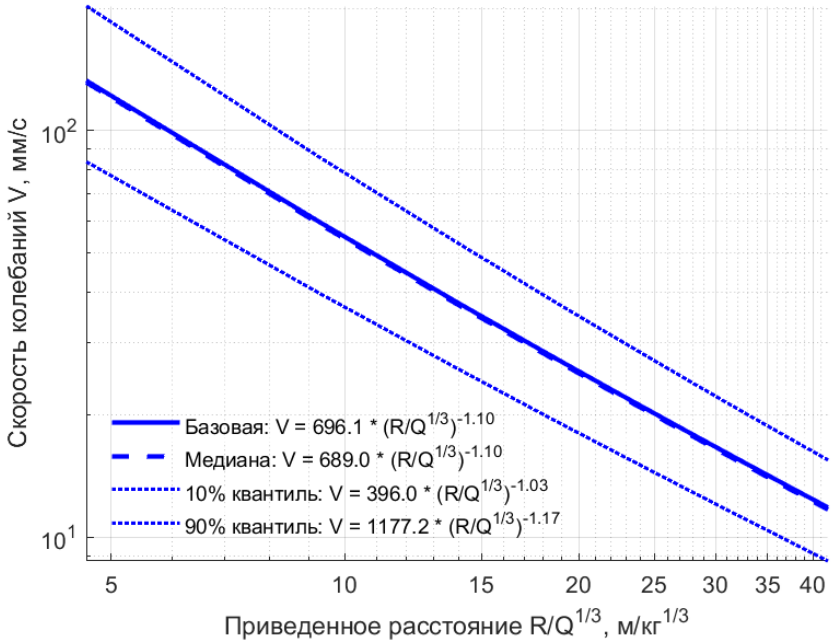


Рис. 1. Расчет по методу гиперкуба с применением квантильной регрессии
[*составлено автором*]

Для примера был произведен расчет взрыва в кварц-слюдистые углеродистые сланцы с переходом сейсмовзрывной волны в карбонат-кварц-слюдистые метасоматиты. Для скважины глубиной 11 м, диаметром 311 мм. Из рисунка следует, что базовая регрессионная кривая, которая является кривой, определенной по методу наименьших квадратов, имеет достаточное сходство с медианой квантильной регрессии. При этом в виду разброса исходных параметров для обеспечения наилучшей надежности можно использовать 90% квантильную регрессию по причине обеспечения не превышения прогнозируемых скоростей в расчетной области.

[2] Садовский М. А. Геофизика и физика взрывов. – М.: Наука, 1987. – 256 с.

Выводы. Предложенный подход, основанный на сочетании физической волновой модели и метода латинского гиперкуба, позволяет учитывать литологическую неоднородность и трещиноватость массива при прогнозировании сейсмовзрывного воздействия. Традиционные методы дают одну зависимость, которая может занижать или завышать прогнозируемые скорости от конкретных условий. Предложенный подход даёт не одну, а семейство кривых, соответствующих разным вероятностным уровням. Это позволяет количественно оценить неопределённость прогноза и принять решение с известным риском. Полученные зависимости могут использоваться для обоснованного выбора массы заряда и схемы инициирования с целью снижения вероятности разрушения бортов карьер.

Список литературы

1. Господариков А.П., Выходцев Я.Н., Зацепин М.А. Метод расчета воздействия сейсмовзрывной волны на неоднородный массив горных пород, включающий горизонтальную выработку. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 6. С. 30-41. DOI: 10.15372/FTPRPI20200603.
2. Афанасьев П.И., Павлович А.А., Мельников Н.Я., Николаев Р.В. Особенности распространения сейсмовзрывных волн в скальных прибортовых массивах. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2025. № 1-1. С. 17-32. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_17.
3. Болотова Ю.Н. Влияние конструкции заряда взрывчатого вещества на формирование сейсмовзрывных волн. Взрывное дело. 2021. № 133-90. С. 149-157. EDN: SOVJCK.
4. Khandelwal, M., Singh, T.N. Prediction of blast-induced ground vibration using statistical and AI approaches // Engineering Geology. – 2020. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105708.
5. Liu, Y., Lu, W., Chen, M. Stability of open-pit slopes under blasting dynamic loads // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2021. DOI: 10.1007/s00603-021-02456-3.
6. Koenker, R. Quantile Regression. – Cambridge University Press, 2005. DOI: 10.1017/CBO9780511754098
7. Zhao W., Chen Y., Liu J. Reliability sensitivity analysis using axis orthogonal importance Latin hypercube sampling method // Advances in Mechanical Engineering. – 2019. DOI: 10.1177/1687814019826414

УДК 331.45

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОПОЛОГИИ КАРЬЕРНЫХ ДОРОГ НА ОБЗОРНОСТЬ ТРАССЫ ДЛЯ ВОДИТЕЛЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Глум Т.П.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, tikhonglum@yandex.ru

Научный руководитель: Гендлер С.Г.
д.т.н., профессор кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Работа посвящена тематике повышения безопасности эксплуатации внутрипроизводственных логистических систем. Изучается влияние топологии карьерных дорог на безопасность эксплуатации карьерного транспорта. Исследование представляет анализ особенностей воздействия топологии карьерных дорог на видимость трассы для водителя. Целью работы является изучение проблемы учёта топологии карьерных дорог при оценке обзорности трассы для водителя для повышения безопасности движения. Задачами исследования является обзор литературы и нормативной документации, оценка требований к обзорности трассы для водителя, систематизация полученных результатов.

Ключевые слова: безопасность производств, безопасность перевозок, карьерный транспорт, охрана труда, топология дорог, транспортный травматизм.

Введение. В условиях открытых горных работ «человеческий фактор» остается важной проблемой: до 70 % инцидентов связаны с ошибками водителей, обусловленными когнитивной перегрузкой и ограниченным восприятием пространства [1]. Высокое расположение рабочего места водителя усложняет обзор, «мертвые зоны» непосредственно перед автотранспортным средством (АТС) и сбоку от него представляют собой источники повышенного риска. Целью работы является изучение влияния топологии карьерных дорог на обзорность трассы для водителя. Задачами исследования является обзор литературы и нормативной документации, оценка требований к параметру (обзорность трассы для водителя), систематизация полученных результатов.

Методы. В работе реализован подход, сочетающий изучение литературных сведений и нормативной документации в области требований к обзорности трассы для водителя [2]. Изучалась информация о тяжёлой карьерной технике [3]. Эксплуатация карьерных АТС в горнодобывающей промышленности сопряжена с высокими рисками, обусловленными спецификой условий карьера и конструктивными особенностями АТС. Ключевым аспектом безопасности является обеспечение надлежащей обзорности. Согласно ГОСТ 33988-2016[1], под обзорностью понимается конструктивное свойство АТС, характеризующее объективную возможность и условия восприятия водителем визуальной информации, необходимой для безопасного и эффективного управления. В таблице 1 приведены обобщённые сведения о параметрах обзорности АТС (п. 2.14 ГОСТ 33988-2016[1]), воздействии на них топологии карьерной дороги и способах устранения.

[1] ГОСТ 33988-2016. Автомобильные транспортные средства. Обзорность с места водителя. Технические требования и методы испытаний: межгосударственный стандарт: введен впервые: дата введения 2017-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – IV, 24 с.

Таблица 1

Оценка воздействия топологии дороги на параметр обзорности

Параметр обзорности АТС по ГОСТ 33988-2016[1]	Воздействует топология карьерной дороги	Способы устранения	
		Модернизация остекления кабины ТС	Системы аддитивной помощи водителю
Размер зоны А и Б*	-	+	-
Расположение зоны А и Б*	-	+	-
Степень очистки	-	+	-
Нормативное поле обзора	+	-	+
Непросматриваемые зоны из-за стоек	-	+	+

** Зона А (лобовое стекло), зона Б (боковые стекла) [составлено автором]*

Можно сделать вывод, что топология карьерной дороги должна учитываться как фактор при оценке нормативного поля обзора. Такое ограничение обзорности нельзя устранить только путём модернизации кабины АТС.

Результаты. Причина части ошибок водителя заключается в топологии карьерной дороги. Эффект «высотной слепоты» заключается в том, что с высоты кабины водитель теряет из вида объекты, находящиеся ближе 10–15 метров от переднего бампера. При движении по узкой дороге это приводит к невозможности точного позиционирования колес относительно бровки [3]. На рисунке 1 представлен пример оценки влияния топологии трассы обеспечение процесса передвижения.

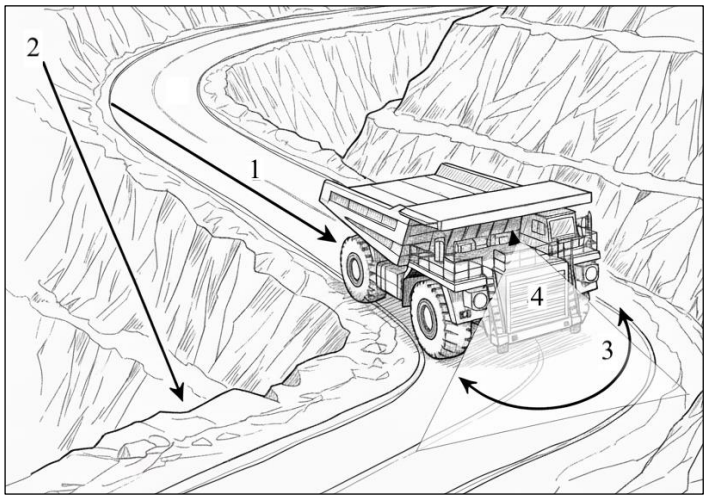


Рис. 1. Пример оценки влияния топологии трассы на обзорность
(1 – план дороги, 2 – уклон, 3 – радиус кривой, 4 – луч обзорности) [*составлено автором*]

Геометрические параметры карьерной дороги затрудняют обзорность для водителя. При этом, луч обзора из кабины остаётся постоянным по охвату видимой части трассы, водитель не получает полное представление о трассе. Такие сведения человек физически не может получить из-за взаимно усиливающих негативный эффект особенностей топологии карьерной дороги и низкой видимости нормативного поля обзора для высокой кабины карьерной техники. Личностный фактор водителя (опыт, возраст) тоже влияют на безопасность движения, представляя персональный риск [4]. Однако, это направление в этой работе не учитывается. Установлено, что малые радиусы кривизны (менее 25–30 м для тяжелых серий) заставляют водителя инстинктивно смещаться к центру дороги, что создает риск лобового столкновения в «слепых» поворотах [5]. На участках, где ширина дороги не предусматривает 2,5-кратный запас относительно ширины кузова, когнитивная нагрузка на водителя возрастает на 40%, что ведет к преждевременной утомляемости и замедлению реакции [6].

Обсуждение. Результаты показывают, что традиционные нормы оценки обзорности трассы для водителя не в полной мере учитывают специфику современной крупногабаритной карьерной техники. Авторская точка зрения заключается в необходимости перехода к проактивному обеспечению безопасности движения [7]. Например, проблема поворотов усугубляется тем, что водитель карьерной техники из-за габаритов техники вынужден выбирать траекторию с учётом запаса, что на узкой дороге технически невыполнимо без выезда на полосу встречного движения. В контексте эксплуатации карьерной техники это является одним из источников рисков транспортных происшествий [8]. Возможна рекомендация внедрения обязательной оценки проектов карьерных дорог на соответствие «картам видимости» для конкретных моделей самосвалов [9]. В будущем предполагается рассмотреть интеграцию с бортовыми системами дополненной реальности, которые позволят использовать систему аддитивной помощи водителю, нивелируя недостатки топологии самой дороги [10].

Заключение. Основным выводом исследования является подтверждение важности оценки воздействия топологии трассы карьерной дороги на безопасность движения. Нормативные требования к обзорности кабин АТС не учитывают топологию карьерных дорог. Практическая значимость работы заключается в возможности рекомендации внедрения обязательной оценки проектов карьерных дорог в новом формате. Перспективным направлением является интеграция «карт видимости» с бортовыми системами дополненной реальности.

Список литературы

1. Монири-Морад А., Шишван М.С., Агилар М., Голи М., Саттарванд Дж. Безопасность силового транспорта, вызовы, анализ и решения в горнодобывающей промышленности: комплексный обзор / A. Moniri-Morad, M.S. Shishvan, M. Aguilar, M. Goli, J. Sattarvand. Powered haulage safety, challenges, analysis, and solutions in the mining industry; a comprehensive review // Results in Engineering. 2024. Vol. 21. Art. 101684. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101684.
2. Клебанов А.Ф., Улитин В.В., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. Современные системы предотвращения столкновений горной техники и наездов на персонал при ведении открытых горных работ // Горная промышленность. 2020. № 5. С. 24-29. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-24-29.
3. Колчанов А.Г. Особенности проектирования карьерных автомобильных дорог в России // Недропользование и транспортные системы. 2024. Т. 14. № 1. С. 18–24. DOI: 10.18503/SMTS-2024-14-1-18-24.
4. Туманов М.В., Гендлер С.Г., Кабанов Е.И., Родионов В.А., Прохорова Е.А. Индекс персонального риска как перспективный инструмент управления человеческим фактором в охране труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6-1. С. 230–247. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230.
5. Колчанов А.Г. Особенности проектирования карьерных автомобильных дорог для автономных самосвалов // Недропользование и транспортные системы. 2024. Т. 14. № 4. С. 10–20. DOI: 10.18503/SMTS-2024-14-4-10-20.
6. Рашми Б.С., Марисаминатхан С. Факторы, влияющие на поведение водителей грузовых автомобилей в контексте безопасности дорожного движения: критический систематический обзор данных / B.S. Rashmi, S. Marisamynathan. Factors affecting truck driver behavior on a road safety context: a critical systematic review of the evidence // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2023. Vol. 10. № 5. P. 835–865. DOI: 10.1016/j.jtte.2023.04.006.
7. Смолин А.В. О проектировании системы обеспечения безопасности труда на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 5-2. С. 233–242. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_233.
8. Сухорукова М.А., Иванников А.Л. Оценка рисков аварий на транспортных средствах на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6-1. С. 224–232. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-224-232.
9. Хрика Дж.К., Белланка Дж.Л., Бенбуренане И., Карр Дж.Л., Хомер Дж., Стабрила К.М. Быстрый обзор технологий предотвращения столкновений и предупреждения для карьерных самосвалов / J.K. Hrica, J.L. Bellanca, I. Benbourenane, J.L. Carr, J. Homer, K.M. Stabryla. A Rapid Review of Collision Avoidance and Warning Technologies for Mining Haul Trucks // Mining, Metallurgy Exploration. 2022. Vol. 39. № 4. P. 1357–1389. DOI: 10.1007/s42461-022-00633-w.
10. Комзалов А.М., Шилов Н.Г. Применение современных технологий в системах помощи водителю автомобиля // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 11. С. 1077-1082. DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-11-1077-1082.

УДК 622.45

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВОЗДУХОПОДАЮЩЕЙ ВЫРАБОТКОЙ

Гусейнов Ф.А.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, filipp.guseynov.02@mail.ru

Научный руководитель: Лейсле А.В.
к.т.н, доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Работа направлена на повышение безопасности горных работ в условиях высокого метановыделения на выемочных участках шахт. Целью работы является адаптация существующей методики расчета метанообильности и обоснование параметров комбинированных схем проветривания для снижения риска загазирования очистных выработок. Предложены схемы проветривания с центральной воздухоподающей выработкой, позволяющие увеличить пропускную способность лавы по воздуху и снизить риск загазирования очистной выработки, для которых разработана методика расчета и создана математическая модель, определены оптимальные варианты применения предложенных схем.

Ключевые слова: угольная шахта, метан, проветривание, дегазация, вентиляция выемочного участка, центральная воздухоподающая выработка, газовый режим, нагрузка на забой, газовый фактор.

Взрывы метана и угольной пыли – самые разрушительные аварии, происходящие на шахтах, уносящие десятки человеческих жизней и вызывающие колоссальные убытки. Четверть всех аварий на угольных шахтах России произошли в очистном забое, 67% из которых произошли по причине несоответствия расчетного количества воздуха для проветривания лавы фактическому метановыделению [1-2].

В настоящее время на большинстве сверхкатегорных угольных шахт нагрузка на очистной забой ограничена газовым фактором, который устанавливается исходя из метанообильности и максимального количества воздуха, который возможно подать в лаву. Такой подход создает опасную ситуацию, в которой при ведении работ в зоне геологических нарушений и повышенной метаноносности происходит загагирование лавы, вследствие повышения газообильности и невозможности подать большее количество воздуха без превышения максимальной скорости или снижения нагрузки на очистной забой. Чтобы предотвратить такие ситуации необходимо создавать запас по расходу воздуха для разбавления повышенного метановыделения.

Если метанообильность зависит от природной метаноносности, снижать которую возможно средствами дегазации, то максимальное количество воздуха зависит от допустимой скорости движения воздуха в лаве, установленной ПБ и сечения лавы, определяемого применяемым оборудованием и горно-геологическими условиями [3-5].

В работе предлагается модифицировать прямоточные и возвратноточные схемы проветривания выемочного участка добавлением центральной воздухоподающей выработки, по которой будет подаваться свежий воздух в лаву, проводимой на всю длину выемочного столба, что позволит подавать в очистную выработку вдвое больший объем воздуха без превышения допустимой скорости [6]. Для определения оптимального положения центральной воздухоподающей выработки необходимо внести изменения в применяемую методику расчета метанообильности, для учета изменения структуры метановыделений.

Изменения строятся на учете доли части лавы от общей длины очистного забоя и учете метановыделений только в зонах их влияния. Например, метановыделение от угля, транспортируемого по выработкам участка необходимо учитывать только в газообильности той части лавы, к которой примыкает конвейерная выработка [7-8].

На основании адаптированной методики была построена математическая модель в программе Microsoft Excel, позволяющая определить параметры газообильности и построить зависимости расчетных расходов (скоростей) воздуха от изменяющихся горно-геологических или горнотехнических условий (положения центральной воздухоподающей выработки).

Оптимальным решено считать положение, при котором газообильность в условно «левой» и «правой» части лавы равна. С этой целью в математической модели рассчитывались параметры газообильности при различном значении отношения длин «левой и «правой» частей. При этом «правой» частью названа часть, примыкающая к участковой выработке, по которой ведется транспортирование полезного ископаемого.

Кроме того, в «правой» части лавы возможно организовать движение воздуха как по прямоточной, так и возвратноточной схеме, в этой связи расчет велся для обоих сценариев. В «левой» части возможно только возвратноточное движение, так как выработка находится со стороны выработанного пространства смежного столба, и поддерживать ее на границе двух выработанных пространств не представляется возможным.

В качестве исходных данных взяты параметры характерные для шахт Кузнецкого угольного бассейна, при расчетах метаноносность принималась после мероприятий по предварительной дегазации пласта.

При соотношении частей лавы 56/44% проветриваемой по схеме 1-Mv1-M (возвратноточная в обоих частях) достигается равенство газообильности и средних скоростей движения воздуха (расходов воздуха) в обеих частях очистной выработки, что можно считать точкой оптимума для такой схемы. При соотношении частей 0,01/99,99% – краевое положение, которое можно интерпретировать как отсутствие центральной воздухоподающей выработки, скорость воздуха становится равна скорости воздуха при проветривании по прямоточной схеме без ЦВВ.

Для схемы 1-Mv3-B (левая часть проветривается по возвратноточной схеме, правая по прямоточной) наиболее благоприятное соотношение 31/69%, при котором метанообильности и скорости воздуха в частях лавы равны. Аналогично первой схеме, при соотношении 0,01/99,99% скорость воздуха равна скорости воздуха при отсутствии центральной воздухоподающей выработки и проветривании по прямоточной схеме. Результаты расчета приведены на рисунке 1.

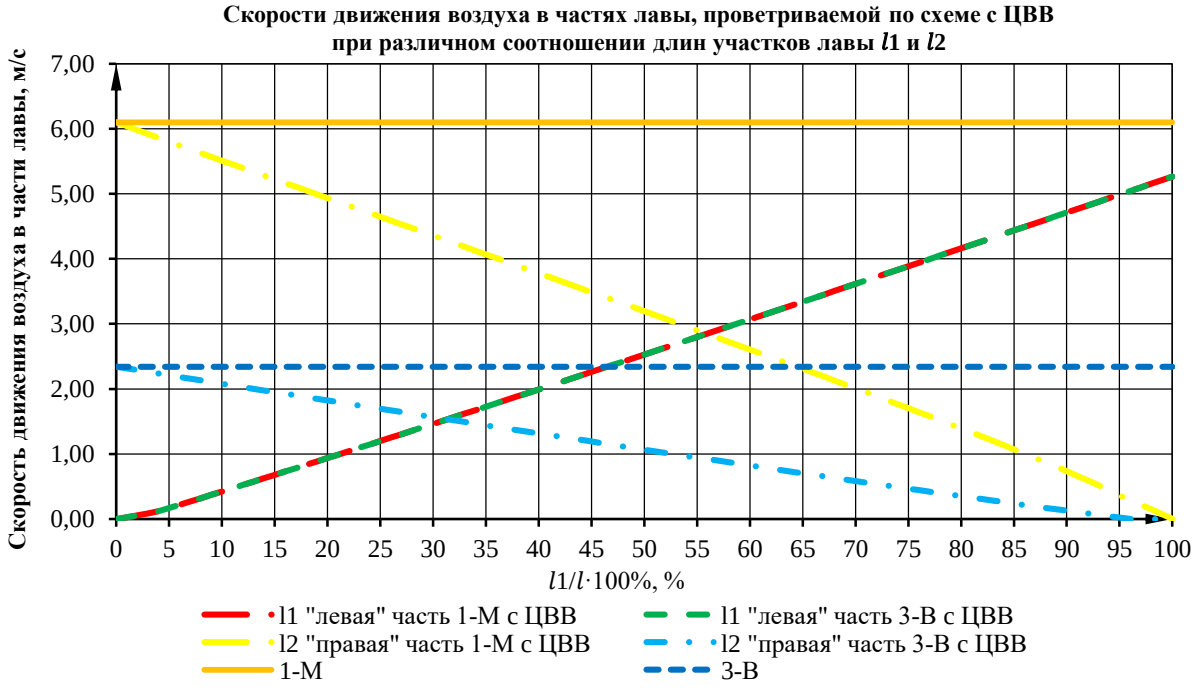


Рис. 1. Расчетные скорости движения воздуха в частях лавы
при проветривании по различным схемам [*составлено автором*]

Схема с возвратноточным движением воздуха в обоих частях лавы применима на шахтах, разрабатывающих пласты угля склонного к самовозгоранию (Кузнецкий угольный бассейн). Схема с возвратноточным движением воздуха в «левой» и прямоточным в «правой» части лавы применима на предприятиях, разрабатывающих пласты угля, не склонного к самовозгоранию (Печорский бассейн). Предложенные схемы позволяют подавать в очистную выработку значительно больший объем воздуха, что снижает вероятность загазирования и повышает безопасность ведения горных работ в зонах геологических нарушений.

Список литературы

1. Кабанов Е.И., Коршунов Г.И., Корнев А.В., Мяков В.В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005—2019 гг. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2—1. – С. 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.
2. Гринько Е.С. Анализ и оценка экономического ущерба от аварий на угольных шахтах России // Economic Systems. 2023. Т. 16, № 3(62). С. 202–211. DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-3-202-211.
3. Заблаговременная дегазация угольных пластов и добыча метана угольных пластов. Проблемы и перспективы развития / А.К. Логинов, А.А. Мешков, Е.В. Мазаник и др. // Уголь. 2024;(10):62-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-62-67.
4. Коликов, К.С. Повышение эффективности дегазации при высокопроизводительной выработке угольных пластов / К.С. Коликов, С.В. Сластунов, Е.В. Мазаник // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 1. – С. 71-76. – DOI 10.24000/0409-2961-2019-1-71-76.
5. Цыганков, Д.А. Повышение эффективности извлечения метана из пластов-спутников / Д.А. Цыганков, Т.В. Осипова // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 2. – С. 127-131. – DOI 10.17513/use.37585. – EDN FMRDBB.
6. Лейсле, А.В. Возможное решение проблем отработки газоносных угольных пластов высокопроизводительными механизированными комплексами / А.В. Лейсле // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 111-114. EDN QZEORD.
7. Ермаков А.Ю., Сенкус В.В., Фам Дык Тхань, Сенкус Вал. В., Абрамкин Н.И., Ермаков Е.А. Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор). Горные науки и технологии. 2019;4(4):230-250. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250.
8. Игнатов Е.В., Тюленев М.А. Геомеханическое обоснование геометрических и технологических параметров системы разработки «длинными полосами с короткими забоями» / Е.В. Игнатов, М.А. Тюленев // Техника и технология горного дела. – 2023. – №2(21). – С. 59-87. – DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-59-87.

УДК 331.453; 621.77.016.3

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА ПРИ ХОЛОДНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Литвиненко М.М.
аспирант, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Республика Беларусь, marharita78@mail.ru

Научный руководитель: Булавка Ю.А.
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования переработки нефти и газа, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Республика Беларусь

Аннотация. Приведены правовые аспекты регулирования производственного шума при холодной обработке металлов в Республике Беларусь. Представлены результаты распространения высокочастотного шума и низкочастотного ультразвука в рабочей зоне круглопильного металлорежущего станка. Обоснована необходимость внесения дополнений в действующие законодательные акты в виде установления требования по применению технических методов снижения шума как приоритетных, а также внесения дополнений в методики испытания средств индивидуальной защиты органов слуха в виде увеличения границы частоты их испытаний.

Ключевые слова: металлорежущие станки, низкочастотный ультразвук, высокочастотный шум, эквивалентный уровень звука, нормирование

Введение. Развитие производственной среды приводит к появлению новых моделей обрабатывающего оборудования, предназначенного для холодной обработки металлов, работа которого сопровождается значительными уровнями воздействия на работников производственного шума. В частности, круглопильные металлорежущие станки, работающие без применения смазочной охлаждающей жидкости (СОЖ), создают производственный шум выше установленного предельно допустимого уровня (ПДУ) в 80дБ [1]. При этом законодательством не учтено, что при их эксплуатации могут возникать сопутствующие ультразвуковые колебания: звук с частотой 11,2 кГц и более, а нормирование воздушного ультразвука начинается с частоты 12,5кГц [2, 3]. Необходимость комплексного изучения уровня воздействия и мер защиты рабочих от прерывистого высокочастотного шума возникла в связи с их многочисленными жалобами на неэффективность средств индивидуальной защиты органов слуха (СИЗОС) при резке алюминиевого профиля на круглопильном отрезном станке с рольгангами, оснащенном не только защитным кожухом пильного диска, но и шумопоглащающим кожухом [4, 5-7].

Методы. Посредством аналитических методов исследования выполнен анализ законодательных актов Республики Беларусь, устанавливающих требования по снижению производственного шума при холодной обработке металлов; проведены инструментальные замеры шума в рабочей зоне при резке алюминиевого профиля на работающем без СОЖ круглопильном станке с рольгангами.

Результаты. С целью установления обоснованности жалоб рабочих на неэффективность сертифицированных СИЗОС проведены исследования шума в рабочей зоне при резке алюминиевого профиля на работающем без СОЖ круглопильном станке с рольгангами без учета карты фотографии рабочего времени. Установлены превышения ПДУ производственного шума; замечено, что окончание реза сопровождалось высокочастотным звуком с превышением ПДУ на 4дБ, 14дБ, 29дБ, 27дБ в октавных полосах по среднегеометрическим частотам соответственно 1кГц, 2кГц, 4кГц и 8кГц. Определены точки максимального распространения звука в рабочей зоне (рис. 1) и повторно проведены замеры шума и ультразвука.

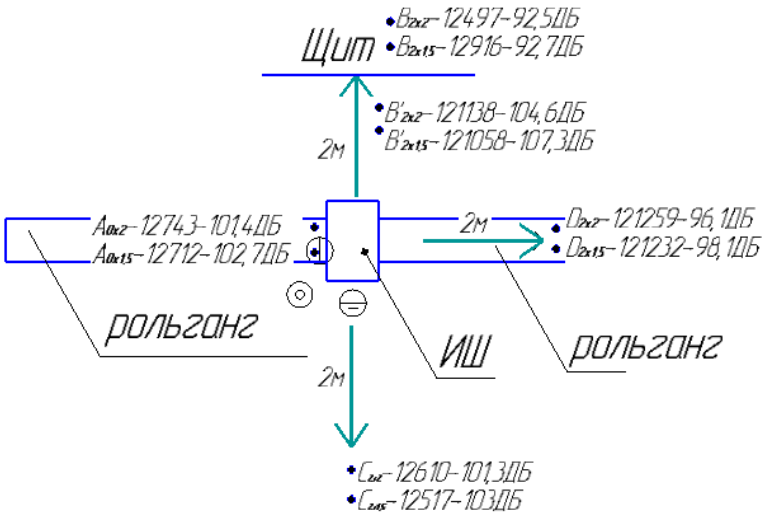
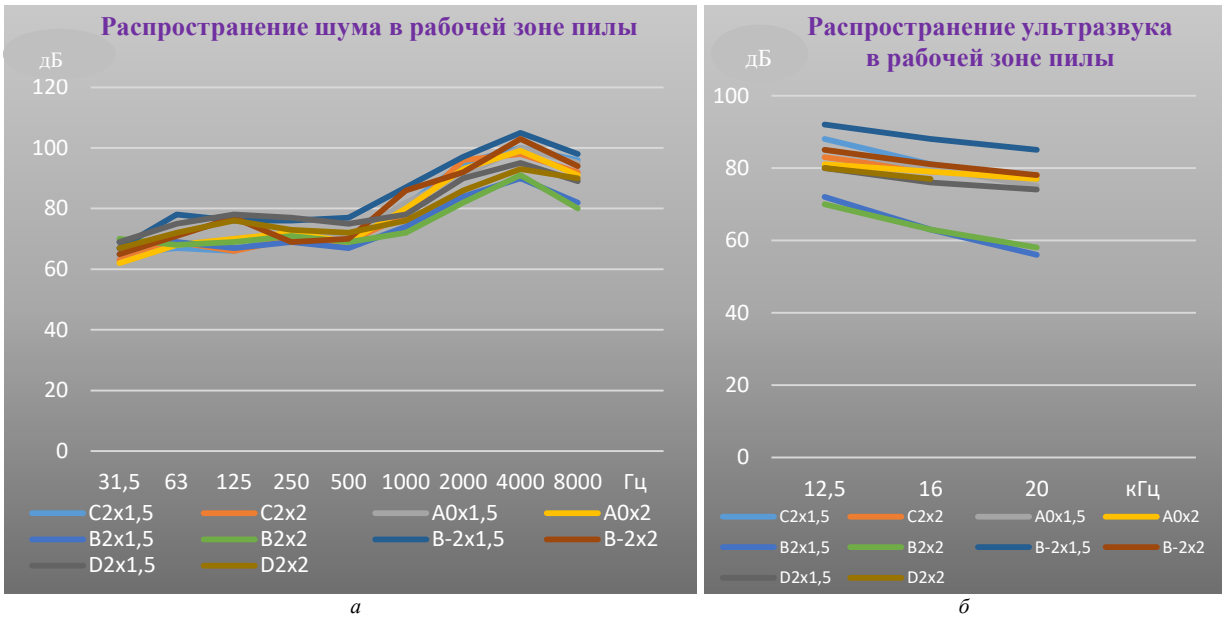


Рис. 1. Схема распространения шума в рабочей зоне станка

На рисунке 2 (*а, б*) приведено распределение колебательной энергии по звуковому диапазону частот в виде шумовых спектров шума и ультразвука соответственно.



а *б*

Рис. 2. Шумовые спектры распространения шума (*а*) и ультразвука (*б*) в рабочей зоне станка

Согласно действующим в Республике Беларусь требованиям на рабочих местах с уровнем шума более 80 дБ работа допускается с применением СИЗОС, если иное не предусмотрено законодательством [5, 6, 8]. Учитывая, что испытания всех СИЗОС проводятся в диапазоне частот 250Гц-8кГц, то неправомерно полагать, что действие СИЗОС является эффективным при защите рабочего от высокочастотного шума (свыше 8кГц до 11,2кГц) и низкочастотного ультразвука (свыше 11,2кГц до 20кГц).

Обсуждение. Таким образом, жалобы рабочих на неэффективность СИЗОС от шума, создаваемого станком с рольгангами при резке алюминиевого профиля, обоснованы, что требует применения дополнительных технических мер защиты рабочих от высокочастотного производственного шума и низкочастотного воздушного ультразвука [9-16].

Заключение. Выполненное исследование подтверждает необходимость внесения дополнений в законодательные акты: в виде применения технического метода снижения производственного шума как приоритетного; рассмотрения вопроса о целесообразности

внесения дополнений в методики испытания СИЗОС в виде увеличения границы частот их испытаний; а также, необходимость комплексного исследования источника шума и изучения зависимостей конструкций металлорежущего оборудования и комбинированных методов снижения производственного шума и низкочастотного ультразвука до ПДУ.

Список литературы

1. Производственный шум : учеб.-метод. пособие / сост.: И.П. Семенов, И.А. Кураш, И.В. Скоробогатая. – Минск : БГМУ, 2023. – 59. с.
2. Бурак, И.И. Общая гигиена: учебно-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / И.И. Бурак, Н.И. Миклис. – Витебск : ВГМУ, 2017. – 323 с.
3. Измеров, Н.Ф. Гигиена труда : учебник / под ред. Н.Ф. Измерова, В. Ф. Кириллова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 480 с.
4. Бедоидзе, М.В. Обоснование эффективности систем шумоподавления для круглопильных, прирезных и абразивно-отрезных станков / М.В. Бедоидзе, И.А. Смычок, Т.А. Финоченко, А.Н. Чукарин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – Вып. 4. – С. 60–63. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-60-63.
5. Сизо, А.А. Разработка мероприятий по снижению шума и травматизма операторов круглопильных отрезных станков / А.А. Сизо, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – Вып. 12. – С. 110–111. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-110-111.
6. Сидоров, В.А. Колебания и устойчивость процессов резания // Вестник МГТУ «Станкин». – 2020. – № 4. – С. 219–221.
7. Бухаров, С.Н. Акустические композиты и шумопонижающие конструкции. Часть I. Экологически безопасные компоненты и нанонаполнители / С.Н. Бухаров, В.П. Сергиенко, В.В. Кожушко [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 6–22. – DOI: 10.32864/polymmattech-2021-7-1-6-22.
8. Дымкин, Г.Я. Методы акустического контроля : учеб. пособие. Ч. 1 / Г.Я. Дымкин, С.Р. Цомук, А.В. Курков. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2022.– 69 с.
9. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А.И. Антонов, В.И. Леденев, И.В. Матвеева, И.Л. Шубин. – М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 273 с.
10. Денисов, Э.И. Шум на рабочем месте: ПДУ, оценка риска и прогнозирование потери слуха // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 3. – С. 13–23. – DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.02.
11. Jinyou Kang et al. Development of a novel circular saw blade substrate with high stiffness for mitigating vibration noise and improving sawing performance // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2025. – Vol. 223. – 111934. – DOI: 10.1016/j.ymssp.2024.111934
12. Chen Li et al. Deformation mechanism and force modelling of the grinding of YAG single crystals //International Journal of Machine Tools and Manufacture – 2019. – Vol.143. – C.23–37– DOI: 10.1016/j.ymssp.2024.111934
13. Wrona, S.Acoustic radiation-based optimization of the placement of actuators for active control of noise transmitted through plates /S.Wrona, M.Pawelczyk , J. Cheer // Mechanical Systems and Signal Processing – 2021.– Vol.147. – 107009– DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.107009
14. Щерба, Е.М., Обоснование модели источников шума узлов резания абразивно-отрезных, бесцентрово-шлифовальных станков и круглопильных автоматов / Е.М.Щерба, И.А.Смычок, А.Н.Чукарин, Т.А. Финоченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 9. – С. 20–23.
15. Литвинов, А.Е., Чукарин А.Н. Исследование шумов и вибрации отрезных круглопильных станков //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 122. – С. 357–365.
16. Чукарин, А.Н., Разработка мероприятий по снижению шума и травматизма операторов круглопильных отрезных станков /А.Н. Чукарин, А.Е. Литвинов, В.В. Новиков// СТИН. – 2017. – № 2. – С. 11–13.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ОТКОСАХ ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ CAMARIOCA ESTE

Медина С.Я.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, ymzaldivar@yandex.ru

Научный руководитель: Афанасьев П.И.
кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности производств, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Исследование посвящено разработке технических мероприятий по обеспечению безопасности труда при эксплуатации железоникелевого месторождения «Camarioca Este». Основное внимание уделено устойчивости откосов для предотвращения оползней, минимизации травматизма и гибели работников. Методология включала анализ данных трёхосных испытаний, определение параметров прочности пород, моделирование в Phase2 и Slide методом конечных элементов с применением критерия Мора–Кулона, а также вероятностную оценку коэффициента запаса устойчивости. Выявлены критические зоны обрушений. В качестве решений предложены оптимизация дренажа, геометрическая реконфигурация откосов и использование геотекстиля. Результаты подтвердили технико-экономическую эффективность мер, обеспечив прогнозируемое сокращение аварийности и снижение затрат на 20%.

Ключевые слова: железоникелевое месторождение, устойчивость откосов, коэффициент запаса, геотехническое моделирование, метод конечных элементов, дренажные системы, геотекстиль, безопасность труда, оползни.

Введение. Обеспечение безопасности труда в горнодобывающей промышленности в условиях сложных геолого-структурных и сейсмогеологических факторов является одной из наиболее актуальных задач. На железоникелевых месторождениях восточной Кубы, в частности на участке компании «Comandante Che Guevara», устойчивость откосов транспортных дорог определяется физико-механическими характеристиками пород, уровнем их водонасыщения, а также высокой тектонической активностью региона. Недостаточная устойчивость откосов провоцирует оползневые процессы, что влечёт за собой угрозу жизни работников и рост аварийности на горных объектах. В мировой практике предложен широкий спектр инженерных и геотехнических методов анализа устойчивости, однако их адаптация к условиям тропического климата и высокой сейсмичности Кубы требует дополнительных исследований. Цель данной работы заключается в разработке комплекса технических мероприятий, направленных на повышение устойчивости откосов и минимизацию экономических, экологических и профессиональных рисков при эксплуатации месторождения. Задачи исследования включают: определение прочностных характеристик пород, моделирование устойчивости склонов с учётом стохастичности исходных данных, выявление критических зон разрушения и разработку комплекса инженерных решений для обеспечения безопасных условий труда [1, 2].

Методы. Методологическая основа исследования базировалась на сочетании лабораторных испытаний и численных методов анализа. Физико-механические свойства пород определялись по результатам трёхосных испытаний, позволивших установить параметры сцепления и угол внутреннего трения. Для анализа устойчивости откосов применялся критерий Мора–Кулона, широко используемый в инженерной практике благодаря возможности количественного прогнозирования критического состояния породного массива. Численное моделирование проводилось в специализированных программных комплексах

Phase2 и Slide методом конечных элементов, что обеспечило расчет коэффициента запаса устойчивости (КЗ) как в детерминированной, так и в вероятностной постановке [3–5]. Дополнительно учитывались гидрогеологические особенности района (наличие мощного латеритного водоносного горизонта), сейсмические нагрузки, а также воздействие атмосферных осадков, провоцирующих инфильтрацию и разупрочнение массива. Такой комплексный подход позволил оценить динамику изменения устойчивости склонов в реальных условиях эксплуатации [6].

Результаты. Моделирование показало, что исходный коэффициент запаса устойчивости в ряде участков трассы не превышает 1,1–1,2, что указывает на высокий риск оползневых процессов при неблагоприятных воздействиях. Критические зоны разрушения были выявлены преимущественно в районах пересечения трещиноватых серпентинизированных пород с зонами повышенного водонасыщения [7]. Введение проектных мер позволило достичь значительного повышения устойчивости: после реконфигурации углов откосов до критических значений (в пределах 35–42°) коэффициент запаса возрос до 1,5–1,6. Оптимизация дренажных систем, направленная на снижение уровня инфильтрации, обеспечила дополнительное уменьшение вероятности разрушений, особенно в сезон обильных осадков. Применение геотекстильных материалов дало возможность укрепить поверхностные слои откосов и восстановить растительный покров, что снизило эрозионное воздействие атмосферных факторов [8, 9]. Согласно технико-экономическим расчетам, внедрение предложенного комплекса мероприятий позволяет сократить аварийные ситуации более чем на 40% и снизить эксплуатационные затраты предприятия примерно на 20%.

Обсуждение. Результаты исследования подтверждают необходимость перехода от традиционного детерминированного анализа устойчивости к вероятностным моделям, учитывающим стохастический характер физико-механических параметров массива. В отличие от классических методов предельного равновесия, используемых в мировой практике, комплексное применение численного моделирования и вероятностной оценки коэффициента запаса позволяет повысить точность прогнозов. Учёт региональных особенностей Кубы (высокая влажность, интенсивное химическое выветривание, тектоническая активность) делает предложенную методику адаптивной и практически значимой для условий эксплуатации железоникелевых месторождений [10, 11]. Важным является и экологический аспект: восстановление растительного покрова и снижение пылевого загрязнения позволяют минимизировать негативное воздействие горных работ на окружающую среду. Таким образом, разработанный комплекс мероприятий интегрирует инженерные, производственные и экологические решения, что соответствует современным тенденциям устойчивого развития в горнодобывающей отрасли.

Заключение. В ходе работы была разработана и обоснована методика оценки устойчивости откосов и предложен комплекс технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности труда при эксплуатации месторождения «Comandante Che Guevara». Реализация проектных решений – дренажных систем, геометрической реконфигурации откосов и применения геосинтетических материалов – обеспечивает рост коэффициента запаса до нормативных значений, снижение аварийности и экономическую эффективность в виде сокращения эксплуатационных затрат до 20%. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения методики на аналогичных объектах горнодобывающей промышленности Кубы и других регионов с повышенной сейсмической и климатической нагрузкой. Дальнейшие исследования целесообразно направить на внедрение автоматизированных систем мониторинга устойчивости в реальном времени и совершенствование адаптивных геотехнических моделей, что позволит повысить надёжность прогнозирования и уровень промышленной безопасности.

Список литературы

1. Мазуров Б.Т., Мустафин М.Г., Панжин А.А. Метод оценки дивергенции векторных полей деформаций земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 376. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.376.
2. Цирель С.В., Павлович А.А., Мельников Н.Я. Обоснование параметров бортов карьеров при крутопадающем залегании слоев // Горный журнал. 2023. № 5. С. 49–54. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.07.
3. Мехтиев А.Д., Нешина Е.Г., Мади П.Ш., Горохов Д.А. Автоматизированная волоконно-оптическая система мониторинга устойчивости прибортового массива карьера и отвалов // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 4. С. 19–26. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-4-19-26.
4. Lushnikov V.N., Selivanov D.A., Berezhnoy V.P. Reliable prediction of geotechnical risks in open pit mining // Gornyi Zhurnal. 2023. № 1. С. 40–45. DOI: 10.17580/gzh.2023.01.01.
5. Фомин С.И., Овсянников М.П. Обоснование оптимальных технико-экономических параметров карьера при этапной разработке рудных крутопадающих месторождений // Записки Горного института. 2022. DOI: 10.31897/PMI.2022.73.
6. Глазунов В.В., Бурлуцкий С.Б., Шувалова Р.А., Жданов С.В. Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого откоса на основе учета данных инженерной геофизики // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 771–782. DOI: 10.31897/PMI.2022.86.
7. Павлович А.А., Коршунов В.А., Бажуков А.А., Мельников Н.Я. Оценка прочности массива горных пород при разработке месторождений открытым способом // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 502. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.502.
8. Жабко А.В. Новая концепция оценки устойчивости откосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 10. С. 104–124. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_104.
9. Volohov E.M., Kozhukharova V.K., Britvin I.A., Savkov B.M., Zherlygina E.S. Assessment of impact of mining operations on surface infrastructure // Mining informational and analytical bulletin. 2023. № 8. С. 72–93. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_8_0_72.
10. Романенко С.В., Ларионова Е.В., Малдыбаев У.А., Айдаралиев Б.Р., Ордобаев Б.С. Методика управления риском проявления оползневых процессов с учетом фактора сейсмической активности на территории Киргизской Республики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 10. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2865.
11. Афанасьев П.И., Белов А.А. Оценка сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив по амплитудно-частотным характеристикам взрыва // Горная промышленность. 2025. № 3. С.138–145. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-3-138-145.

УДК 658.5.012.7

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТЧИКА ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ СЛУЖБЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ОПО «СЕТЬ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ» И «СЕТЬ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ»

Меркулова З.А.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия, merkulova.za@edu.spbstu.ru

Научный руководитель: Климова И. В.
к.т.н, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: в исследовании проведен анализ деятельности службы производственного контроля опасных производственных объектов «Сеть газоснабжения», «Сеть газопотребления», проведен анализ основных направлений работы службы производственного контроля, определены трудозатраты на проведение внутренних проверок соблюдения требований промышленной безопасности, на составление отчетных материалов по результатам внутренних проверок соблюдения требований промышленной безопасности, на расследование инцидентов и аварий, на предоставление и подготовку ежегодных отчетов о деятельности службы производственного контроля, написан код на объектно-ориентированном языке программирования Visual Basic.NET, разработан программный продукт, позволяющий по данным пользователя рассчитать требуемое количество работников службы производственного контроля для осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности.

Ключевые слова: опасный производственный объект, сеть газоснабжения, сеть газопотребления, производственный контроль, служба производственного контроля.

Законодательство в области промышленной безопасности [1] обязывает организацию, эксплуатирующую опасные производственные объекты (ОПО) организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности (ПК).

В зависимости от количества работников эксплуатирующей ОПО организации [2] назначается ответственный за ПК. ОПО «Сеть газоснабжения» и «Сеть газопотребления» являются линейными объектами, их отличительными чертами являются: значительная протяженность, разветвленность и удаленность. Численность работников таких ОПО намного превышает 500 человек.

На таких ОПО согласно [2] ПК осуществляет служба производственного контроля (СПК). Анализ нормативных правовых актов в области промышленной безопасности [3] показывает, что на данный момент метода расчета численности работников СПК не существует.

Методами исследования данной работы являются анализ нормативных правовых актов в области промышленной безопасности, анализ направлений деятельности СПК, математическое моделирование для определения зависимости требуемого количества дней на проведение внутренних проверок соблюдения требований промышленной безопасности.

В рамках исследования была разработана методика определения численности работников СПК. Реализацией данной методики на практике является программный продукт «Расчетчик численности работников службы производственного контроля» ОПО «Сеть газоснабжения» и «Сеть газопотребления», написанный на объектно-ориентированном языке программирования Visual Basic.NET.

Пользователю предлагается ввести собственные имеющиеся данные в интерфейс программного продукта (рис. 1).

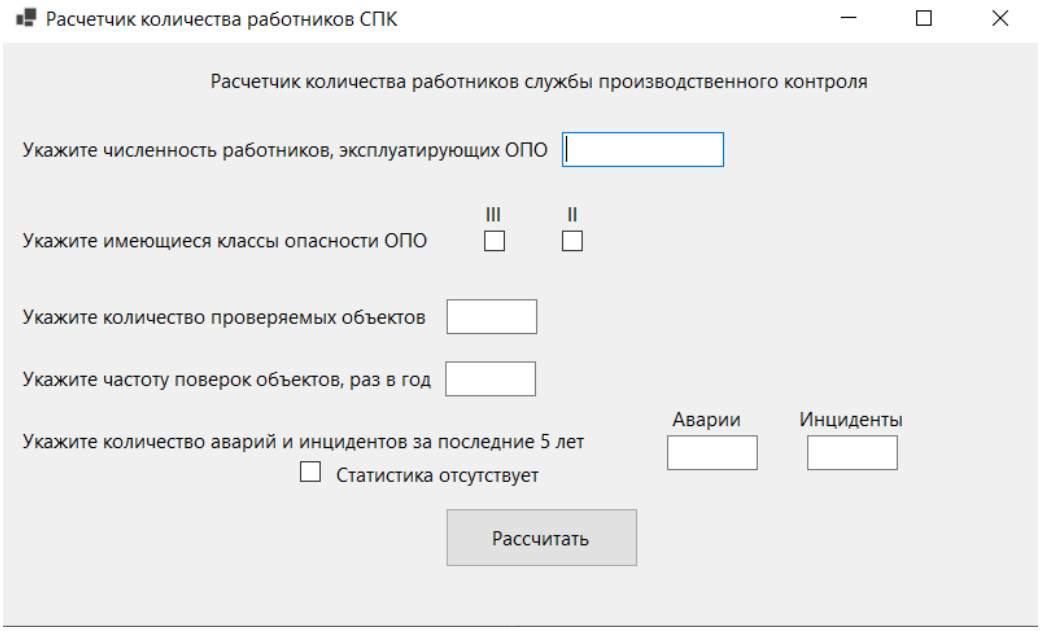


Рис. 1. Интерфейс программного продукта
«Расчетчик численности работников службы производственного контроля»

В начале работы с программным продуктом пользователю предлагается ввести количество работников эксплуатирующей ОПО организации с целью определения, необходимо ли создавать СПК или требуется назначить ответственного работника за осуществлением ПК (при численности работников менее 500 человек).

При достаточной численности работников (более 500 человек) пользователь может заполнить остальные параметры. При отсутствии данных в программный продукт заложены средние показатели по отрасли.

Итогом расчета является необходимое количество работников СПК, которое выводится в диалоговом окне при нажатии кнопки «Рассчитать».

Таким образом, в результате выполнения исследования удалось создать программный продукт, позволяющий рассчитать необходимое количество работников СПК ОПО «Сеть газоснабжения» и «Сеть газопотребления».

Список литературы

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ / Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (Дата обращения: 20.03.2026).

2. Постановление Правительства РФ от 18.12.2020 № 2168 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности» / Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372136/ (Дата обращения: 20.03.2026).

3. Меркулова З. А., Садовников А. С., Климова И. В. Разработка методики определения количества работников службы производственного контроля [Электронный ресурс] / З. А. Меркулова, А. С. Садовников, И. В. Климова// Материалы II Всероссийской научно-практической конференции Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической, Ростов-на-Дону, 13–14 ноября 2024 года – 2025. – с. 181-184. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80407342 (20.03.2026).

УДК 614.842.612

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ ВОДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Томилов М.К.
аспирант, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия, maxitomych@mail.ru

Научный руководитель: Лабинский К.Н.
д.т.н., профессор каф. «СЗПСиГ», Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты проведения научного исследования с целью разработки новых составов для повышения огнетушащей способности водных композиций. Подобрано рациональное соотношение компонентов в огнетушащем водном составе. Экспериментально обоснованы зависимости физико-химических свойств водных композиций от их компонентного состава. Показаны возможности управления параметрами процесса тушения пламени водными композициями за счет разработки диаграмм состояния «состав-свойство».

Ключевые слова: водные составы, огнетушащая способность, антипирены, вязкость, поверхностное натяжение, модельный очаг.

Введение. Пожары являются одним из самых опасных и разрушительных стихийных бедствий. Так, по официальным данным анализа обстановки с пожарами, подготовленными МЧС России за 2025 год произошло более 317 тыс. пожаров, травмированы около 8 тыс. людей и более 6,5 тыс. погибли.

Самым распространенным средством тушения пожаров является тонкораспыленная вода [1-3]. Однако, вода, как средство тушение, имеет ряд недостатков, которые снижают эффективность ее использования, как огнетушащего средства [4]. Преодолеть указанные недостатки можно за счет введение в водный состав специальных химических добавок – антипиренов, повышающих их огнетушащую способность и улучшая физико-химические свойства [5], что является актуальной задачей в современной науке и технике. Таким образом, целью данной работы является разработка рецептур составов для обоснования параметров процесса тушения пламени.

Методы. Для решения поставленной задачи в рамках выполнения научно-исследовательской работы использовались современные методы научного исследования, а именно: патентные исследования, стандартные и лабораторные методы определения физических и эксплуатационных свойств водных составов, обработка экспериментальных данных с применением компьютерных технологий и т.д.

Результаты. На основании анализа патентных источников и научно-технической литературы был выбран ряд химических соединений, которые заслуживают внимания в качестве применения их как модификаторов к водным составам. В результате на разработанной установке [6] была проведена серия экспериментов с целью обоснования рационального соотношения компонентов в огнетушащем составе. Установлено, что три антипирена (карбамид, сульфат кальция и карбонат калия) с содержанием 8-13 % снижают объем водного раствора для тушения на 35-37 %. Таким образом, введение 10% жидкого стекла повысило огнетушащую способность водного состава в 1,8 раза, а, например, добавка 8 % сульфата калия – в 2,3 раза [6].

Экспериментальные исследования по установлению основных свойств водных составов были проведены в соответствии с [7-10]. На основании анализа результатов установлено, что вязкость огнетушащего водного раствора возрастает при увеличении концентрации

антипиренов в его составе. При этом для каждого исследуемого раствора выявлено наличие экстремума по показателю огнетушащей способности (рисунок 1) – то есть определённой концентрации антипирена, при которой эффективность тушения максимальна.

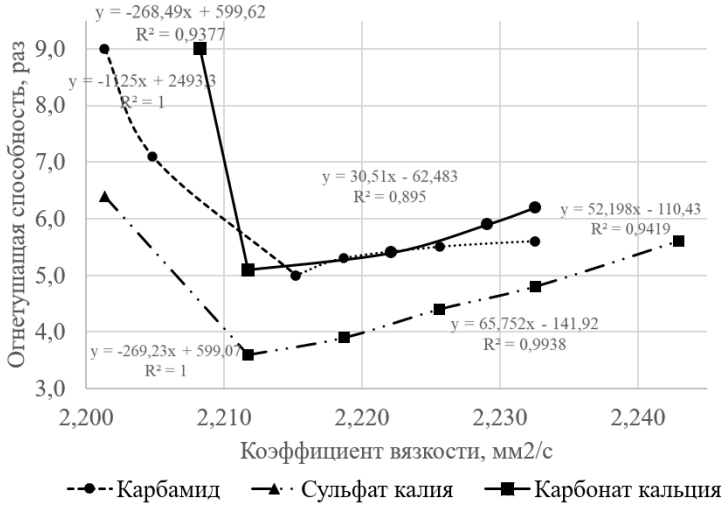


Рис. 1. Влияние огнетушащей способности огнетушащего водного раствора, содержащий антипирены от коэффициента вязкости

Сопоставление значений вязкости в точках оптимальных концентраций антипиренов показало, что соответствующие им величины кинематической вязкости находятся в узком диапазоне – 2,212 – 2,215 мм²/с. Превышение концентрации карбоната кальция свыше 10 % не даёт прироста эффективности, а постепенный рост вязкости (до 2,233 мм²/с при 20 %) сопровождается ухудшением огнетушащей способности (до 5,9). Это позволяет рекомендовать содержание карбоната кальция в указанном диапазоне (8–10 %) как рациональное содержание компонента.

Аналогичный вывод был сделан и при проведении экспериментальных исследований по определению коэффициента поверхностного натяжения (рисунок 2).

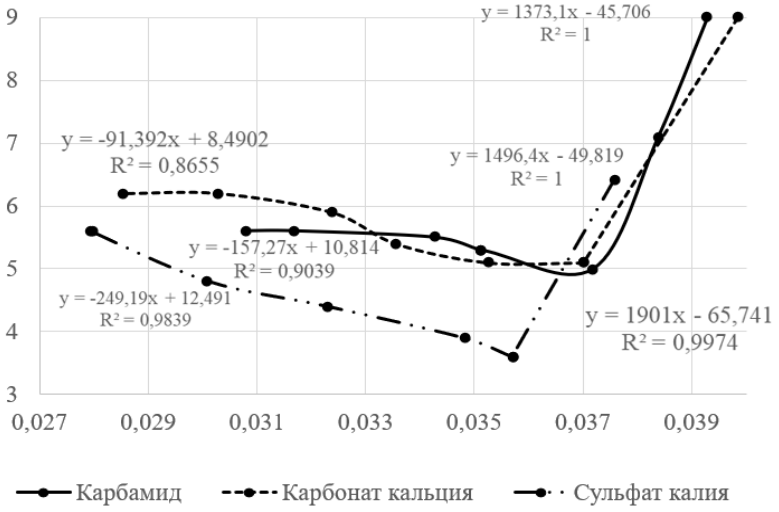


Рис. 2. Влияние поверхностного натяжения антипиренов на их огнетушащую способность

Результаты экспериментальных исследований демонстрируют, что при достижении оптимальных концентраций исследуемых антипиренов в водном составе наблюдается весьма незначительное варьирование коэффициента поверхностного натяжения – его значения укладываются в узкий интервал от 0,035 до 0,037 Н/м. Одновременно с этим

кинематическая вязкость полученных водных составов при тех же концентрациях антипиренов также характеризуется высокой степенью согласованности: соответствующие показатели находятся в достаточно тесном диапазоне 1,220–1,238 мм²/с.

Обсуждение. Совокупность этих данных позволяет утверждать, что водный раствор, содержащий любой из изученных антипиренов, при условии соответствия его вязкости значениям в пределах 2,170 – 2,243 мм²/с и коэффициента поверхностного натяжения – 0,035 – 0,037 Н/м, обладает необходимым комплексом физико-химических характеристик для максимально эффективного подавления пламени.

Иными словами, независимо от конкретного типа антипирена, при соблюдении указанных параметров вязкости и поверхностного натяжения раствор обеспечивает сопоставимую огнетушащую способность, что подтверждает возможность взаимозаменяемости антипиренов в рамках исследованного ряда соединений при проектировании составов с заданными эксплуатационными свойствами.

Заключение. Полученные данные экспериментов играют важную роль при проведении огневых испытаний по тушению модельных очагов пожаров классов «А» и «В», на основании которых будут построены полиномиальные модели, которые является математическим отображением наиболее существенных взаимосвязей между параметрами процесса тушения пламени (расход огнетушащего вещества, время тушения, интенсивность подачи), с его компонентным составом.

*Автор выражает искреннюю **благодарность** своему научному руководителю доктору технических наук Лабинскому Константину Николаевичу, а также сотрудникам ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России» за помощь и наставничество при проведении экспериментальных исследований в рамках выполнения научно-исследовательской работы.*

Список литературы

1. Аксенов С.Г., Муртазин Д.А. Технология пожаротушения тонкораспыленной водой // Журнал прикладных исследований. 2024. № 10. С. 81-86. DOI: 10.47576/2949-1878.2024.10.10.011.
2. Щербаков Н.А., Дмитриев А.Ю., Двоенко В.В. Преимущества применения тонкораспыленной воды в установках автоматического пожаротушения // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2023. № 12. С. 83-86.
3. Чигина Л.В. Система пожаротушения тонкораспыленной водой как перспектива водяного пожаротушения // Современные технологии в строительстве. теория и практика. 2020. Т. 1. С. 105-108.
4. Федосов А.А., Мнускина Ю.В. Вода как средство тушения пожаров // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 3(10). С. 461-464.
5. Соловьев В.А., Павлусенко Р.Н., Шаров С.С. Совершенствование технических средств для борьбы с природными пожарами // Научная жизнь. 2018. № 8. 2018. С. 6-13.
6. Лабинский К.Н., Томилов М.К. Определение огнетушащей способности водных растворов, модифицированных неорганическими соединениями // Научный вестник НИИ «Респиратор». 2024. № 4(61). С. 18–25.
7. Копылов Н.П., Москвилин Е.А., Федоткин Д.В., Стрижак П.А. Влияние вязкости огнетушащего раствора на эффективность тушения лесных пожаров с помощью авиации. 2016. № 4. С. 62-67.
8. Соколов Ю.В., Галдина В.Д., Бедрин Е.А. Физико-химические основы технологии производства дорожно-строительных материалов. Омск: Издательство СибАДИ, 2003. 157 с.
9. Пономарева М.А., Якутенок В.А. Способ определения коэффициента поверхностного натяжения и угла смачивания по изображению капли. 2011. № 4 (3). С. 1048-1049.
10. Метальников М.А., Создание учебной конструкции по измерению коэффициента поверхностного натяжения жидкости для лабораторных работ по физике. Пенза: МБОУ СОШ, 2021. – 18 с.

УДК 551.583:622(470.57)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Федосов В.А.[1], Никитин Н.К.[2]
[1] студент, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия, fedosov.vla@gmail.com
[1] студент, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Научный руководитель: Елизарьев А.Н.
к.г.н., заведующий кафедрой БПиПЭ, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Аннотация. Минерально-сырьевой комплекс (МСК) является основой экономики Республики Башкортостан, однако его устойчивость в значительной степени зависит от климатических условий. На основе данных 8 метеорологических станций Росгидромета за период 1960–2024 гг. выделены три зоны климатического воздействия: западная (зимнее потепление до +0,65 °C/10 лет), горно-предгорная (весеннее потепление до +0,95 °C/10 лет с орографическим усилением) и центрально-восточная (осеннее похолодание до –0,22 °C/10 лет). ГИС-анализ карт температурных трендов и размещение 19 горнодобывающих предприятий позволили установить типы уязвимости объектов МСК: гидрогеологический (рост водопритоков на 15–25%) и инженерно-геологический (снижение несущей способности грунтов на 10–20%). Результаты могут быть использованы для обеспечения промышленной безопасности горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: минерально-сырьевой комплекс, температурные тренды, пространственно-временная неоднородность, сезонная асимметрия потепления, орографическое усиление, уязвимость объектов, гидрогеологический риск, деградация промерзания, криогенное выветривание, устойчивость горных выработок

Введение. Минерально-сырьевой комплекс Республики Башкортостан является основой региональной экономики, объединяя более 1,2 тыс. месторождений с потенциальной извлекаемой ценностью 153 млрд долл. США [1]. Значительная часть горнодобывающих предприятий сосредоточена в горно-предгорной зоне Южного Урала, где климатические условия проявляют высокую пространственно-временную изменчивость. Современные исследования указывают на усиление влияния температурных изменений на устойчивость горно-капитальных сооружений: деградация сезонного промерзания грунтов, увеличение глубины оттаивания и рост числа переходов через 0 °C создают риски деформации оснований, нарушения гидрогеологического режима и усложнения эксплуатации карьерного транспорта. Однако системная оценка уязвимости объектов МСК к выявленным климатическим трендам на территории региона носит фрагментарный характер.

В связи с этим важно количественно оценить влияние пространственно-временной неоднородности температурных изменений на устойчивость минерально-сырьевого комплекса Республики Башкортостан

Методы. В основу исследования положены результаты предшествующих работ авторов [2], в которых по данным 8 метеорологических станций Росгидромета[1] за период

[1] Официальный сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). URL: http://www.meteorf.ru/

1960–2024 гг. рассчитаны линейные тренды сезонных и среднегодовых температур воздуха и построены карты их пространственного распределения методом кригинга. Пространственное совмещение карт климатических трендов со схемой размещения 19 ключевых горнодобывающих предприятий выполнено в среде ГИС QGIS. Критерием отнесения объекта к зоне климатического воздействия служило попадание его горного отвода в ареал со значением сезонного тренда, превышающим 0,5 °С/10 лет для зимнего и весеннего потепления или ниже –0,15 °С/10 лет для осеннего похолодания. Оценка потенциальных последствий проведена на основе сопоставления выявленных трендов с нормативными требованиями СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»[2] и отраслевыми методиками расчета устойчивости бортов карьеров и хвостохранилищ.

Результаты. Среднегодовая температура в Республике Башкортостан за 1960–2024 гг. выросла на 0,29–0,45 °С/10 лет. Максимальное потепление – весной (0,94–0,95 °С/10 лет) и зимой (0,42–0,65 °С/10 лет), летние тренды незначимы, осенью – похолодание до –0,22 °С/10 лет. Весенний тренд коррелирует с высотой ($r = +0,72$), что указывает на орографическое усиление.

Выделены три зоны: западная (зимнее потепление до +0,65 °С/10 лет), горно-предгорная (весеннее потепление до +0,95 °С/10 лет), центрально-восточная (осеннее похолодание до –0,22 °С/10 лет). В зоне весеннего потепления прогнозируется рост водопритоков в карьеры на 15–25%, в зоне зимнего – снижение несущей способности грунтов на 10–20%, в зоне осеннего – интенсификация криогенного выветривания.

ГИС-анализ карт трендов со схемой размещения 19 горнодобывающих предприятий позволило идентифицировать объекты МСК, попадающие в эти зоны.

Обсуждение. Пространственное совмещение карт трендов с размещением горнодобывающих предприятий позволило количественно оценить уязвимость объектов МСК Башкортостана. Орографическая зависимость весеннего потепления ($r = +0,72$) согласуется с глобальным трендом высотного усиления, но на Южном Урале максимально выражена в переходный сезон. В горно-предгорной зоне весенний тренд 0,91–0,95 °С/10 лет создает риски роста водопритоков в карьеры на 15–25% и эрозии дамб хвостохранилищ. В западных районах зимнее потепление до 0,65 °С/10 лет обусловливает снижение несущей способности грунтов на 10–20% и деформации трубопроводов. Выделенные зоны и типы уязвимости могут служить основой для корректировки нормативных документов и разработки адаптационных мероприятий.

Заключение. Проведенное исследование позволило количественно оценить влияние пространственно-временной неоднородности температурных изменений на устойчивость минерально-сырьевого комплекса Республики Башкортостан. На территории региона выделены три зоны климатического воздействия: западные районы с зимним потеплением до +0,65 °С/10 лет (риски снижения несущей способности грунтов на 10–20%), горно-предгорная зона Южного Урала с весенним потеплением до +0,95 °С/10 лет и орографическим усилением (риски роста водопритоков в карьеры на 15–25%), центральные и северо-восточные районы с осенним похолоданием до –0,22 °С/10 лет (риски нарушения целостности противофильтрационных экранов). Полученные количественные оценки могут быть использованы для корректировки проектных решений и разработки адаптационных мероприятий. Дальнейшие исследования целесообразно направить на углубленное изучение взаимосвязей между климатическими трендами и динамикой геомеханических процессов на конкретных объектах МСК.

[2] СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Стандартинформ, 2020. – 136 с.

Список литературы

1. Состояние минерально-сырьевой базы Республики Башкортостан: основные проблемы и пути их решения / под ред. И.А. Хасанова. – Уфа: Издательство Уфимского университета науки и технологий, 2024. – 156 с.
2. Федосов В.А., Елизарьев А.Н., Мифтахова А.М., Елизарьева Е.Н., Тараканов Д.М. Пространственно-временной анализ динамики температурного режима в Республике Башкортостан в условиях современного изменения климата // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2026. – Т. 22. – № 1. – С. 133-140.
3. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др. Влияние изменений климата на криолитозону и инженерную инфраструктуру // Криосфера Земли. – 2019. – Т. 23. – № 4. – С. 3-12. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-4(3-12).
4. Елизарьев А.Н., Гапонов В.М., Юсупов Т.Р., Тараканов Д.А., Тараканов Дм.А. Анализ методических подходов к оценке пожарной опасности резервуарных парков при «больших дыханиях» // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 116-120.
5. Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф., Александров Д.В., Хужина Р.Р. Геоэкологическая оценка нефтезагрязненных ландшафтов Республики Башкортостан // Геоинформатика. – 2024. – № 4. – С. 57-69.
6. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Тарасова И.В. Геоэкологические проблемы использования выработанных карьерных пространств на Урале // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 1. – С. 128-134.
7. Васильев Д.Ю., Бабков О.К., Давлиев И.Р., Семенов В.А., Христодуло О.И. Пространственно-временная структура колебаний приземной температуры на Южном Урале // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31. – № 4. – С. 294-302.

Секция 5. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА, СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ БУРОСБОЕЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ИЗОЛИРОВАННОГО ОТВОДА МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА ЭТАПЕ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Амосов А.А.
ассистент каф. ГМиК, КузГТУ,
Кемерово, Россия, amosovaa@kuzstu.ru

Научный руководитель: Ананьев К.А.
к.т.н, доцент каф.ГМиК, КузГТУ, Кемерово, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена задача повышения эффективности проветривания и дегазации угольных шахт Кузбасса за счёт совершенствования технологии бурения скважин изолированного отвода метана. Актуальность исследования обусловлена недостатками существующих буровых установок, не обеспечивающих бурение скважин требуемого диаметра в один заход с одновременным креплением, что приводит к увеличению времени проходки и риску обрушения стенок. Целью работы является обоснование параметров привода вращения буровой установки, адаптированной к условиям шахт Кузбасса. В результате предложена адаптированная методика расчёта основных параметров работы буровой установки на основе зарубежного подхода, учитывающего реальную производительность машин типа RBM. Определены зависимости для расчёта крутящего момента, скорости вращения, потребляемой мощности и производительности. Показано, что применение разработанного подхода создаёт предпосылки для проектирования новой буровой установки, обеспечивающей однозаходное бурение скважин с одновременным креплением и повышение эффективности горных работ.

Ключевые слова: буровая установка, дегазация, вентиляционные скважины, однозаходное бурение, привод вращения, крутящий момент, производительность бурения, скорость проходки, горное оборудование.

Введение. Увеличение интенсивности добычи требует роста воздухообмена и модернизации систем проветривания и дегазации. Перспективным решением является изолированный отвод метана через сбоечные скважины. Анализ показал, что текущее оборудование не обеспечивает бурение скважин нужного диаметра в один проход с креплением. Машины типа RBM обладают достаточным крутящим моментом для однозаходного бурения, но их габариты не позволяют работать в типовых выработках Кузбасса. Однако конструктивные решения приводов RBM могут быть использованы при создании нового оборудования [1–3].

Целью исследования является обоснование параметров привода вращения буросбоечной машины для бурения скважин изолированного отвода метана в один проход с одновременным креплением, адаптированной для условий шахт Кузбасса.

Проблема исследования обусловлена тем, что многозаходное бурение существующими установками ведет к увеличению времени проходки и повышает риск обрушения стенок скважины до момента ее обсадки, поэтому необходима разработка новой буровой установки, способной в один заход осуществлять бурение скважин требуемого диаметра (за исключением пилотной скважины) с одновременным креплением.

Методы. В работе использован комплексный подход, включающий анализ существующих специальных методик расчета[4]. Требуемые определяемые параметры такие как – скорость вращения, крутящий момент, потребляемая мощность – а также показатель мгновенной скорости проходки и прогноз производительности бурового станка. Для проектирования отечественного оборудования используются следующие методики, такие как «Стандарт предприятия СТП 004.013.0.030–84» [5] для бурения скважин по углю, «Отраслевой стандарт, для расчета сил резания и подачи на исполнительных органах комбайнов ОСТ 12.44.258–84» [6] и «Комбайны проходческие избирательного действия исполнительных органов. РД 12.25.137–89» [7]. Однако данные методики не учитывают состояние современных машин, поэтому предлагается использовать за основу расчета зарубежную методику расчета прогноза производительности машин, описанную турецким ученым Aydin Shaterpour-Mamaghani, полученную на основе анализа реальной производительности буровых машин типа RBM для восстающего бурения, в условиях горнодобывающих и туннеле проходческих предприятий Турции и построения графиков корреляции [8–12], а так же применяемую к машинам типа ТВМ [13]. С учетом геомеханических и геологических условий шахт Кузбасса.

Результаты. В ходе исследования предложена и адаптирована методика расчета минимальных необходимых параметров работы буровой установки, такие как производительность, показатель мгновенной скорости проходки, потребляемая мощность, удельная энергоемкость проходки, крутящий момент. Основываясь на полученных значениях, можно произвести выбор и формирование схемных решений систем вращения и подачи бурового станка.

Обсуждение. Полученные результаты вписываются в современное направление развития горнодобывающего оборудования, возможность повышения объемов добычи угля подземным способом с сохранением высокого уровня механизации и безопасности, а также для снижения себестоимости его добычи с учетом уменьшения количества простоев.

Заключение. Установлены, что адаптированная методика для расчета производительности буровых установок восстающего и наклонного бурения может рассматриваться как перспективная основа для ее использования при проектирования новой буровой установки для проведения вентиляционных скважин в один заход с одновременным креплением.

Полученные расчетные значения могут быть использованы для модернизации текущего оборудования для работы на конкурирующем уровне с современными образцами мировых машин, или для проектирования новой установки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2025-530/1).

Список литературы

1. Ананьев К. А. и др. Обоснование необходимости создания буровой установки для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 3. С. 35–41.
2. Ананьев К. А. и др. Оценка возможности применения установок для бурения восстающих выработок в качестве технических средств для создания сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2023. № 2. С. 4–25.
3. Ермаков А. Н., Амосов А. А., Козлов Р. Д. База данных «Буровых установок» – горизонтального и наклонного бурения, для подземных и открытых разработок. 2022.
4. Аксенов В. В. и др. Обзор и анализ методик определения параметров резцовых исполнительных органов. Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2014. С. 92–94.

5. Стандарт предприятия. Расчет средних нагрузок на коронках для бурения скважин по углю. Методика. СТП 004013.0.030-84. Донгипроуглемаш, 1984. 23 с.

6. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика Отраслевой стандарт 12.44.258-84. – Взамен ОСТ 12.47.001-73; Введ. 01.01.86.- Изд. офиц. 1973. 107 с.

7. Методические указания. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Расчет эксплуатационной нагруженности трансмиссии исполнительного органа. РД12.25.137-89. Москва: Министерство угольной промышленности СССР, 1989.

8. Shaterpour-Mamaghani A. и др. Development of new empirical models for performance estimation of a raise boring machine // Tunn. Undergr. Space Technol. 2018. Т. 82. С. 428–441.

9. Shaterpour-Mamaghani A. и др. Suggestion of new models for predicting performance of raise boring machines based on indentation tests // Tunn. Undergr. Space Technol. 2023. Т. 138. С. 105181.

10. Yagiz S. и др. Empirical Models for Estimating Performance and Operational Parameters of Raise Boring Machine in Mining Applications // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. IOP Publishing, 2021. Т. 833, № 1. С. 012129.

11. Some contributions on the estimation of performance and operational parameters of raise borers – A case study in Kure Copper Mine, Turkey // Tunn. Undergr. Space Technol. Pergamon, 2016. Т. 54. С. 37–48.

12. Suggestion of new models for predicting performance of raise boring machines based on indentation tests // Tunn. Undergr. Space Technol. Pergamon, 2023. Т. 138. С. 105181.

13. The effect of EPB face pressure on TBM performance parameters in different geological formations of Istanbul // Tunn. Undergr. Space Technol. Pergamon, 2023. Т. 138. С. 105184.

УДК 622.331:622.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СУШКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВОВ ИЗ ТОРФА И БИОМАССЫ

Артемьев М.А.
студент 5 курса, Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, maks4art@yandex.ru

Научный руководитель: Черткова Е.Ю.
к.т.н., доцент, Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

Аннотация. Представлены исследования влияния внесения отходов деревообрабатывающего производства и костры льна для улучшения качественных характеристик кускового торфа. Оптимизация добычи торфа в Мурманской области необходима для замещения привозного топлива в котельных местными ресурсами. Добыча кускового торфа способствует снижению логистических затрат, развитию экономики региона и решению энергообеспечения северных территорий с учетом их специфических условий. Внесение биомассы положительно влияют на качество готовой продукции.

Ключевые слова: торф, биомасса, композиционные составы, коммунально-бытовое топливо, отходы деревопереработки, костра льна, зольность, сушка, прочность.

Введение. Развитие торфодобычи в условиях Крайнего Севера диктуется необходимостью обеспечения области местным коммунально-бытовым топливом [1, 2]. Это позволяет снизить энергетическую зависимость региона от дальнепривозных видов топлива (мазут, уголь и т. п.) и скорректировать топливно-энергетический баланс в сторону использования биотоплив [3, 4].

Цель исследования: определить влияние добавок биомассы на качественные характеристики композиционного твердого топлива на основе торфа.

Для решения поставленной цели необходимо проведения исследований по изучению влияния композиционных компонентов на процесс структурообразования при сушке экспериментальных образцов формованного твердого топлива [5, 6]. Внесение органических компонентов в торфяную матрицу позволяет снижать зольность, увеличивать прочность и плотность, а также теплотворную способность биотоплива.

Методы. В рамках данной работы торфомасса подвергалась объемной модификации, после чего ее формовали методом экструзии [7 – 9]. Формование образцов осуществлялось через цилиндрический однотрубный мундштук [10]. Отличительной особенностью экспериментальных образцов было добавление биомассы (опилки и коста льна) в торфяное сырье в соотношение 50 : 50 % по массе, в расчете на абсолютно сухое вещество.

Результаты. В результате анализа полученных эксперементальных данных было установлено, что при использовании биологических материалов снижается начальное влагосодержание при формовании, вследствие чего снижаются энергозатраты и улучшаются технологические показатели процесса производства (сушки). При этом увеличиваются показатели прочности, плотности, а также снижается крошимость образцов при прочих равных условиях, что положительно влияет на основные качественные характеристики готовой продукции (композиционное формованное биотопливо).

Обсуждение. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что использование вторичных материалов деревопереррабатывающего производства и экологически чистых остатков от переработки льна способствует снижению зольности топлива, что делает его пригодным для применения в местных котельных. При этом с добавлением биомассы не оказывается значимого воздействия на интенсивность сушки. Прочность полученных образцов повышается, что приводит к снижению потерь кускового торфа при транспортировке и хранении. Предлагаемый подход позволяет существенно расширить

возможности использования местных торфяных ресурсов с переводом в балансовые части забалансовых запасов. Результаты исследований предлагается использовать для проведения дальнейших научных и опытно-конструкторских работ с выходом на практическое использование в реальном секторе экономики нашей страны.

Заключение. Практическая ценность данного исследования заключается в разработке экспериментального обоснования возможности промышленного производства в условиях Крайнего Севера композиционного формованного твердого топлива из торфа и биомассы, и частичном замещении привозного топлива на местных энергетических и коммунально-бытовых объектах теплоснабжения.

Список литературы

1. Заровняев Б. Н., Попов В. Ф., Шубин Г. В., Будикина М. Е., Соколова М. Д. Перспективы освоения месторождений торфа арктических и субарктических районов России // ГИАБ. 2020. № 6. С. 168–177. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177

2. Беляков В.А., Купорова А.В. О возможности добычи торфа за полярным кругом // в сборнике Социально-экономические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы 16-ой Межд. конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, 2020. С 152-159.

3. Панов, В.В., Мисников, О.С. Тенденции развития торфяной отрасли в России // Горный журнал. 2015. № 7. С. 108-112. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.15

4. Мисников, О.С., Тимофеев, А.Е. Оценка состояния торфяного производства в Российской Федерации с применением интеллектуальной обработки текстовой информации и аналитики данных // Горный журнал. 2024. № 11. С. 46-56. DOI: 10.17580/gzh.2024.11.08

5. Афанасьев А. Е., Чураев Н. В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. – М. : Недра, 1992. 287 с.

6. Артемьев М.А., Пухова О.В., Хусейнов М.У. Прогнозная оценка цикловых сборов при оптимизации процесса сушки торфа // В сборнике технологии и инновации. Материал IX Всероссийской научно-практической конференции. Тверь, 2025. С. 66-70.

7. Мисников О.С., Беляков В.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля. Учеб. пособие – 2-е изд. перераб. и дополненное – Тверь: ТвГТУ, 2016. 168 с.

8. Пухова О.В., Шахматов К.Л., Женихов К.Ю. Пути улучшения технико-экономических характеристик производства кускового торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2024. №4(24). С.37-45. DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-37-45

9. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Анализ параметров и режимов работы формующего агрегата машин для добычи кускового торфа с позиции обеспечения качества получаемого продукта // Горный журнал, 2022. № 5. С. 52-57. DOI: 10.17580/gzh.2022.05.07

10. Яблонев А.Л. О рациональной форме кускового торфа с учетом его прочности на изгиб // Горный журнал. 2025. № 9. С. 88-98. DOI: 10.17580/gzh.2025.09.11

УДК 622.831.322

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ЗОН ОПАСНЫХ ПО ГДЯ В УСЛОВИЯХ УСТЬ-ЯЙВИНСКОГО УЧАСТКА ВКМКС

Бердникова С.А.
студент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, my.worker@mail.ru

Научный руководитель: Папулов А.С.
старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

Аннотация. В работе проведено прогнозирование зон, опасных по газодинамическим явлениям, на одном из участков Верхнекамского месторождения калийных солей с использованием дискриминантного анализа. По пространственным моделям геологических показателей пласта Б определены значения параметров в точках проявления газодинамических явлений и выполнен их сравнительный анализ с общей выборкой. Полученное решающее правило позволяет отнести точку наблюдения к опасной или неопасной зоне на исследуемом участке.

Ключевые слова: газодинамические явления, Верхнекамское месторождение, геологические показатели, дискриминантный анализ, прогнозирование.

Введение. Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) отрабатывается с 30-х годов XX века. На протяжении всего периода эксплуатации одним из наиболее опасных факторов при подземной разработке калийных солей являются газодинамические явления (ГДЯ). На сегодняшний день в пределах пяти участков южной части месторождения (БКПРУ-1, 2, 3, 4 и Усть-Яйвинский участок) зарегистрировано 156 случаев ГДЯ из кровли пласта Б. Газодинамические явления на калийных рудниках приводят к остановке очистных работ, повреждению добычной техники и травмам горнорабочих. В связи с этим прогнозирование ГДЯ является важной задачей обеспечения безопасности ведения горных работ. Проблемой прогнозирования ГДЯ на месторождениях калийных солей занимались множество научных сотрудников ГИ УрО РАН: С.С. Андрейко [1,2], Н.А. Литвиновская [2], О.В. Иванов [3-5], Е.В. Лукъянец [6, 7], Д.И., Шишлянников Д.И. [8], А.С. Папулов [1], В.О. Лядов [1, 9], К.Б. Фатькин [10].

Методы. Региональный прогноз вероятности проявления ГДЯ на Усть-Яйвинском участке ВКМКС основан на дискриминантном анализе. Суть его работы заключается в образовании нескольких линейных комбинаций признаков для получения скрытых переменных в дискриминантных функциях, описывающих связи между переменными в выборке.

Для прогнозирования рассматривались геологические параметры пласта Б – это мощность пласта, содержание хлорида калия, хлорида натрия, хлорида магния и содержание нерастворимого остатка. Всего проанализировано свыше 5300 значений по данным поверхностных скважин детальной разведки, подземного разведочного бурения и бороздовых проб.

Результаты. При реализации дискриминантного анализа вышеперечисленных параметров получено решающее правило для последующего проведения прогноза зон, опасных по ГДЯ. Правильность классификации составила более 90 %.

Процедура прогнозирования сводится к вычислению значения дискриминантной функции для заданной точки наблюдения с последующей классификацией этой точки как относящейся к опасной или неопасной зоне с точки зрения газодинамических явлений. На основе полученных решающих правил построена прогнозная карта потенциально выбросоопасных зон на Усть-Яйвинском участке. К таким зонам отнесена примерно половина территории участка – преимущественно его юго-западная часть.

Обсуждение. Применение линейного дискриминантного анализа показало, что совокупность геологических параметров обладает высокой разделяющей способностью при классификации выбросоопасных зон. Высокая точность классификации указывает на значимую роль геологической неоднородности пласта Б в формировании очагов ГДЯ. Полученные результаты свидетельствуют о возможности разграничения потенциально опасных и безопасных участков на основе статистического анализа геологических данных. Это указывает на существенное влияние природной неоднородности массива на формирование очагов ГДЯ наряду с техногенными факторами.

Заключение. По результатам проделанной работы выполнен сравнительный анализ горно-геологических параметров в точках проявления ГДЯ с общей выборкой. Сформированное с помощью дискриминантного анализа решающее правило позволило разделить точки наблюдения на выбросоопасные и невыбросоопасные, а его применение к пространственным данным позволило построить прогнозную карту Усть-Яйвинского участка. Для повышения безопасности ведения горных работ, одним из вариантов может быть переход на дистанционное управление очистными комбайнами на участках, опасных по ГДЯ, а также уплотнение сетки глубоких дегазационных шпуров для снижения давления свободных газов в пласте. Предложенный подход может быть интегрирован в геоинформационные системы предприятий для автоматизированного обновления карт прогноза при поступлении новых геологических данных.

Список литературы

1. Андрейко С.С. и др. Анализ геологических условий проявления газодинамических явлений в условиях Гремячинского ГОКа //Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2024. – №. 1. – С. 465-474;
2. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Локальный прогноз зон, опасных по газодинамическим явлениям из почвы горных выработок пласта АБ на южной части шахтного поля БКПРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №. 4. – С. 205-211.
3. Дудин, А.К. Построение прогнозной карты зон, опасных по газодинамическим явлениям в пределах 14-20-й западных панелей шахтного поля рудника БКПРУ-2 / А.К. Дудин, О.В. Иванов // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Пермь, 28–29 ноября 2023 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2023. – С. 264-273;
4. Дамер Д.П., Иванов О.В. Прогноз газодинамической опасности пласта АБ на 1 СВП рудника СКРУ-1 //Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2025. – №. 4. – С. 491-496.
5. Дудин, А.К. Оценка газодинамической опасности продуктивных пластов в пределах северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 / А.К. Дудин, О.В. Иванов // Master's Journal. – 2023. – № 1.
6. Лукьянец Е. В., Бобров Д. А. Механизм образования очагов газодинамических явлений в складчатых структурах калийных пластов //Горное эхо. – 2020. – №. 2. – С. 106-114;
7. Лукьянец Е. В. Прогнозирование складчатых структур сильвинитового пласта АБ, опасных по газодинамическим явлениям, в условиях шахтного поля рудника БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» //Горное эхо. – 2023. – №. 2. – С. 104-110;
8. Шишлянников Д. И. Прогнозирование газодинамических явлений при работе комбайнов на калийных рудниках //Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей. – 2021. – С. 200-207;
9. Лядов В. О. Актуализация регионального прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям, в условиях Гремячинского месторождения калийных солей //Горное эхо. – 2024. – №. 2. – С. 66-71;
10. Фаткин К. Б. Метод прогнозирования газодинамических явлений на основе динамического анализа сейсморазведочных данных //Горное эхо. – 2024. – №. 2. – С. 55-58.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТУПОВ КАРЬЕРА НА ОСНОВЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ОБРАТНЫХ РАСЧЁТОВ

Блинов К.А.
студент, Горный институт НИТУ «МИСИС», Москва, Россия, m2006371@edu.misis.ru

Научный руководитель: Черепецкая Е.Б.
д.т.н., проф. кафедры физические процессов горного производства и геоконтроля, Горный институт НИТУ «МИСИС», Москва, Россия

Аннотация. Проектирование бортов карьера ориентировано на генеральный угол, игнорируя локальные параметры уступов, а неточные прочностные свойства по геологоразведочным данных создают разрыв с реальными условиями эксплуатации. Фотограмметрическая модель, построенная в программном комплексе Agisoft «Metashape», позволяет выявить свершившиеся вывалы и провести обратные расчеты с целью уточнения свойств массива. Кинематический и детерминированный анализ, выполняемый в программных комплексах Rocscience «Dips» и «Slide3», «RocSlope», соответственно, позволяет оптимизировать параметры карьера на уточненных свойствах массива. Метод позволяет определить более корректное значение коэффициента запаса устойчивости, выявить неблагоприятные уступы и оптимизировать их параметры.

Ключевые слова: открытые горные работы, устойчивость бортов карьера, фотограмметрия, обратные расчеты, кинематический анализ, детерминированный анализ.

Введение. Проектирование бортов карьеров традиционно ориентировано на генеральный угол, с минимальным вниманием к параметрам уступов и берм. Прочностные свойства идеального образца без учета масштабного эффекта зачастую завышены, что создает разрыв между проектными расчетами и реальными условиями эксплуатации. Целью исследования является разработка метода оптимизации параметров уступов кинематическим и детерминированным анализом на основе уточненных свойств массива, выявленных обратными расчетами по фотограмметрической модели.

Методы. В рамках работы было выполнено построение фотограмметрической модели для выявления вывалов и структурных особенностей. На основе анализа геометрии отдельных выявленных ранее вывалов, а также принципа предельного равновесия, при котором сдвигающие и удерживающие сил равны, что соответствует предельному состоянию с коэффициентом запаса устойчивости, равным 1, проведены обратные расчеты. Результатом обратных расчетов являются значения угла внутреннего трения и сцепления с учетом масштабного эффекта, шероховатости, волнистости и ступенчатости естественных структурных нарушенностей. Кинематический и детерминированный анализ использован для оптимизации параметров уступов.

Результаты. Обратные расчеты по 15 вывалам показали угол внутреннего трения φ=25 °, сцепление с=20 МПа для домена А и φ=31 °, с=29 МПа для домена В, что в среднем на 25% ниже, чем свойства, принятые на этапе проектирования борта. Кинематический анализ выявил неблагоприятные направления для каждого потенциального механизма обрушения, а детерминированный анализ показал коэффициент запаса устойчивости для всех опасных направлений борта карьера. Дополнительно, по результатам анализа были рекомендованы оптимальные параметры уступов карьера с учетом прочностных свойств по обратным расчетам.

Обсуждение. Результаты устраняют разрыв между проектными расчетами и реальной свойствами и геометрией бортов. Предложенный подход превосходит традиционные методы за счет анализа существующих вывалов и обнажений, минимизируя влияние недостатка данных при проектировании.

Заключение. Метод обратных расчетов на фотограмметрических данных позволяет оптимизировать параметры уступов, повышая коэффициент запаса устойчивости и снижая риски вывалов. Практическая значимость предложенной методики обоснована снижением количества потенциальных вывалов и деформаций на неблагоприятных бортах карьера и повышение безопасности. Дальнейшее развитие предложенной методики позволит автоматизировать выявление и анализ вывалов по фотограмметрической модели путем интеграции в процесс машинного обучения.

Список литературы

1. Ghobadi M. Engineering Geological Factors Influencing the Stability of Slope in the Illawarra Region: Ph.D. Thesis. Wollongong: University of Wollongong. – 1994. – Vol. 16. – P. 7–14. URL: https://ro.uow.edu.au/articles/thesis/Engineering_geologic_factors_influencing_the_stability_of_slopes_in_the_northern_Illawarra_region/27646557?file=50348187
2. Gao W., Dai S., Xiao T., He T. Failure process of rock slopes with cracks based on the fracture mechanics // Eng. Geol. – 2017. – Vol. 231. – P. 190–199. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795217301473
3. Sha L. Analysis of slope instability factors and protection // Int. J. Multidiscip. Res. Dev. – 2016. – Vol. 311. – P. 181–182. URL: https://www.researchgate.net/publication/392011369_Analysis_of_slope_instability_factors_An_application_study_of_a_novel_interpretable_ensemble_model
4. Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. 1st ed. Canberra: CSIRO, – 2009. – Vol. 88. – P. 56-68.
5. Simataa E. Investigating Slope Stability in Open Pit Mine – A Case Study of the Phyllites Wall at Sentinel Pit: The University of Witwatersrand. – 2019. – P. 143–146.
6. Wyllie D.C., Mah C.W. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4th ed. New York: Spon Press. – 2004. – Vol. 59. – P. 37–54.
7. Prakash B. Design of Stable Slope for Open Cast Mines: B.Tech Report. Rourkela: National Institute of Technology. – 2009. – Vol. 12. – P. 6-9. URL: https://www.mdpi.com/2673-6489/2/2/19.
8. Kolapo P., Munemo P. Investigating the correlations between point load strength index, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of sandstones. A case study of QwaQwa sandstone deposit // Int. J. Min. Miner. Eng. – 2021. – Vol. 125. – P. 67–83. URL: https://www.researchgate.net/publication/351519358_Investigating_the_correlations_between_point_load_strength_index_uniaxial_compressive_strength_and_Brazilian_tensile_strength_of_sandstones_A_case_study_of_QwaQwa_sandstone_deposit.
9. Liu Q., Li J. Effects of Water Seepage on the Stability of Soil-Slopes // Procedia IUTAM. Beijing. – 2015. – Vol. 9. – P. 4–6. URL: https://www.sciencedirect.com/ science/article/pii/S2210983815002448.
10. Johansson J. Impact of Water-Level Variations on Slope Stability. Lulea: Lulea University of Technology, 2014. – Vol. 8. – P. 5. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-Water-Level-Variations-on-Slope-Stability-Johansson/4b1ac34c18b83d4384120d5b718820102295c3e7

УДК 624.042.4

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОКРЫТИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Богданов А.А.
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Научные руководители:
Храпунов Е.Ф.[1], Алексеев А.В.[2]
[1] кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, ФГУП Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия
[2] кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния формы покрытия большепролетных сооружений на распределение ветровой нагрузки. Эксперименты проведены в Большой аэродинамической трубе Крыловского научного центра на масштабных моделях треугольной призмы и цилиндра. Выявлено, что наличие острых кромок у призмы фиксирует положение отрыва потока и стабилизирует аэродинамические коэффициенты, тогда как у цилиндра отрыв зависит от числа Рейнольдса, что требует тщательного моделирования турбулентной структуры потока. Обоснована целесообразность применения конструкций с наличием кромок для снижения негативного локального аэродинамического воздействия.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, аэродинамическая труба, экспериментальное моделирование, аэродинамика зданий, отрыв потока.

Введение. Обеспечение надёжности зданий при ветровом воздействии остаётся одной из ключевых задач строительного инжиниринга. Многие предприятия минерально-сырьевого комплекса расположены в регионах, где ветровые нагрузки часто являются детерминирующими при проектировании зданий и сооружений [1, 2]. Это предъявляет повышенные требования к точности расчётов и глубокому пониманию аэродинамических процессов. Современное строительство характеризуется широким внедрением большепролётных конструкций и лёгких ограждающих систем, которые так же обладают повышенной чувствительностью к аэродинамическим воздействиям [3].

Традиционный нормативный подход, представленный в СП 20.13330.2016 [4], базируется на использовании табличных аэродинамических коэффициентов, полученных для тел простой геометрии и ограниченного набора направлений ветра. Однако, как показывает практика, реальное обтекание зданий не может быть адекватно описано с использованием упрощённых нормативных схем [5]. В частности, неортогональные углы натекания в большинстве случаев остаются за рамками расчёта, что может приводить к недооценке нагрузок [6].

В связи с этим возрастает роль физического моделирования в аэродинамических трубах. Такой подход позволяет не только получить достоверные поля давления, но и визуализировать структуру обтекания, выявить механизмы формирования нагрузок [7]. В настоящей работе представлено экспериментальное сравнение двух форм большепролётных конструкций – треугольной призмы и полуцилиндра – выполненное в Большой аэродинамической трубе Крыловского научного центра. Цель работы – выявить закономерности формирования полей давления на покрытиях простых форм и определить, как геометрия влияет на локальные аэродинамические нагрузки.

Методы. Эксперименты проводились в Большой аэродинамической трубе замкнутого типа с открытой рабочей частью. В качестве исследуемых объектов приняты две простые формы, характерные для большепролётных покрытий:

– треугольная призма (двускатная кровля) с размерами в натуре 150×36,5 м и углом при основании 44°;

– полуцилиндр (сводчатое покрытие) с аналогичными габаритными размерами.

Для измерения распределения давления использовались высокочастотные сканеры давления. Давление регистрировалось в контрольных точках, расположенных вдоль образующих поверхностей модели с шагом 50–100 мм. Измерения выполнялись при углах натекания потока α от 0° до 90° с шагом 10°.

Визуализация осуществлялась методом глицеринсодержащего пара. Форсунка размещалась в рабочей зоне трубы, траектории линий тока фиксировались с помощью двух цифровых камер на фоне координатной сетки (50×50 мм). Это позволило оценить положение и размеры вихревых структур.

Результаты. В результате исследований двух объектов получены следующие общие закономерности:

- при угле 0° перед моделью формируется подпорный вихрь, у кромок формируются области интенсивного отрыва [8];

- при углах 30-60° формируется вихревая структура, вытянутая вдоль поверхности

- при угле 90° поверхность объектов разделяется на наветренную, активно взаимодействующую с потоком, и подветренную, находящуюся в области аэродинамического отрыва

При этом стоит отметить существенные различия, обусловленные влиянием формы сооружения:

- при углах 30-60° вихревая структура для призмы оказывается более выражена, чем у цилиндра;

- при угле 90° для цилиндра, в отличии от призмы точки отрыва потока не фиксированы. При изменении скорости или угла натекания картина существенно трансформируется [9].

Обсуждение. Сопоставление результатов для призмы и цилиндра позволяет сделать следующие выводы:

1. У призмы наличие острых кромок фиксирует положение отрыва, что согласуется с исследованиями обтекания подобных тел.

2. При углах, отличных от ортогональных, существенную роль играют торцевые кромки, на которых зарождается вихревая структура, оказывающая влияние на давления на поверхностях покрытия.

3. Для призмы с фиксированными точками отрыва аэродинамические коэффициенты в автомодельной области практически не зависят от скорости потока. Для цилиндра, напротив, положение точек отрыва и распределение давления существенно меняются, что требует особой тщательности при моделировании. Нормативные документы [4] и ряд авторов [5] указывают на необходимость воспроизведения турбулентной структуры пограничного слоя для достижения подобия.

Заключение. Форма покрытия большепролётного сооружения определяет не только интегральную величину ветровой нагрузки, но и характер её пространственного распределения. Для снижения негативных локальных аэродинамических воздействий на большепролётные сооружения целесообразно использовать конструкции с наличием острых кромок. Такие элементы стабилизируют картину обтекания, способствуют раннему отрыву потока и уменьшают вероятность возникновения локальных разрежений, характерных для гладких поверхностей.

Список литературы

1. Повзун, А.О. Ветровая нагрузка на здания и сооружения / А.О. Повзун, Н.И. Бузун, С.С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 3(30). – С. 70-80. – EDN TUHVUH.
2. Воздействие ветровых и снеговых нагрузок на большепролетные покрытия / Н.А. Попов, И.В. Лебедева, Д.С. Богачев, М.М. Березин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 12. – С. 71-76. – EDN XISJCT.
3. Дорошенко, С.А. Определение ветровой нагрузки на трехмерные конструкции с помощью моделирования в аэродинамической трубе / С.А. Дорошенко, А.В. Дорошенко, Г.В. Орехов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 7. – С. 69-74. – EDN PDQTSN.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
5. Храпунов Е.Ф., Соловьев С.Ю., Соколов В.В., Новиков А.Н., Можайский С.А. Об аэродинамических исследованиях высотных и уникальных сооружений // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2025. Т. 12, № 1. С. 91–97. DOI: 10.24892/RIJIE/20250115.
6. Пастушков П.П., Синявин А.А., Чулюнин А.Ю. О величине шага по азимуту ветрового потока при аэродинамических исследованиях высотных зданий // Жилищное строительство. 2024. № 6. С. 49–52. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-6-49-52.
7. Саиян, С.Г. Анализ ветровых нагрузок и воздействий на высотные здания и сооружения. Обзор современного состояния, проблемы и перспективы. Часть 1. Ветровые нагрузки и методы их определения / С.Г. Саиян, М.В. Шитикова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 4(796). – С. 5-19. – DOI 10.32683/0536-1052-2025-796-4-5-19. – EDN QFVHVG.
8. Richards P.J., Hoxey R.P., Short L.J. Wind pressures on a 6 m cube // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2001. Vol. 89. P. 1553–1564. DOI: 10.1016/S0167-6105(01)00139-8.
9. Zdravkovich M.M. Flow around circular cylinders. Vol. 1: Fundamentals. Oxford Science Publications, 1997. 672 p.

УДК 622.235

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глазков И.Д.[1], Стеблянко И.О.[2]
[1] студент, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия, vany.glazkov.2003@mail.ru
[2] инженер-технолог 1 категории, Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель», рудник «Комсомольский» технический отдел, ilya5601@mail.ru

Научный руководитель: Туртыгина Н.А.
кандидат технических наук, доцент, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

Аннотация: Процесс ведения буровзрывных работ регулярно меняется в связи с появлением новых технологий и горнодобывающим компаниям необходимо подстраиваются под влияния идущего технического и технологического прогресса. В работе представлены современные методы ведения буровзрывных работ, которые повысят эффективность, безопасность и производительность буровзрывных работ. Оптимизация данного процесса позволит повысить качество товарной продукции.

Ключевые слова: электронные системы инициирования, безопасность, оптимизация параметров буровзрывных работ, моделирование и автоматизация буровзрывных работ, проектирование, программное обеспечение, экология, безопасность ведения горных работ, экономический эффект.

В нынешних условиях автоматизация производственных процессов неотъемлемая часть развития горнодобывающей отрасли. Повышение эффективности ведения буровзрывных работ осуществляется разными способами, стараясь достичь наилучших результатов.

Рост себестоимости добычи на глубинных горизонтах, истощение богатых руд и увеличение добычи вкрапленных руд ведет к разработке адаптивных алгоритмов расчёта параметров буровзрывных работ с учётом реальных горно-геологических условий [10, стр. 92]. Оптимизация данного процесса также актуальна для минимизации горнодинамических явлений, что обеспечит безопасные условия труда в рамках стратегии устойчивого развития горнодобывающей отрасли Арктического региона [12, стр.23].

Исследование базируется на анализе и результатах опытно-промышленных испытаний.

Совершенствование буровзрывных работ в современных условиях направлено на повышение точности, безопасности и экономической эффективности. Что касается технологического процесса – одним из способов является внедрение электронных систем инициирования (ЭСИ), направленное на снижение операционных расходов, а также на повышение надёжности синхронизации взрывов. Внедрение ЭСИ обеспечит возможность взрывания блоков нестандартной конфигурации в сложных условиях залегания месторождения и позволит проводить каскадные взрывы нескольких блоков как одновременно, так и последовательно, с чётким соблюдением срабатывания детонаторов после подачи команды на взрыв [14, стр.231]. Оптимизация технического процесса включает в себя использование программных обеспечений для проектирования. На данный момент для моделирования взрыва внедряется ПО «Blast Maker». Применение этого программного продукта в проектировании буровзрывных работ даёт возможность прогнозировать контур отрыва, наиболее точно рассчитать угол наклона скважины и веера, что существенно влияет на качество товарной руды [15, стр. 25]. Также ПО учитывает напряженно-деформированное состояние массива и неоднородность

структуры пород. Совместное использование ЭСИ и ПО «Blast Maker» позволит оценить и более практично расходовать взрывчатые материалы, учитывая специфику горно-геологических условий на определенных участках ведения буровзрывных работ. Также этот способ обеспечит безопасность в зонах потенциального обрушения и стабилизирует соответствие проектным решениям при ведении процесса буровзрывных работ.

Таким образом, в ходе проведения анализа и подсчёта результатов опытно-промышленных испытаний было отмечено снижение разубоживания (таблица 1), уменьшение производственных затрат и улучшение качества дробления горной массы. Достигнуто снижение количества негабарита, увеличение производительности бурового оборудования, а также повышение производительности очистных работ. Анализ расчётов в конкретных горно-геологических условиях фиксирует минимизацию негативного влияния на сейсмическую стабильность.

Точное моделирование параметров зарядов позволяет сократить расход взрывчатых веществ без ущерба для качества дробления горной массы. Одновременно алгоритмы оптимизации сетки скважин снижают объем буровых работ, что напрямую влияет на себестоимость добычи. Экономический эффект усиливается за счет сокращения непроизводительных потерь и минимизации перебура.

Включение данных методов в производственный цикл позволит сократить срок проектирования и проведения буровзрывных работ в 2.5-3 раза по сравнению с традиционными методами.

Таблица 1

Плановые и фактические результаты очистных буровзрывных работ

Месяц	**Янв**	**Фев**	**Март**	**Апр**	**Май**	**Июнь**	**Июль**	**Авг**	**Сент**	**Окт**	**Ноя**
План, %	11,2	11,2	11,2	14,3	13,4	13,4	16	16	16	16,7	16,3
Факт, %	24,7	17,4	17,4	22	16,5	10,2	10,4	15,3	13,5	17,5	11,6
Отклонение проектного плана	13,5	6,2	6,2	7,7	3,1	-3,2	-5,6	-0,7	-2,5	0,8	-4,7
Проектирование	без ПО «Blast Maker»					с ПО «Blast Maker»					
Среднее отклонение проектного плана	7,34					-2,9					

Предложенные методы в положительную сторону повлияют на весь процесс буровзрывных работ, и в дальнейшем позволит более оптимально производить добычу полезного ископаемого. Экономическая эффективность обусловлена детальным и адаптированным подходом к ведению буровзрывных работ, так как точный расчёт всех параметров позволит снизить количество используемых взрывчатых материалов и сократить время на подготовку забоя к взрывным работам. Исследование соответствует современным требованиям горнодобывающей отрасли, направленным на улучшение качества, обеспечение безопасности и снижение затрат на проведение данного вида производственных процессов.

Переход к адаптивной системе проектирования буровзрывных работ на основе интеграции бурометрических данных, технологий онлайн-мониторинга и электронных систем инициирования, применения ЭВВ способен существенно повысить технический и экономический уровень производства. Комплексная реализация предложенных решений является важным шагом в направлении цифровизации и технологической модернизации горнодобывающей отрасли, обеспечивая устойчивое развитие предприятий в условиях возрастающих требований к эффективности, безопасности и экологичности производства.

Список литературы

Нормативно-техническая документация:

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 года №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» (ТР ТС 028/2012). Введён в действие Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года №57.
3. Приказ Ростехнадзора от 3 декабря 2020 года №494 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения».
4. Приказ Ростехнадзора от 8 декабря 2020 года №505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».
5. Приказ Ростехнадзора от 12 декабря 2024 года №384 «Об утверждении Руководства по безопасности «Общие рекомендации к хранению взрывчатых веществ и изделий на их основе на объектах производств боеприпасов и спецхимии».
6. Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 года №1435 «Положение о лицензировании деятельности, связанной с обращением взрывчатых материалов промышленного назначения».

Научная литература:

1. «Особенности применения гранулированных взрывчатых веществ на подземных горных работах рудника «Октябрьский» Корецкий А.С., Бочкарев В.Г., Елизарьев А.В., Францев Д.С. Горный журнал. 2024. № 3. С. 71-78.
2. «Управление рисками при проведении взрывных работ с использованием эмульсионных взрывчатых веществ при взрывных работах в подземных выработках, опасных по газу или пыли» Корецкий А.С., Грозовский Г.И., Созинова Д.Н., Зайцева О.О., Воробьева В.Л. Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 3. С. 69-81.
3. «Устройство инертизации призабойного пространства при ведении взрывных работ в подземных выработках шахт, опасных по взрывам рудничного газа» Лозицкий В.А., Бочкарев В.Г., Корецкий А.С., Уфатова З.Г. Горный журнал. 2021. № 10. С. 44-47.
4. «Принципиальная структура оперативной информационно-управляющей системы для стабилизации качества рудопотоков» Туртыгина Н.А., Охременко А.В., Батралиев Р.Ш., Горный журнал. – 2022. – №10.- С. 91-96.
5. Инженерно-геологические условия месторождений твердых полезных ископаемых и методы их изучения Абатурова И.В., королева И.А., стороженко Л.А., Савинцев И.А., Писецкий В.Б., Петрова И.Г. Учебное пособие / Москва, 2023.
6. Технологические процессы добычи полезных ископаемых на рудниках талнахского горно-обогатительного комбината, Глибовец М.В., Дзансолов И.В., Марысюк В.П., Кисель А.А. Горный журнал. 2025. № 7. С. 58-67.
7. Обоснование параметров геотехнологических систем шахт нового технического уровня, Мельник В.В., Шулятьева Л.И. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 8. С. 229-233.
8. Долгушев В.Г. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах Blast Maker. Горный журнал Казахстана, 2013 – 11– С. 28–32;
9. «Современные подходы ведения буровзрывных работ при отработке медно-никелевых руд» Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Стеблянко И.О., Прокофьева Н.З., Глинский А.В., Научный вестник Арктики №20. С. 69-81.
10. Коваленко В.А., Умрихин Э.А., Райымкулов М.А. Цифровая технология подготовки производства ПТК Blast Maker в условиях Михайловского ГОКа, Глобус, 2020 – 3(62), С.146–151.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРАЕВОГО МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Гордин С.А.
ассистент каф.ГМиК, КузГТУ, Кемерово, Россия, gordinsa@kuzstu.ru

Научный руководитель: Захаров А.Ю.
д.т.н, профессор каф.ГМиК, КузГТУ, Кемерово, Россия

Аннотация. В работе рассмотрен ленточный конвейер с краевым магнитным подвесом ленты, предназначенный для применения на угольных предприятиях. Актуальность исследования обусловлена недостатками традиционных роликоопорных конвейеров, связанными с износом, повышенным сопротивлением движению и дополнительными энергозатратами. Целью работы является обоснование параметров краевого магнитного подвеса на постоянных магнитах. В результате предложена конструктивная схема конвейера, разработан подход к расчёту несущей способности подвеса и получены зависимости для выбора числа магнитных секций. Показано, что применение такого решения создаёт предпосылки для повышения энергоэффективности и снижения износа ленты.

Ключевые слова: ленточный конвейер, магнитный подвес, краевой магнитный подвес, постоянные магниты, энергоэффективность, бесконтактная поддержка ленты, магнитная левитация, конвейерный транспорт, износ ленты

Введение. Ленточные конвейеры широко применяются на горнодобывающих предприятиях, однако традиционная роликоопорнные системы имеют ряд недостатков, средни них: провисание ленты, ударные нагрузки, износ и рост сопротивления движения, все это снижает ресурс оборудования и увеличивает энергозатраты [1, 2]. В мировой практике в качестве перспективного направления рассматриваются безроликовые системы с магнитным подвесом, позволяющие уменьшить механический контакт и повыстиь эксплуатационные характеристики транспортирования [3].

Целью исследования является обоснование параметров ленточного конвейера с краевым магнитным подвесом ленты для условий угольных предприятий. Для достижения этой цели поставлены задачи разработки конструктивного решения подвеса, выбора подхода к расчёту его несущей способности и определения параметров, обеспечивающих удержание ленты с грузом при снижении износа и энергозатрат.

Проблема исследования состоит в том, что существующие конвейеры не обеспечивают в полной мере требуемое сочетание надёжности, производительности и энергоэффективности, поэтому разработка краевого магнитного подвеса на постоянных магнитах является актуальной научно-технической задачей

Методы. В работе использован комплексный подход, включающий анализ существующих магнитолевитационных конвейерных систем [4, 5], разработку схемы краевого магнитного подвеса и расчёт его параметров. Требуемая подъёмная сила определялась по условиям удержания ленты с грузом, распределялась по двум бортам, после чего уточнялось необходимое число магнитных секций с учётом массы магнитных и несущих элементов. Для оценки параметров подвеса применялись аналитические методы, конечно-элементное моделирование в COMSOL Multiphysics [6], многокритериальная оптимизация NSGA-II [7,8] и символьная регрессия PySR [9]; анализ данных выполнялся путём сопоставления аналитических и численных результатов.

Результаты. В ходе исследования предложена конструкция ленточного конвейера с краевым магнитным подвесом ленты на постоянных магнитах, обеспечивающая её бесконтактную поддержку и устойчивую работу в различных режимах эксплуатации. Получены зависимости для расчёта подъёмной силы и выбора числа магнитных секций; установлено, что при фиксированных параметрах секции прирост подъёмной силы с увели-

чением их количества имеет линейный характер. Показано, что применение такого решения создаёт предпосылки для снижения износа, уменьшения сопротивления движению и повышения энергоэффективности конвейера [10].

Обсуждение. Полученные результаты вписываются в современное направление развития безроликовых конвейерных систем с магнитной левитацией, ориентированных на снижение износа и энергозатрат. Научная значимость работы состоит в том, что идея магнитного подвеса адаптирована к условиям угольных предприятий и доведена до инженерного уровня за счёт разработки конструктивной схемы краевого подвеса, расчётного подхода и принципов выбора его параметров.

Заключение. Установлено, что краевой магнитный подвес ленты на постоянных магнитах может рассматриваться как перспективная основа для создания безроликового ленточного конвейера с пониженным износом и сопротивлением движению. Практическая значимость работы состоит в предложении конструктивного решения и расчётного подхода к выбору параметров подвеса. Дальнейшие исследования целесообразно направить на экспериментальную верификацию конструкции и оценку её эффективности в промышленных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2025-530/1).

Список литературы

1. Захаров А.Ю., Герике Б.Л., Ширямов Д.А. The Ultimate Rotating Resistance of the Belt Conveyors Rollers. Atlantis Press, 2018. С. 227–230.
2. Захаров А.Ю. Ерофеева Н.В. Возможности снижения динамических нагрузок на конвейерную ленту // Горное оборудование и электромеханика. 2018. Т. 6. С. 8–13.
3. Sun F. и др. Permanent Maglev Platform Using a Variable Flux Path Mechanism: Stable Levitation and Motion Control // IEEE Trans. Magn. 2022. Т. 58, № 7. С. 1–10.
4. Raut N.K. и др. Comparative Study of Magnetic Levitation Models: 2 // J. Nepal Phys. Soc. 2022. Т. 8, № 2. С. 37–41.
5. Tang X. и др. Development of a Conveyor Cart with Magnetic Levitation Mechanism Based on Multi Control Strategies: 19 // Appl. Sci. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Т. 13, № 19. С. 10846.
6. Henrotte F., Geuzaine C. Electromagnetic forces and their finite element computation // Int. J. Numer. Model. Electron. Netw. Devices Fields. 2024. Т. 37, № 5. С. e3290.
7. Wang Z., Pei Y., Li J. A Survey on Search Strategy of Evolutionary Multi-Objective Optimization Algorithms // Appl. Sci. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Т. 13, № 7. С. 4643.
8. Deb K. и др. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II // IEEE Trans. Evol. Comput. 2002. Т. 6, № 2. С. 182–197.
9. Гордин С. Determining-the-maximum-linear-mass-of-a-conveyor-belt-based-on-PYSR-symbolic-regression: Python. 2025.
10. Shin H.-J. и др. Influence of Lateral-Impact Force on Electropermanent Magnet Suspension Conveyor With Inherent Guidance Force // IEEE Trans. Magn. 2016. Т. 52, № 7. С. 1–4.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ КОТЛОВАНА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВАЙ-БАРРЕТ С ОКРУЖАЮЩИМ ГРУНТОМ

Готман Н.З., Ле Чунг Хиеу
кафедра «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ(МИИТ), Москва, Россия, letrunghieu531996@gmail.com

Научный руководитель: Готман Н.З.
доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ(МИИТ), Москва, России.

Аннотация. Данная работа посвящена решению актуальной задачи, связанной с повышением надежности фундамента из свай-баррет с учетом откопки глубокого котлована. Актуальность данной темы обусловлена тем, что устройство свай баррет и их статическое испытание часто выполняются с поверхности грунта до откопки котлована, а проектной нагрузкой сваи нагружаются уже после откопки котлована, что в настоящее время не учитывается при расчете и проектировании барретных фундаментов. В этой работе были определены закономерности изменения осадок баррет, выполненных и нагруженных с поверхности грунта до откопки и после откопки котлована, в зависимости от глубины котлована и определить коэффициенты снижения осадок. Главный вывод, к которому пришли по результатам численных исследований, заключается в том, что глубина откопки котлована оказывает существенное влияние на вертикальную нагрузку.

Ключевые слова: численное исследование, PLAXIS, искомая функция, график «нагрузка-осадка», корректирующий коэффициент.

Введение. В настоящее время сваи-барреты используются для устройства многоэтажной подземной части высотного здания в глубоких котлованах во многих странах мира [1-3]. В нормативном источнике [4] по определению баррета (с двумя буквами «р») – это несущий железобетонный фундамент (стержень), с рабочей боковой поверхностью, выполненный в одной захватке способом «стена в грунте» – как её единичный элемент, что больше соответствует реалиям с учётом технологии её возведения. Можно сказать, что применение конструкции барреты в сложных инженерно- геологических условиях Вьетнама, особенно в крупных городах, таких как Ханой и Хошимин, является эффективной мерой для строительства подземных сооружений, в том числе и высотных зданиях с подвалами на слабых грунтах, при высоких уровнях грунтовых вод и множестве прилегающих строительных объектов. Анализ опубликованной научной литературы [5-8], касающейся расчета свай-баррет при их взаимодействии с грунтом, также показал, что вопросы влияния глубины откопки котлована на несущую способность и осадку «висячих» свай-баррет практически не изучены. *Целью данной работы* является уточнение влияния глубины котлована на изменение графиков «нагрузка-осадка» сваи-барреты, испытанной с поверхности, и разработка методики корректировки графиков «нагрузка-осадка» в зависимости от глубины котлована и технологии устройства баррет (с поверхности, или с отметки дна котлована).

Методы. Расчеты выполнялись для прямоугольной сваи-барреты сечением 800×2500 мм, которая работает в пределах глубины 30 м. Численные расчеты выполняются в программе PLAXIS в пространственной постановке. Для моделирования грунта применяется модели упрочняющегося грунта *(Hardening Soil).* Основание представлено сильно сжимаемым глинистым грунтом, а свая-баррета рассмотрена как «висячая свая» [9]. Для определения значимых варьируемых факторов, влияющих на осадку сваи-барреты при проведении численных расчетов, выполнено планирование эксперимента, которое позволяет получить зависимость искомой функции отклика от

нескольких факторов [10]: глубина откопки котлована, длина сваи, расчетные показатели глинистых грунтов (модуль деформации).

Результаты. Анализ коэффициентов при варьируемых факторах позволил нам показать, что наибольшее влияние на различие осадок барреты, выполненной с поверхности, при ее нагружении до откопки и после откопки котлована, оказывает глубина котлована, за ней следует длина сваи, а расчетные показатели глинистых грунтов оказывают наименьшее влияние. По результатам расчета построены обобщенные графики зависимости вертикального перемещения от нагрузки на сваю (кН), включающие результаты экспериментально выполненных численных исследований для барреты, испытанной с поверхности грунта до откопки котлована (моделирования статического испытания) и баррет длиной от *10* м до *18* м при изменении глубины котлована от *10* м до *15* м.

Обсуждение. Экспериментальные результаты (графики «нагрузка-осадка») свай-баррет, выполненных с поверхности грунта до откопки котлована, необходимо учитывать при корректировке снижающих коэффициентов, полученных в результате численных расчетов при изучении изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового основания, контактирующего со сваями, в процессе откопки грунта котлована, для проектирования фундаментов со сваями-барретами в основании, которые нагружаются проектной нагрузкой уже после откопки котлована.

Заключение. Корректирующие коэффициенты рекомендуются для корректировки графиков «нагрузка-осадка», построенных по результатам статического испытания сваи–барреты с поверхности грунта (до откопки котлована), а также для уточнения допускаемой нагрузки на сваю *($P_{доп.}$)* и проверки условия $P < P_{доп}$. Для повышения качества проектных решений требуется разработать новые расчеты и провести комплексные исследования, включающие как практические эксперименты, так и теоретические расчёты с применением численных вычислений.

Список литературы

1. Шулятьев, О.А. Основания и фундаменты высотных зданий : Научное издание / О.А. Шулятьев – Изд. 2–е, перераб. и доп. – М. : Издательство АСВ, 2020. – 442 с.
2. Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений: учебное и практическое пособие / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин, В.В. Конюшков [и др.].; Под ред. чл.–корр. РААСН, д–ра техн. наук, профессора Р.А. Мангушева. – М.: Издательство АСВ, 2021. – 632 с.
3. Лобынцева, А.Е. Эффективная технология устройства свай-баретт для фундаментов высотных зданий / А.Е. Лобынцева, Ю.И. Тилинин. // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». – 2025. – № 12 (93) Том 1. – С. 1426–1435.
4. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 123 с.
5. Mangushev, R.A. Analytical and numerical methods for determining the carrying of a pile barett on weak soils in deep pits / R. A. Mangushev, N. S. Nikitina, Trung Hieu Le, I. Yu. Tereshchenko. Текст : electronic // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17, Issue 3. pp. 94–101. – DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-3-94-101.
6. Готман, Н.З. Исследование влияния глубины котлована на взаимодействие барреты с грунтовым основанием / Н.З. Готман, Ч.Х. Ле. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – №25(5). – С. 144–155. – DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-144-155.
7. Никитина, Н.С. Методика оценки несущей способности баретты глубокого котлована в сложных инженерно-геологических условиях г. Ханой / Н.С. Никитина, Ч.Х. Ле. // Строительство: наука и образование. – 2023. – Т. 13. – Вып. 1. – С. 6–21. – DOI: 10.22227/2305-5502.2023.1.1.
8. Tran, V.T. Studying and calculating the bearing capacity of barrette piles based on comparison with O-cell test / Van Than Tran. Text: electronic // Tạp chí Xây dựng Việt Nam 59 (625). – 2020. – С. 232–236.
9. Маковецкий, О.А. Опыт проведения полевых испытаний барреты большой длины в условиях плотной городской застройки / О.А. Маковецкий, С.С. Зуев // Жилищное строительство. – 2018. – №9. – С. 13-18.
10. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

УДК 622.271.3: 681.51

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Долгушин Н.А.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, s235068@stud.spmi.ru

Научный руководитель: Лигоцкий Д.Н.
к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе обоснована актуальность применения беспилотного карьерного транспорта вследствие необходимости интенсификации темпов добычи, связанных с реализацией масштабных инфраструктурных проектов; освоением месторождений, находящихся в суровых климатических и горно-геологических условиях; обеспечением снижения риска производственного травматизма и экологического ущерба, наносимого горнодобывающим предприятием. Цель исследования определение параметров карьера, при применении роботизированной техники и дальнейшее влияние на коэффициент вскрыши. Методами структурного анализа и компьютерного моделирования установлено, что применение беспилотной техники позволяет увеличить угол откоса уступа на 4-8 градусов, скорректировать параметры автодороги и организовать схему вскрытия с учетом возможностей беспилотного транспорта, что в итоге позволяет снизить объем вынимаемой вскрышной породы и себестоимость добычи полезного ископаемого.

Ключевые слова: беспилотная техника, роботизированный автосамосвал, проектирование горнотехнических систем, карьер, параметры системы разработки.

Введение. Минеральные ресурсы для Российской Федерации являются стратегическим ресурсом. В условиях интенсификации темпов добычи, связанных с реализацией масштабных инфраструктурных проектов, встает вопрос о необходимости разработки новых месторождений, находящихся в суровых климатических и горно-геологических условиях, осложняющих их освоение, обостряя проблему дефицита квалифицированных кадров [1]. Одним из возможных решений, способствующих разрешению вышеупомянутых проблем, является применение при разработке месторождений беспилотной техники [2, 3]. Данное решение содержит в себе несколько ключевых преимуществ: позволяет повысить производительность техники вследствие увеличения доли рабочего времени беспилотной техники в смену; сократить риск производственного травматизма за счет вывода человека из опасной зоны; возможность корректировки параметров карьера [4, 5]. Кроме того, данное решение позволяет снизить экологический ущерб, наносимый горным предприятием окружающей среде, за счет оптимизации работы двигателя, что способствует сокращению объема продуктов сгорания топлива, а также вследствие корректировки параметров карьера сократить площадь нарушаемых земель [6, 7]. Вследствие вышеупомянутых фактов актуальным является вопрос определения наиболее эффективных параметров систем разработки при применении беспилотной техники.

В мировой практике лидером в применение роботизированной техники является Австралия, на горнодобывающих предприятиях которой сосредоточено более 600 единиц беспилотных машин [8]. Представители компании отмечают, что применение автоматизированной техники при добыче полезных ископаемых открытым способом позволило сократить эксплуатационные затраты, повысить производительность карьеров, обеспечить улучшение условий труда рабочих, и сократить экологическое воздействие горнодобывающего предприятия на окружающую среду [9,10].

Методы. В работе использованы методы структурного, системного, факторного анализа, научного обобщения, включающий анализ и обобщение достижений науки в рассматриваемой области, математическое и компьютерное моделирование, аналитический расчет.

Результаты. В результате расчетов и компьютерного моделирования было установлено, что вследствие изменения коэффициента запаса устойчивости при использовании беспилотной техники, появляется возможность увеличения угла откоса уступа на 4-8 градусов, что приводит к увеличению угла откоса борта карьера и как следствие – снижению среднего коэффициента вскрыши, тем самым снижая себестоимость добычи полезного ископаемого. Кроме того, возможны изменения схемы вскрытия и корректировка параметров автодороги на месторождении. Так, вследствие увеличения мощности и КПД двигателей беспилотных самосвалов возможно увеличение продольного уклона дороги, что способствует сокращению длины транспортирования на 15-25%, кроме того, на объем извлекаемой горной массы влияет и ширина карьерной автодороги, так, применяя схему с однополосным движением возможно сократить объем извлекаемой горной массы на 20-25%, что в совокупности с вышеупомянутыми корректировками параметров способно качественно изменить коэффициент вскрыши.

Обсуждение. Приведенные результаты позволяют создать методологию определения глубины перехода на беспилотную технику в карьере, и предложить классификацию, позволяющую определить целесообразность применения роботизированных машин на месторождении. Появляются параметры, позволяющие обосновать эффективную схему вскрытия месторождений, учитывающую особенности беспилотного карьерного транспорта.

Заключение. В результате исследований было установлено, что применение беспилотной техники помимо преимуществ в виде снижения риска производственного травматизма и экологического ущерба, позволяет произвести корректировку параметров карьера (угла откоса уступа, борта, уклона и ширины автодороги), что снижает объем выемки вскрышной породы, и как следствие уменьшает средний коэффициент вскрыши. Исследование может применяться при проектировании месторождений, разрабатываемых открытым способом с применением беспилотной техники, позволяя за счет уменьшения коэффициента вскрыши сократить себестоимость добычи полезного ископаемого.

Список литературы

1. Наговицын О.В., Возняк М.Г. К вопросам управление роботизированным горнодобывающим предприятием//ГИАБ. – 2021. – № (5-1). – С. 326-335 https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_326
2. Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах / А.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, И.С. Сыркин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 30-36. DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790- 2022-S12-30-36
3. Sizemov D.N., Temkin I.O., Deryabin S.A., Vladimirov D.Ya. On some aspects of increasing the target productivity of unmanned mine dump trucks// Eurasian Mining. 2021. no 2. pp. 68–73. https://doi.org/10.17580/em.2021.02.15
4. Лель Ю.И., Глебов И.А. Обоснование оптимального уклона крутонаклонных автосъездов для полноприводных автосамосвалов, эксплуатируемых при доработке алмазорудных месторождений//Горная промышленность. – 2022. – №S1. – С. 95-99. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-95-99
5. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я. От системы «карьер» к новому интеллектуальному укладу открытых горных работ//Проблемы недропользования. – 2019. – №3(22). – С. 39-48. https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.03.039
6. Du, H., Chan, L., Tong, J. et al. Industrial Progress of Robotic Automation in Mining Applications: A Survey. Mining, Metallurgy & Exploration 42, 537–556 (2025). https://doi.org/10.1007/s42461-025-01219-y
7. Kaur, Dilnawaz. 2024. “The Impact of Autonomous Vehicles on Mining Operations: Enhancing Safety and Productivity through Technological Advancements.” Scholarly Review Journal SR Online: Showcase (Equinox 2024). https://doi.org/10.70121/001c.124875.
8. Nagovitsyn O.V., Voznyak M.G. Robotic mine management// Mining Informational and Analytical Bulletin. 2021. no 5. pp. 326–335. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_326.
9. Лигоцкий, Д.Н. Анализ опыта применения безлюдных технологий при открытой разработке месторождений и перспективы их развития / Д.Н. Лигоцкий, Н.А. Долгушин // Горный журнал. – 2025. – № 2. – С. 42-47. – DOI 10.17580/gzh.2025.02.06. – EDN HLDEXX.
10. Коваленко В.С., Зырянов И.В. Автоматизация и роботизация горного производства – современный этап перехода к высокопроизводительному и безопасному ведению открытых горных работ. Горная промышленность. 2025;(5):124–130. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-124-130.

УДК 622.23.05

АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТИПОВЫХ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПУЛЬПОПЕРЕКАЧНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЗАКЛАДКЕ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Каплин В.М.[1], Алексеев В.В.[2]
[1] аспирант, АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия, kaplin_vita@mail.ru
[2] аспирант, АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия, slavunka2012@mail.ru

Научный руководитель: Нураев Р.Х.
к.т.н., учёный секретарь, АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Для калийной промышленности актуальной является задача повышения эффективности гидрозакладочного комплекса посредством снижения удельных затрат на перемонтаж передвижных пульпоперекачных насосных станций (ППНС) с учётом фактической гипсометрии и показателей давления и расхода. Перспективным направлением исследований является совершенствование конструкции передвижной пульпоперекачной насосной станции, а именно – обоснование рациональных геометрических параметров и компонентов составных частей (модулей) для увеличения скорости монтажа и простоты составных частей. С теоретической точки зрения, движение потока в трубопроводе является случайным, многофакторным, турбулентным процессом, описываемым соответствующими статистическими характеристиками, количественная оценка которых возможна посредством использования экспериментального метода исследований, например, на лабораторных стендах. Авторами описана методика для определения силовых параметров и энергетических показателей процесса гидрозакладки. Приведены результаты аналитических исследований в совокупности с практическими знаниями полученные в ходе командировок, которые позволили определить зависимости изменения средних скоростей и удельных затрат энергии на различных участках трубопровода. Выявлены зависимости времени монтажа типовых ППНС в отличии от применяемых перекачных насосных станций, которые являются уникальным для каждой горно-геологической и инженерной ситуации.

Ключевые слова: Гидравлическая закладка, передвижная пульпоперекачная насосная станция (ППНС), модульно-блочный монтаж, калийные рудники, хронометраж монтажа.

Введение. Гидравлическая закладка является основным способом управления горным давлением при отработке калийных месторождений Верхнекамья [1]. На удаленных участках шахтного поля транспортирование пульпы обеспечивается передвижными пульпоперекачными насосными станциями (ППНС), которые по мере продвижения фронта работ многократно передислоцируются. Существующая технология монтажа ППНС носит не стандартизированный характер: выбор места установки и сборка обвязки выполняются непосредственно в выработке методом последовательных приближений методом подбора, что приводит к непредсказуемым простоям длительностью до 18–24 часов на одну передислокацию. В научно-технической литературе метод скоростного перемонтажа ППНС отсутствует. Цель работы – разработка и обоснование модульно-блочной компоновки ППНС, обеспечивающей перенос максимального объема сборочных операций на поверхность и снизить хронометраж монтажа.

Методы:

1. Структурно-временной анализ традиционного процесса передислокации: на основе хронометражных наблюдений (5 передислокаций на руднике) выделены ключевые операции, определены их продолжительность и место выполнения. Установлено, что свыше 60% общего времени занимают сварка трубной обвязки, работы с фундаментом, монтаж арматуры/КИП непосредственно в выработке [2].

2. Разработка принципов модульности: сформулированы критерии функционально-модульной декомпозиции ППНС (функциональная завершенность, транспортабельность, минимизация подземных соединений, унификация).

3. Проектирование модульной структуры и нового технологического маршрута: на основе кинематической схемы типовой ППНС предложено разделение на пять транспортно-монтажных модулей (насосно-силовой, всасывающий блок, напорный блок с предохранительным устройством, контрольно-измерительный блок, шкаф управления). Для каждого модуля определены состав, габариты, масса и способ соединения (фланцы, быстроразъемные кабельные разъемы). Разработан алгоритм монтажа, при котором все сварные соединения выполняются в условиях поверхности, а в выработке производятся только фланцевая стыковка модулей и анкерное крепление [3].

Результаты:

1. Предложена и визуализирована (схемы плана и разреза) модульно-блочная конструкция ППНС, позволяющая полностью исключить сварочные работы в подземных выработках [4].

На основе сформулированных критериев разработана схема функционально-модульной декомпозиции типовой ППНС. Принципиальные компоновочные решения представлены на рис. 2 (план) и рис. 3 (разрез) [5]. В соответствии с предложенной схемой станция разделяется на десять основных модулей.

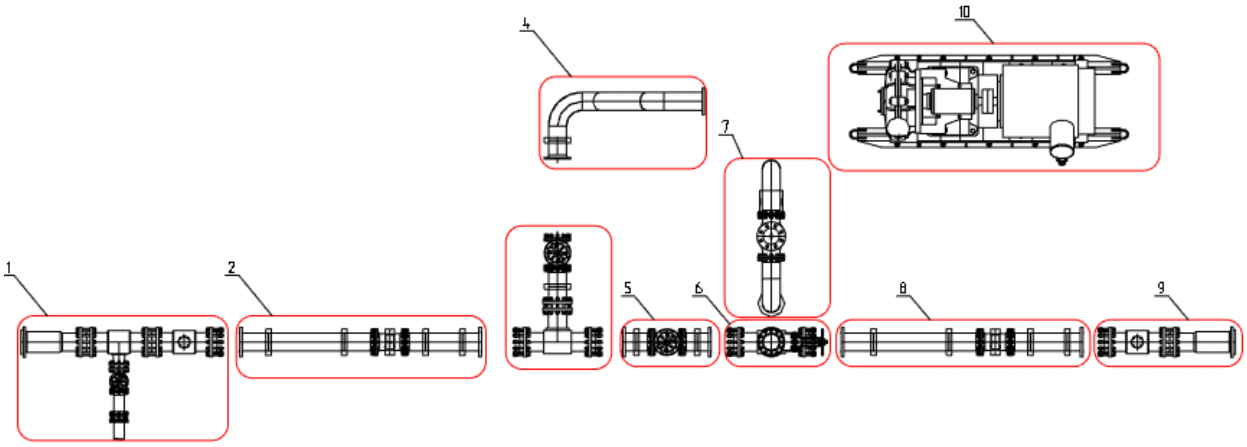


Рис. 1. Схема разделения на сборные элементы
передвижной пульпоперекачной насосной станции. План

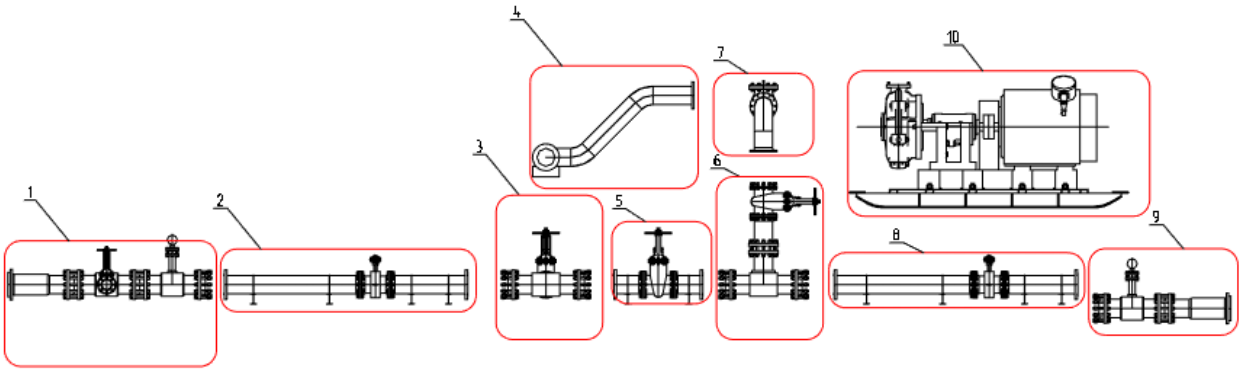


Рис. 2. Схема разделения на сборные элементы
передвижной пульпоперекачной насосной станции. Разрез

Поз. 1 – Узел подключения к линии, а также сброс пульпы и датчик давления (на входе).

Поз. 2 – Узел расходомера с min. L для корректной работы оборудования (на входе).

Поз. 3 – Узел тройник, на всасывающую и нагнетальный патрубок.

Поз. 4 – Всасывающий патрубок из стали, для «гибкости».

Поз. 5 – Узел задвижки.

Поз. 6 – Нагнетательный патрубок с задвижкой.

Поз. 7 – Обратный клапан с стальной вставкой.

Поз. 8 – Узел расходомера с min. L для корректной работы оборудования (на выходе).

Поз. 9 – Узел подключения к линии, а также датчик давления (на выходе).

Поз. 10 – Насосный агрегат с двигателем и салазочным средством передвижением.

Предлагаемый метод предполагает принципиальное изменение последовательности и содержания работ по передислокации ППНС [6].

2. Выполнена сравнительная оценка продолжительности передислокации. При традиционной технологии суммарные затраты времени составляют в среднем 17,5 часа (подготовка площадки, сварка 4–6 стыков – 8 ч, монтаж арматуры и КИП – 3 ч, пусконаладка – 1 ч и др.). При модульно-блочной технологии время сокращается до 6,8 часа за счет [7]:

исключения сварки (–8 ч) с заменой на фланцевую стыковку (+0,8 ч);

сокращения монтажа арматуры и КИП (встроены в модули) с 3 ч до 0,5 ч;

упрощения пусконаладки благодаря предварительным испытаниям модулей на поверхности.

Общая экономия времени – 10,7 ч (61 %).

3. Выявлены качественные эффекты: повышение безопасности (отсутствие сварки в выработке), гарантированное качество сварных швов (заводские условия), стандартизация процесса, снижение требований к квалификации подземного персонала, возможность создания оборотного фонда модулей [8].

Обсуждение. Разработанный метод впервые системно решает задачу сокращения простоев при передислокации ППНС. В отличие от существующей практики, где каждый монтаж уникален, предложенный подход вносит индустриальный принцип: перенос трудоемких операций на поверхность и унификация соединений [9]. Полученные результаты согласуются с мировыми тенденциями модульного строительства в горном деле, однако для оборудования гидрозакладки подобные решения ранее не применялись.

Ограничения метода: необходимость предварительного проектирования модулей, повышенные требования к точности изготовления фланцевых узлов, ограничения по габаритам для выработок малого сечения. Вместе с тем, для условий калийных рудников Верхнекамья, где сечения выработок стандартизированы, предлагаемая технология является реализуемой и экономически целесообразной [10].

Практическая значимость: сокращение времени передислокации ППНС позволяет увеличить коэффициент использования закладочного комплекса, повысить ритмичность горных работ и снизить себестоимость добычи руды.

Заключение:

1. Установлено, что основным резервом повышения мобильности ППНС является перенос сборочно-сварочных работ из подземных условий на поверхность.

2. Научно обоснованы критерии и предложена схема функционально-модульной декомпозиции ППНС, включающая пять типов модулей.

3. Доказано, что модульно-блочный монтаж позволяет сократить время передислокации на 61 % (с 17,5 до 6,8 ч).

4. Направления дальнейших исследований: разработка типовых проектов модулей для различных типоразмеров ППНС, создание опытного образца и проведение промышленных испытаний, технико-экономическое обоснование внедрения.

Список литературы

1. Анушенков, А.Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей закладки горных выработок / А.Н. Анушенков. – Красноярск: ГИЦМиЗ, 2006. – 172 с.
2. Борзаковский, Б.А. Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках. Справочник / Б.А. Борзаковский, Л.М. Папулов. – М.: Недра, 1992.
3. Гришко А.П. Стационарные машины. – Том 2. Рудничные водоотливные, вентиляторные и пневматические установки: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», 2007.
4. ГОСТ Р 70628.2-2023. Трубопроводы из пластмасс для водоснабжения, дренажа и напорной канализации. Полиэтилен (ПЭ). Часть 2. Трубы.
5. Инструкция по сборке элементов трубопроводов с действующим давлением Р=4,0 (6,0) МПа из полимерных армированных труб ПАТ-275 с применением фланцевых соединений «шип-шип». Екатеринбург, 2017.
6. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения – М.: Недра. 1992. ШИЗ
7. Кузьмин К.В., Хайрутдинов М.М., Зенько Д.К. Основы горного дела. Учебник для ВУЗов. – М., 2007.
8. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Гидравлическая закладка на калийных рудниках // Горный информационный аналитический бюллетень. – Москва, 2007. – № 6.
9. Технический регламент Таможенного союза от 18.10.2011 № ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».
10. Технический регламент Таможенного союза от 18.10.2011 № ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».

УДК 622

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПУСКА МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Кириленко В.И.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, v453300@ya

Научный руководитель: Господариков А.П.
д.т.н, профессор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе представлено физическое моделирование процесса выпуска медно-никелевых руд под обрушенными породами с целью исследования размера формируемых эксплуатационных потерь руды. На основе принципов подобия изготовлены физические модели, обеспечивающие воспроизведение гравитационного истечения горной массы через выпускное отверстие. Гранулометрический состав горной массы определен с помощью методики Кузнецова-Раммлера и реализован в серии экспериментальных вариантов. Получены данные по эксплуатационным потерям при различном среднем размере куска горной массы, позволяющие оценить влияние параметров буровзрывных работ.

Ключевые слова: взрывные работы; гранулометрический состав; метод Кузнецова-Раммлера; физическое моделирование; подземные горные работы; геометрическое подобие.

Введение. Современные условия, в которых находятся горнодобывающие компании требуют постоянного повышения экономической эффективности их деятельности. Одним из перспективных и основных направлений является управление качеством горной массы. Для предприятий, ведущих добычу в условиях снижения содержания полезных компонентов и усложнения горно-геологических условий, особую значимость приобретают вопросы сокращения эксплуатационных потерь и разубоживания руды [1]. Одним из основных технологических процессов, определяющим данные показатели, является выпуск руды под обрушенными породами. На рудниках, использующие данную систему разработки, сохраняется проблема несоответствия между расчетными и фактическими показателями извлечения руды.

Существенное влияние на формирование эксплуатационных потерь оказывает гранулометрический состав горной массы, который формируется после взрывных работ. Средний размер куска, однородность распределения фракций, выход негабарита, а также пространственная неоднородность разрушенного массива определяют характер истечения горной массы, интенсивность перемешивания горных пород и, как следствие показатели извлечения руды [2, 3, 4]. Формируемый гранулометрический состав является величиной, зависящей от параметров буровзрывных работ (далее – БВР), а именно от геометрии сетки скважин, линии наименьшего сопротивления, удельного расхода взрывчатых веществ, схемы инициирования и числа одновременно взрываемых зарядов. В работе в отличие от существующих подходов, упрощающих гранулометрический состав горной массы до среднего размера куска использована полная гранулометрическая кривая горной массы с учетом масштаба физического моделирования.

Целью работы является установление количественных показателей между параметрами буровзрывных работ, гранулометрическим составом горной массы и величиной эксплуатационных потерь при выпуске.

Методы. Физическое моделирование выпуска горной массы основано на принципах геометрического подобия [5] и направлено на воспроизведение гравитационного истечения сыпучей среды через выпускное отверстие в условиях, приближенных к реальным горнотехническим условиям [6,7]. Методология эксперимента включает:

– расчет и подготовка модельного гранулометрического состава горной массы с определением среднего размера куска и коэффициента однородности;

– укладка горных пород и руды внутри физического стенда;

– имитация процесса выпуска через выпускное отверстие;

– анализ процесса выпуска с определением величины потерь и разубоживания в процессе истечения горной массы.

Для определения формируемого гранулометрического состава горной массы в работе используются методы прогнозирования гранулометрического состава по различным методикам. Данный подход позволяет связать параметры БВР с характеристиками гранулометрического состава [8,9]. Для расчета среднего размера куска и выхода негабарита выполнено моделирование гранулометрического состава взорванной горной массы при различных параметрах БВР с использованием эмпирико-аналитической модели Кузнецова-Раммлера [10].

Физическое моделирование выполнено в масштабе 1:50. В качестве материала для физического моделирования использовались вкрапленные медно-никелевые руды и вмещающие горных пород, которые надроблены до необходимой размера и разделены по фракциям: +20; +17,5; +15; +12,5; +10; +7,5; +5; +2,5. Из данных фракций собиралась горная масса, которая размещалась внутри стенда с учетом адаптированного метода Кузнецова-Раммлера.

Результаты. В табл. 1 представлены рассчитанные параметры гранулометрического состава горной массы при различных параметрах буровзрывных работах.

Таблица 1

Параметры буровзрывных работ, используемые для моделирования гранулометрического состава [*составлено авторами*]

Вариант БВР	Диаметр скважин, мм	Расстояние между концами скважин, м	Количество скважин, шт.	Удельный расход, кг/м^3	Средний размер куска после взрыва, мм	Выход негабарита, мм	Коэффициент однородности распределения
1	76	3,5	9	0,66	433	19,5	1,79
2	86	3,5	9	0,9	355	10,1	1,76
3	102	3,5	9	1,20	292	6,3	1,59
4	102	3	11	1,44	250	2,5	1,62
5	102	2,5	13	1,6	222	1,2	1,61
6	102	2	15	1,92	193	0,2	1,71

В рамках физического моделирования изготовлены и отработаны 6 физических моделей с различным гранулометрическим составом. Согласно получаемым данным, наименьшие потери формируются при 6 варианте и составляют 51% или 1170 тонн. Разница потерь при среднем размере куска 433 мм и при 193 мм составляет 7,3% или 168 тонн руды.

Заключение. В результате выполненного исследования установлено, что изменение параметров буровзрывных работ приводит к сокращению эксплуатационных потерь

на 7,3%. Предложенный комплексный подход, включающий моделирование гранулометрического состава горной массы и физическое моделирование выпуска может быть использован для обоснования рациональных параметров БВР.

Список литературы

1. Пашкевич Н.В., Хлопонина В.С., Поздняков Н.А., Аверичева А.А. Анализ проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных стратегических полезных ископаемых // Записки Горного института. – 2024. – Т. 270. – С. 1004–1023.
2. Малахов Г.М., Безух Р.В., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. М.: Недра. – 1968. – 311 с.
3. Лаптев В.В. Численное моделирование потока раздробленной горной массы в процессе выпуска руды с использованием программы Rocky DEM // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22. № 1. – С. 149–157.
4. Малиновский Е.Г., Голованов А.И., Ахпашев Б. А. Исследования влияния гранулометрического состава отбитой рудной массы на показатели извлечения при системе этажного принудительного обрушения руды физическим моделированием // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 3(151). – С. 41–53.
5. Фирсов А.Н., Журавская А.А. О методах теории подобия и размерности // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2020. – № 2. – С. 121-130. DOI: 10.18720/SPBPU/2/ id20-158.
6. Zuev B.Yu., Zubov V.P., Fedorov A.S. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals // Eurasian mining. – 2019. – №1. – pp. 8-12. DOI: 10.17580/em.2019.01.02.
7. Малиновский Е.Г., Голованов А.И., Ахпашев Б.А. Исследования влияния гранулометрического состава отбитой рудной массы на показатели извлечения при системе этажного принудительного обрушения руды физическим моделированием // Вестник КузГТУ. – 2022. – №3 (151). – С. 41-50. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-41-53.
8. Ouchterlony F., Sanchidrián J.A. A review of development of better prediction equations for blast fragmentation // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2019. – Vol. 11. Iss. 5. – P. 1094–1109.
9. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. Новосибирск: Наука. – 1977. – 262 с.
10. Господариков А.П., Ковалевский В.Н., Румянцев А.Е., Кириленко В.И. Адаптация модели прогнозирования гранулометрического состава Кузнецова – Раммлера для условий подземных горных работ // Горный журнал. – 2026- №2 – С.72-79. DOI: 10.17580/gzh.2026.02.09.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАЛОПОГРУЖНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОДОСБОРНЫХ ЕМКОСТЕЙ

Леженин А.И.
ДонНТУ, Донецк, Россия, AlekseillegeninIgorevich@yandex.ru

Научный руководитель: Кононенко А.П.
д.т.н., профессор, ДонНТУ, Донецк, Россия

Аннотация. Обоснование оптимальных параметров рабочего процесса малопогружной эрлифтовой установки, предназначенной для очистки шахтных водосборных емкостей, с целью повышения эффективности работы установки и улучшения качества чистки водосборных емкостей. В рамках исследования применяется как теоретический так и эмпирический метод исследования. Производиться классификация имеющихся эрлифтных установок и анализ имеющихся представлений о ключевых элементах эрлифтных установок с последующим синтезом имеющихся данных для создания полезной модели эрлифтной установки.

Ключевые слова: Эрлифт, воздухоотделитель, вакуум, струйный аппарат, рабочий режим, смеситель, подъемная труба.

Введение

Актуальность исследования связана с необходимостью расширения гидромеханизации шахтных производств за счёт более широкого применения эрлифтных установок. Это позволит:

1. исключить ручной труд при очистке шахтных водосборных ёмкостей;
2. снизить капитальные затраты на строительство зумпфов и организацию пространства для средств механизации.

Цель исследования: обоснование оптимальных параметров рабочего процесса малопогружной эрлифтовой установки, предназначенной для очистки шахтных водосборных ёмкостей, с целью повышения эффективности работы установки и улучшения качества очистки.

Задачи исследования:

1. Исследование характеристик малопогружных эрлифтовых установок: их конструкции, принципа работы и особенностей применения в условиях шахт.
2. Определение факторов, влияющих на эффективность очистки (скорость подъёма воды, мощность установки, состав загрязнений в водосборных ёмкостях).
3. Экспериментальное исследование и тестирование различных конфигураций установки в условиях реальных шахтных водосборных ёмкостей.
4. Определение оптимальных параметров эксплуатации установки (производительность, глубина погружения, расход воды) для максимальной эффективности очистки.

Результаты. Для получения необходимых рабочих параметров в воздухоотделителе создаётся вакуум. За счёт этого в подъёмной трубе эрлифта появляется столб жидкости, что увеличивает относительное погружение смесителя.

В диапазонах $H = 2 \div 5$ м, $\alpha = 0{,}15 \div 0{,}35$, $h_{\text{в}} = 0{,}25 \div 1{,}0$ м относительное погружение смесителя малопогружного эрлифта в сравнении с относительным погружением смесителя эрлифта традиционной технологической схемы увеличивается в $\frac{\alpha_{\text{мп}}}{\alpha} = 1{,}20 \div 2{,}5$ раза, а удельный расход воздуха уменьшается в среднем более чем $\frac{q_{\text{мп}}}{q} = 2$. раза

Полученные данные дают основание утверждать о целесообразности применения малопогружных эрлифтов для очистки шахтных водосборных емкостей. Однако, следует уточнить степень влияния вакуума в воздухоотделителе малопогружного эрлифта на изменение коэффициента инжекции воздухоструйного компрессора и, следовательно, характер изменения расхода рабочего воздуха из шахтной пневматической сети.

Процессы в эрлифтах сложно прогнозируемы, а точность численных методов решения может иметь расхождение с реальными параметрами на 20-30%. Что считается приемлимым результатом.

Обоснованно, что малопогружные эрлифтные установки с воздухоструйным компрессором в сравнение с эрлифтными установками традиционной технологической схемы обеспечивает уменьшение геометрического погружения смесителя до ${}^{\mathrm{h_{мп}}}/_{\mathrm{h}} = 0{,}6$ раз при условии энергетически равноценных режимов работы ${}^{q_{\mathrm{рмп}}}/_{q_{\mathrm{р}}} = 1$ в диапазонах давлений рабочего воздуха $p_{\mathrm{р}} = 0{,}4 \div 0{,}8$ МПа, высота подъема эрлифтов $H = 2 \div 5$ м, геометрических погружений смесителя h до 1,5 м, вакуума в воздухоотделителях $h_{\mathrm{в}} = 0{,}25 \div 1{,}25$ м вод. ст.

При одинаковых геометрических погружениях смесителей эрлифтных установок малопогружных и традиционных технологических схем – ${}^{\mathrm{h_{мп}}}/_{\mathrm{h}} = 1$ в тех же диапазонах значимых факторов расход рабочего воздуха малопогружными эрлифтными установками уменьшается до 2 раз (${}^{q_{\mathrm{рмп}}}/_{q_{\mathrm{р}}} = 0{,}5 \div 1{,}0$) в зависимости от величины вакуума в воздухоотделителе в диапазоне $h_{\mathrm{в}} = 0{,}25 \div 1{,}25$ м вод. ст.

Заключение. Доказана целесообразность применения малопогружных эрлифтных установок для очистки шахтных водосборных емкостей в части увеличения относительного погружения смесителей и уменьшения удельного расхода воздуха в сравнении с эрлифтными установками традиционной технологической схемы

*Выражаю **благодарность** своему научному руководителю Кононенко Анатолию Петрович д.т.н., профессор и всему коллективу кафедры ЭМС.*

Список литературы

1. Папаяни Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Папаяни Ф.А., Козыряцкий Л.Н., Кононенко А.П. Москва-Донецк, 2017. – 788 с.:
2. Кононенко А.П. Рабочий процесс эрлифта и его моделирование. / Кононенко А.П. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010 – 171 с.:
3. Данилов Е.И. Исследование и разработка эрлифта для гидромеханизированной очистки водоотливных емкостей / Данилов Е.И. Дисс. канд. техн. наук: 05.05.06. – Донецк: ДПИ, 1979. – 298 с.
4. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей: Учеб. пособие. – Донецк: ДПИ, 1986, – 36 с.
5. Малеев В.Б. Исследование и разработка сифонно-вакуумного эрлифта для очистки шахтных водоотливных емкостей / Малеев В.Б. Дис. канд. техн. наук: 05.05.06. – Донецк: ДПИ, 1980. – 289 с.
6. Кононенко А.П./ Особенности очистки шахтных водосборных емкостей малопогружными эрлифтными установками / Кононенко А.П., Малеев В.Б., Леженин А.И. Горная энергомеханика и автоматика: сб. материалов XXIV Всерос. науч.-техн. конф., г. Донецк, 29-31 окт. 2024г. – Донецк: ДонНТУ, 2024 – с. 33–44.
7. Методические указания к проектированию шахтных водоотливных установок [Электронный ресурс] : для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. энергомеханических систем ; сост. В.Б. Малеев, В.М. Яковлев, В.И. Мизерный, В.В. Гулин, В.А. Мельников. – Донецк : ДОННТУ, 2017.
8. Триллер Е.А. Разработка схем и средств транспорта горной массы из подземных технологических емкостей: Дисс. … канд. техн. наук: 05.05.06. – Донецк: ДПИ, 1983. – 232 с.
9. Эрлифтные установки: Учебное пособие / В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, Я.К. Антонов – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.
10. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер; – 2-е изд., перераб. – Москва: Энергия, 1970. – 287 с. – Иллюстрации. – Библиография: с. 280–284 (154 названия на русском и иностранных языках).

УДК 624.191.814.5

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ СБОРНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Мацаберидзе О.Р.
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, s211150@stud.spmi.ru

Научный руководитель: Беляков Н.А.
кандидат технических наук, доцент каф. СГП и ПС,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В рамках исследования было смоделировано воздействие сейсмической нагрузки на сборную железобетонную обделку тоннеля в программном комплексе Abaqus CAE. Были проведены расчёты в квазистатической постановке задачи без учёта и с учётом контакта между элементами обделки, в прямой динамике. На основе этих расчётов были определены различия между постановками задач.

Ключевые слова: сейсмостойкость, сборная обделка, квазистатическая постановка задачи, постановка задачи в прямой динамике, сейсмическое воздействие, тоннель.

Введение. Одной из главных задач при проектировании подземных тоннелей в сейсмоопасных районах является выбор такой конструкции обделки, которая обеспечивает наибольшую сейсмостойкость. Нормативная база, действующая на сегодняшний день, составлена на основании эмпирических данных, упрощенных расчётных схемах, что не позволяет провести полноценный анализ влияния сейсмической нагрузки на элементы обделки. Для решения этой задачи возможно применить компьютерное моделирование с использованием МКЭ [1,2], которое позволяет использовать различные постановки задач, модели деформирования материалов и учитывать пространственный характер геометрии.

Целью данного исследования является изучение влияния выбора постановки задачи о сейсмическом воздействии на прогноз НДС железобетонных блоков сложной геометрической формы. Форма блока изображена на рисунке 1.

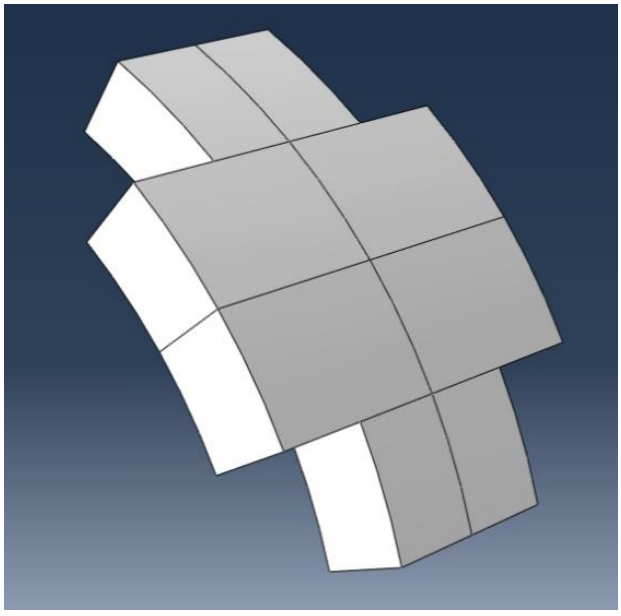


Рис. 1. Геометрия железобетонного блока сборной обделки тоннеля
[*составлено автором*]

Методы. В работе анализируются данные, полученные в ходе численного моделирования. Для выполнения расчётов был выбран программный комплекс Abaqus CAE, который позволяет учитывать сложные взаимодействия между различными элементами модели сборной железобетонной обделки [3,4].

Расчётное пространство представляет из себя параллелепипед с размерами: 120x120x5 м, с отверстием, диаметр которого равен 6 м, в котором находятся кольца обделки. Вокруг обделки в модели был предусмотрен слой тампонажа толщиной 100 мм.

Массив горных пород был представлен мергелями, характерными для южных регионов России [5], физико-механические свойства вмещающего массива представлены в таблице 1. Деформационно-прочностные параметры блочной обделки и тампонажа определялись на основе нормативной документации[1]. Данные параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико–механические свойства материалов [*составлено автором*]

	Горный массив	**Бетон тампонажа**	**Бетон обделки**
Плотность, кг/м^3	2354	1800	2500
Модуль упругости, МПа	970	24000	34500
Коэффициент Пуассона, б.в.	0,26	0,25	0,25

Значения сейсмических нагрузок определись амплитудными ускорениям частиц грунта, характерными для районов с интенсивностью расчетного события равной 9 баллам по макросейсмической шкале MSK-64.

Для анализа были использованы следующие постановки задач: квазистатическая без учета взаимодействия между элементами обделки, квазистатическая с учётом взаимодействия между элементами обделки, прямая динамика в рамках линейно–упругой модели деформирования материалов обделки и в рамках упругопластической модели деформирования бетона с накоплением повреждений.

Результаты. В результате расчётов были получены данные, которые демонстрируют отличия НДС обделки при разных постановках задачи.

Так наиболее опасное направление фронта сейсмической волны для железобетонной обделки, при котором она испытывает максимальные сжимающие и растягивающие напряжения, проходит через поперечное сечение тоннеля под углом в 45^o к вертикальной оси тоннеля. Но при учёте контакта между элементами обделки видно изменение в перераспределении сжимающих и растягивающих напряжений, что вызвано тем, что каждый элемент работает самостоятельно. Растягивающие напряжения, которые приводят к повреждению материала, образуются на поверхностях блока.

При проведении расчётов в прямой динамике помимо растягивающих напряжений, проявились сжимающие напряжения, которые также приводят к повреждению материала. Данные напряжения образуются на стыках элементов обделки. Напряжение в стержнях рабочей арматуры оказались не больше 4% процентов от допустимых, так как жесткость обделки практически полностью определяется бетонной матрицей. Но при использовании упругопластической модели поведения бетона, напряжения в стержнях кратно возросли.

[1] СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

Обсуждение. Анализируя представленные выше результаты, можно сделать вывод, что выбор постановки задачи должен зависеть от того, что требуется изучить в работе конструкции обделки. Для обоснования наиболее подходящей в конкретных условиях формы поперечного сечения тоннеля с учетом обделки подходит первый подход в виду формирования первичного представления о распределении НДС в обделке. Для подбора класса бетона блоков лучше использовать второй вариант постановки задачи, так как он позволяет подробно изучить перераспределение внутренних усилий и моментов элемента обделки. Третий вариант постановки задачи позволяет изучить работу сборного кольца обделки во время сейсмического воздействия. Четвертый подходит для определения усилий, перераспределяющихся на стержни арматуры при постепенном повреждении бетона в блоках в процессе деформирования кольца обделки.

Заключение. В рамках исследования возможно сделать следующие выводы:

1. Квазистатическая постановка задачи без учёта взаимодействия сегментов обделки занижает возможные максимальные растягивающие напряжения в элементах обделки, но показывает общую работу системы «обделка–тампонаж–горный массив».

2. Квазистатическая постановка задачи с учётом взаимодействия сегментов обделки позволяет подробно изучить, как выбранная форма блока воспринимает нагрузку.

3. Прямая динамика с применением линейно-упругой модели деформирования материалов может указать на проблемные зоны, в которых образуются напряжения, приводящие к повреждению элементов обделки.

4. Прямая динамика с применением упругопластической модели деформирования бетона с накоплением повреждений позволяет детально изучить работу стержней арматуры и зоны образования трещин в обделке.

Список литературы

1. Литвинский Г.Г., Смекалин Е.С., Кладко В.И. Методика оценки и критерии устойчивости горных выработок // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2020. – № 19. – С. 5-14. EDN: FHUKPW.
2. Карасев Е.А. Особенности работы сборных обделок транспортных тоннелей // Записки Горного института. – 2010. – Т.185 – С. 180-183. EDN: RENSNT.
3. Карасев М.А., Тиен Тай Нгуен Метод прогноза напряженного состояния обделки подземных сооружений квазипрямоугольной и арочной форм // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 807-821. DOI: 10.31897.
4. Набатов В.В., Вознесенский А.С. Геомеханический анализ влияния строительства новых тоннелей в окрестности действующих подземных сооружений метрополитена на состояние грунтового массива // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264. – С. 926-936. EDN: JNNOAW.
5. Беляков Н.А. Геомеханическое обоснование параметров крепления железнодорожных тоннелей в условиях Северного Кавказа // Записки Горного института. – 2010. – Т. 186 – С.99-103. EDN: RENTGF.

УДК 621.039.7

ПРОГНОЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЛОЧНОЙ ОБДЕЛКИ ХРАНИЛИЩА РАО ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Мовчан Е.И.
аспирант кафедры СГПиПС,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, liza_movchan@rambler.ru

Научный руководитель: Беляков Н.А.
к.т.н, доцент кафедры СГПиПС,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Актуальность выбранной темы обусловлена потребностью атомной энергетики в строительстве безопасных и долговечных пунктов захоронения радиоактивных отходов, а именно подземных. В связи с этим основной целью работы является прогноз напряжённо-деформированного состояния конструкции обделки, подвергающейся влиянию геостатической нагрузки со стороны горного массива, а также тепловому воздействию, источником которого является контейнер типа НЗК-150-1,5П, размещённый в сечении тоннеля, с радиоактивными отходами 2-4 классов. Решение поставленной задачи осуществляется при помощи численного моделирования, в рамках которого была составлена система, где в качестве граничного условия служит нестационарный тепловой поток, интенсивность которого во времени изменяется по экспоненциальной зависимости. По результатам реализации расчётов выведены закономерности изменения температуры в нескольких точках обделки тоннеля, а также проведена оценка влияния на распределение температурных полей тампонажного кольца и бетонной банкетки. Ключевыми результатами являются составление алгоритма решения тепловой задачи в плоской постановке с применением численного моделирования и выведение функциональной зависимости максимальной величины температуры от величины плотности теплового потока.

Ключевые слова: подземное хранилище радиоактивных отходов, напряжённо-деформированное состояние, тепловое воздействие, блочная железобетонная обделка, температурные поля.

Введение. Согласно многим литературным источникам, самым универсальным и безопасным видом хранилища радиоактивных отходов (РАО) является подземный (ПХРАО) [1, 2]. Данная вариация, как правило, представляет из себя систему горных выработок (шахтных стволов, транспортных выработок, тоннелей, камер для размещения РАО) [3]. К основным преимуществам ПХРАО можно отнести устойчивость к внешним воздействиям, небольшие площади отчуждаемой территории, к недостаткам – особенные требования к геологическому разрезу, где планируется разместить рассматриваемый объект [4]. В рамках исследования было выбрано спиралевидное объёмно-планировочное решение, представленное на рис.1 [5].

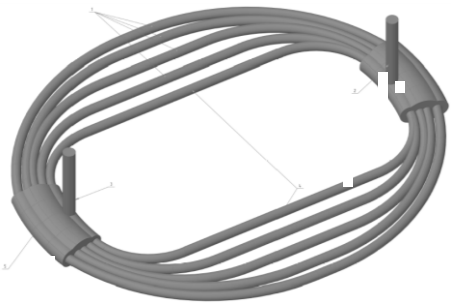


Рис.1. Объёмно-планировочное решение подземного хранилища радиоактивных отходов, где 1 – тоннели для захоронения радиоактивных отходов, 2 – вентиляционный ствол, 3 – главный вертикальный ствол, 4 – транспортный тоннель, 5 – транспортный узел [3]

Целью исследования является анализ напряжённо-деформированного состояния блочной железобетонной обделки 5БНЛ-10 с учётом воздействия теплового фактора, источником которого является захороненный контейнер с РАО 2-4 классов [6, 7].

Для достижения поставленной цели необходимо провести ряд вариативных расчётов, подразумевающих изменение либо состава системы, либо максимальной величины параметра, заложенного в граничное условие модели.

Методы. При анализе различных трудов был сделан вывод об эффективности применения метода конечных элементов при решении теплотехнических задач. Для формирования граничного условия через нестационарный тепловой поток необходимо определить максимально возможное значение его плотности и функцию, по которой он изменяется с течением времени захоронения по формуле (1) [8].

$$q = q_0 \exp(-Bt_q), \quad (1)$$

где q_0 – начальное тепловыделение, Вт/м^2, В – константа, равная величине обратной периоду полураспада захораниваемого РАО t_0, t – время, в течение которого планируется рассматривать влияние тепловыделения от РАО на обделку выработки и массив горных пород (ГП), лет.

Начальное значение температуры на глубине размещения ПЗРАО вычисляется по формуле (2) 9]:

$$T(x) = T_0 + q \sum_i \frac{\Delta x_i}{\lambda_i} \quad (2)$$

где q – плотность глубинного теплового потока, Вт/м^2; Δx_i – мощность i-го слоя, м, λ_i – теплопроводность i-го слоя, Вт/(м^2·°С).

Результаты. В рамках работы была построена модель, состоящая из вмещающего массива горных пород, обделки 5БНЛ-10, бетонной банкетки, контейнера НЗК-150-1,5П, на границах которого задан нестационарный тепловой поток, изменяющийся по экспоненте во времени, и воздушной прослойки, служащей буфером (рис.2) [10].

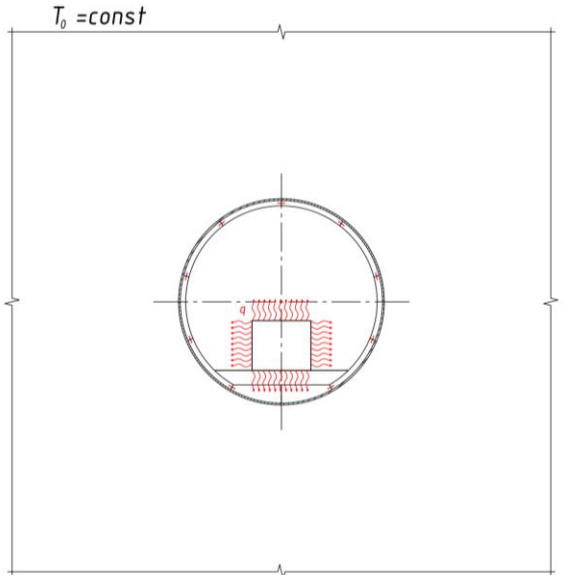
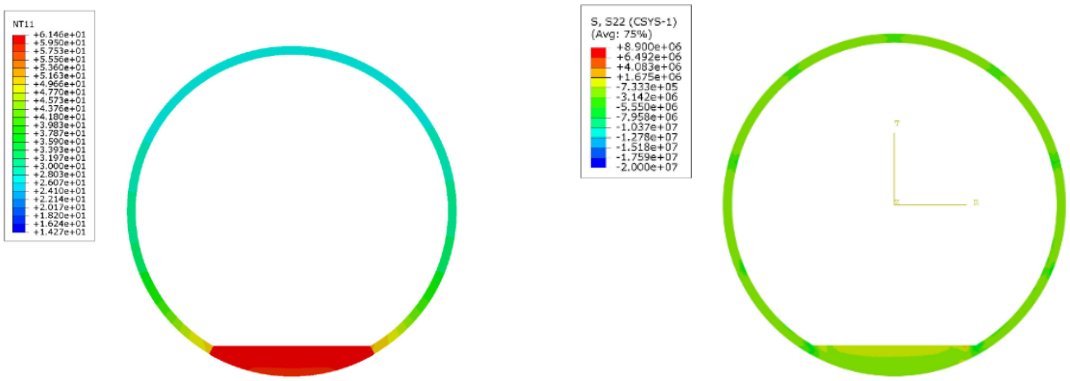


Рис.2. Расчётная схема модели для решения тепловой задачи
[*составлено авторами*]

По результатам расчёта получаем, что максимальная температура в обделке тоннеля устанавливается на 70-м году захоронения РАО и равняется 61,46 ˚С. Распределение температурный полей на момент достижения T_{max} и тангенциальных напряжений в рассматриваемой конструкции отображено на рис.3.

Кроме того, для оценки влияния составляющих конструкции на распределение температурных полей, а именно тампонажного кольца и бетонной банкетки, было также осуществлено несколько расчётов (без тампонажного кольца и бетонной банкетки/с тампонажным кольцом/с тампонажным кольцом и бетонной банкеткой), по результатам которых получилось, что при добавлении в систему первого величина T_{max} в зоне лотковых блоков увеличивается на 17,7 % (с 62,46 ˚С до 73,5 ˚С), а учёт второго приводит к понижению температуры на 16,37 % (с 73,5 ˚С до 61,47 ˚С).



а) б)

Рис. 3. Эпюры, где а – распределение температурных полей в обделке [˚С],
б – распределение тангенциальных напряжений в обделке [Па] [*составлено авторами*]

В рамках данной системы был реализован ряд расчётов с изменяющейся величиной плотности теплового потока q от 60 до 100 Вт/м^2 с шагом 10 Вт/м^2, по результатам которого были построены графики (рис.4), где видно, что шаг изменения T_{max} постоянен и примерно равен 6,04 ˚С.

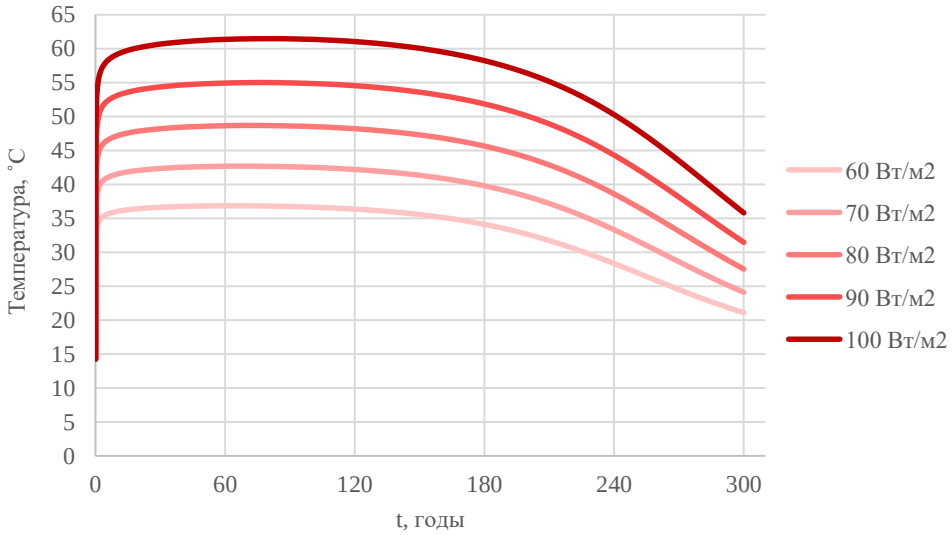


Рис. 4. График изменения температуры в зоне контакта лотковых блоков обделки 5БНЛ-10
[*составлено авторами*]

Обсуждение. По результатам расчёта системы с тампонажным кольцом и бетонной банкеткой были построены графики (рис.5) изменения температуры в точках А, Б, В, соответствующие центральным точкам свода обделки, бокового сегмента и лотковой части, по следам которых была выведена общая зависимость изменения тангенциальных напряжений (3).

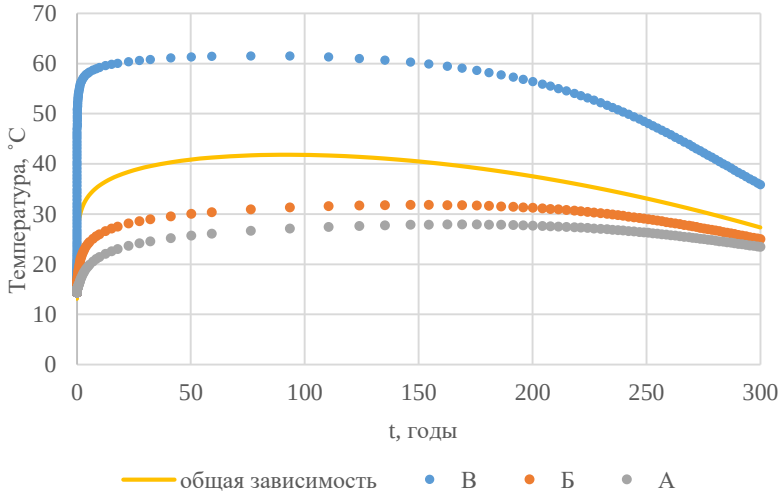


Рис. 5. Средняя кривая изменения напряжённо-деформированного состояния обделки тоннеля ПХРАО [*составлено авторами*]

$$T = 0{,}00024t^2 + 27t^{0{,}097} + 2 \quad (3)$$

Кроме того, график, отображённый на рис.4, можно представить в виде поверхности в осях q-T-t (рис.6) и выполнить её аппроксимацию (4).

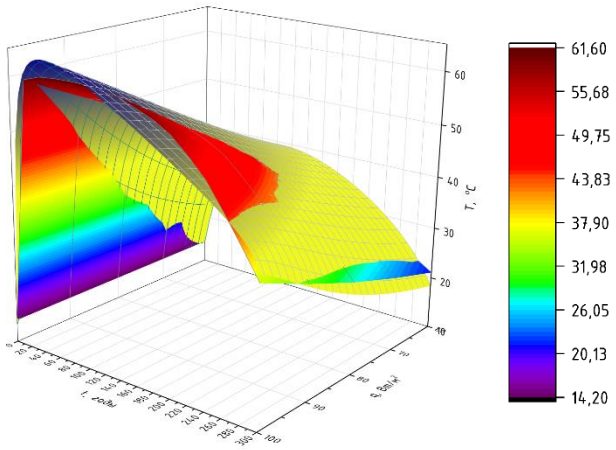


Рис. 6. Поверхность изменения температуры при вариативном значении плотности теплового потока q [*составлено авторами*]

$$T = \frac{10{,}42 - 0{,}1q + 0{,}344t - 0{,}0016t^2 + 1{,}54t^3}{1 - 0{,}01q - 3{,}003q^2 + 4{,}62q^3 + 0{,}005t + 1{,}5t^2}, [°C] \quad (4)$$

Заключение. В результате проведённых исследований был составлен и реализован алгоритм решения тепловой задачи в плоской постановке с помощью численного моделирования, а также получены аналитические зависимости, позволяющие с высокой достоверностью (коэффициент детерминации 0,95) оценивать максимальную температуру в элементах блочной обделки тоннеля подземного хранилища радиоактивных отходов при тепловом воздействии от контейнеров с РАО 2–4 классов. Установленная корреляция температуры с плотностью нестационарного теплового потока и временем захоронения даёт возможность выполнять экспресс-оценку теплового состояния конструкции на этапе проектирования без проведения трудоёмких численных экспериментов. Выведенные зависимости учитывают конструктивные особенности системы, включая наличие тампонажного кольца и бетонной банкетки, что повышает достоверность прогноза напряжённо-деформированного состояния обделки. Практическая значимость

полученных результатов заключается в возможности оперативного определения температурных параметров при вариации исходных данных, что сокращает временные затраты на проектные проработки и способствует повышению безопасности при обосновании долговременной эксплуатации ПХРАО. Дальнейшие исследования предполагают верификацию предложенных зависимостей на расширенном диапазоне входных параметров и учёт дополнительных факторов, влияющих на термомеханическое поведение системы «массив – обделка – РАО».

Благодарности: *Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю – кандидату технических наук, доценту кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II Белякову Никите Андреевичу за неоценимую помощь в постановке цели и задач исследования, ценные рекомендации при разработке численных моделей, а также за внимательное руководство при подготовке настоящей работы.*

Список литературы

1. Ковалёв, О.В., Тхориков, И.Ю. Комплексный метод оценки механического состояния горных пород в окрестности хранилищ радиоактивных отходов // Записки Горного института. 2012. Т. 199. С. 30-34. EDN: QLIFVD.
2. Mariani A., Marta D., Radioactive waste Repository in Italy and annexed Technology Park // EPJ Web of Conferences. 2024.Rome. DOI: 10.1051/epjconf/202431000012.
3. Протосеня, А.Г., Карасёв, М.А. Подземное захоронение радиоактивных отходов в глинистых формациях // Записки Горного института. – 2007. – Т. 172. – С. 57-65. EDN: ICJUJL.
4. Камнев Е.Н., Морозов В.Н., Шищиц И.Ю. Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях – М.: Издательство «Горная книга» 2011. – 207 с. EDN SBQUNB.
5. Пат. RU 2265904 C1 Российская Федерация, МПК G21F 9/00. Способ подземной изоляции радиоактивных отходов / Протосеня А.Г., Карасёв М.А., Петров Д.Н.; заявитель и патентообладатель. – № 2003125018/06; заявл. 14.08.2003; опубл. 10.12.2004, Бюл. № 34.
6. Сорокин, В.Т. Долговечность железобетонных контейнеров типа НЗК-150-1,5П при захоронении радиоактивных отходов 2 класса // Радиоактивные отходы. 2022. №3. С. 37-49. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-3-37-49.
7. Clayton, R., Kirk, J., Banford, A., Stamford, L. A review of radioactive waste processing and disposal from a life cycle environmental perspective // Clean Technologies and Environmental Policy. 2024. Vol. 27. P. 665-682. DOI: 10.1007/s10098-024-02998-6.
8. Дробышевский, Н.И. Трёхмерное численное моделирование теплового состояния пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов в Нижнеканском массиве горных пород // Радиоактивные отходы. – 2017. – №1. – С. 66-75. EDN XNSQLB.
9. Голованова, И.В. Методика расчёта глубинных температур с учётом, исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока // Геология и геофизика. – 2014. – Т.55, №9. – С. 1426-1435. DOI 10.15372/GiG20140908.
10. Дашко, Р.Е., Лохматиков, Г.А. Комплексная оценка безопасности захоронения радиоактивных отходов в глинистых породах (на примере Санкт-Петербургского региона) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10-1. – С. 66-76. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_101_0_66.

УДК 624.121.537

ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Онищенко М.К.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, mariaonishchenko28@gmail.com

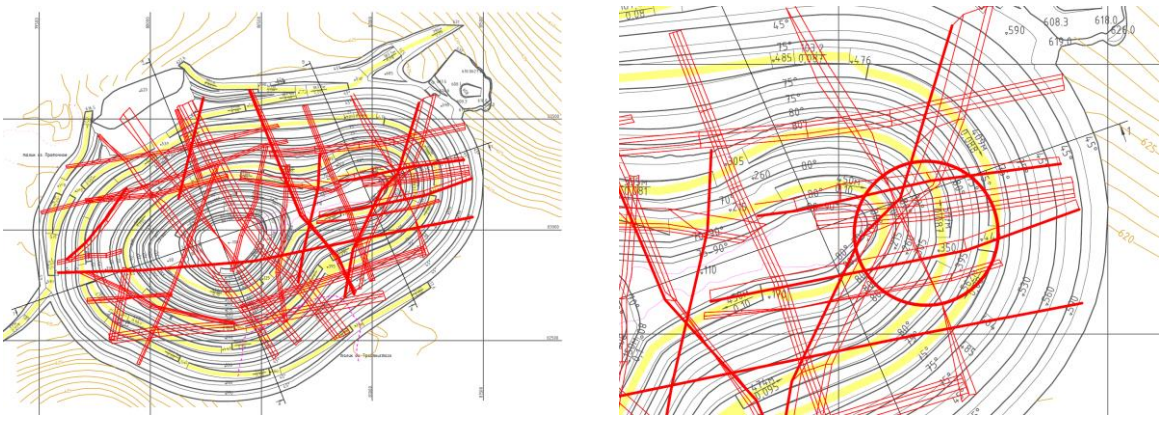
Научный руководитель: Господариков А.П.
д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Обеспечение устойчивости бортов карьеров относится к числу приоритетных задач открытой разработки месторождений, особенно в условиях сложноструктурных скальных массивов горных пород с развитой естественной и техногенной трещиноватостью. В работе представлена методика прогноза и оценки устойчивости бортов карьеров, объединяющая аналитические расчеты, инструментальный мониторинг, прогнозные модели и управленческие решения в системе раннего оповещения. На примере условного месторождения подтверждена эффективность предложенной модели мониторинга и расчетных зависимостей. Полученные результаты расчетов необходимы для совершенствования систем геомеханического мониторинга на глубоких карьерах со сложными горно-геологическими условиями.

Ключевые слова: устойчивость бортов карьеров, трещиноватость горных пород, техногенная нарушенность; коэффициент запаса устойчивости; открытые горные работы.

Введение. Приоритетным направлением современной разработки месторождений открытым способом становится разработка новых и совершенствование существующих подходов к прогнозированию и оценке устойчивости бортов карьеров [1]. Детальное изучение структурной нарушенности массива горных пород и прогнозирование сценариев развития деформационных процессов в режиме реального времени в скальных трещиноватых массивах создает основу для повышения эффективности систем мониторинга и обеспечения своевременного реагирования на возможные обрушения [2].

Методы исследования. В работе рассмотрена проблема прогноза и оценки устойчивости бортов карьера с учетом сильной трещиноватостью на примере условного месторождения с физико-механическими характеристиками массива горных пород, приближенными к реальным. Объектом исследования выбран участок борта в интервале абсолютных отметок +350…+305 м. Участок расположен непосредственно над транспортными коммуникациями, обеспечивающими доступ к нижележащим горизонтам, что предопределяет необходимость повышенного оценки его устойчивости и разработки специальных стабилизирующих мероприятий (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. а) план карьера на конец отработки; б) зона локализации деформаций

Особенностью строения данного участка борта условного месторождения является неоднородность литологического состава с чередованием пластов с различными прочностными характеристиками (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения показателей физико-механических свойств пород условного месторождения

№ п/п	Высота уступа в зоне максимальной деформации, H, м	Угол откоса уступа, град.	Общий объемный вес пород, γ, г/см³	Сцепление пород в образце, C_o, кг/см²	Угол внутреннего трения, φ_o, град	Коэффициент структурного ослабления, λ	Прочность пород в массиве	
							Сцепление, $C_м$, т/м²	Угол внутреннего трения, $\varphi_м$, град
от гор. +350 м до гор. +305 м	от 35 до 40	75°	2,61	91,3	34,5	0,093	85	34,5

В пределах рассматриваемой северо-восточной части борта породы, слагающие, в особенности, верхнюю часть откоса уступа, в наибольшей степени подвержены трещинообразованию и, как следствие, наиболее деформированы. В таких условиях использование стандартных инженерных подходов не способно обеспечить необходимую точность прогноза и оценки устойчивости опасного участка борта условного месторождения [3].

В связи с этим предлагается методика прогноза и оценки устойчивости борта карьера, объединяющая предварительные аналитические расчеты, мониторинг, прогнозные модели и управленческие меры. Особое внимание уделено зоне ослабленных контактов, учёту естественной и техногенной трещиноватости, а также реологическим свойствам горных пород, что позволит точно определять момент потери устойчивости борта карьера.

Основой предложенной методики послужил метод Н. Моргенштерна–В. Прайса, который является наиболее эффективным из методов предельного равновесия [3], поскольку одновременно удовлетворяет условиям равновесия сил и моментов для каждого отсека призмы скольжения [4]. В отличие от других аналитических методов, этот подход не ограничивается только одной формой поверхности скольжения, что критически важно для массивов с зонами ослабленных контактов, где поверхность скольжения имеет сложную геометрию. В свою очередь определение прочностных параметров массива горных пород через критерий Хоека–Брауна является международным признанным стандартом для оценки прочности трещиноватых скальных массивов.

Основной формулой аналитической части методики является динамический коэффициент запаса устойчивости, меняющийся в реальном времени по данным мониторинга (1):

$$FS(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[c_i'(GSI_{\text{эфф}}(t), D(t), k(t)) \cdot l_i + (N_i - u_i(t) \cdot l_i)\tan\varphi_i'(GSI_{\text{эфф}}(t), D(t), k(t)) + T_{\text{анк},i}\right]}{\sum_{i=1}^{n} \left[W_i \sin\alpha_i(t) + F_{\text{сейсм},i}(t)\right]} \quad (1)$$

где

Регулярный мониторинг поверхности массива горных пород методом лазерного сканирования позволит количественно оценить динамику развития трещин. Дополнительно в зонах ослабленных контактов устанавливаются пьезометры [5].

Прогнозные модели обеспечат комплексный учет временных эффектов деформирования массива горных пород и достоверно определить момент потери устойчивости борта на участке условного месторождения [6-7]. Калибровка расчетных параметров реализуется через обратный анализ, включающий минимизацию невязки между измеренными и модельными значениями смещений [8].

Управленческие меры реализуются через систему раннего оповещения, построенную на параметрической системе пороговых значений, комбинирующей скорость смещений и динамический коэффициент запаса устойчивости.

Результаты. Предложена теоретически обоснованная система мониторинга и прогноза устойчивости бортов карьеров, объединяющая в себе аналитические, инструментальные, прогностические и управленческие подходы к оценке процессов. Система обеспечивает непрерывную актуализацию расчетных параметров на основе оперативной обработки данных наблюдений, что позволяет адаптировать прогнозные оценки к изменяющимся горно-геологическим условиям.

Выполнена апробация разработанной методики на примере условного месторождения, подтвердившая работоспособность предложенных моделей, алгоритмов и расчетных зависимостей. Полученные результаты создают научно-методическую основу для совершенствования систем геомеханического мониторинга на глубоких карьерах, разрабатывающих месторождения со сложным структурно-тектоническим строением и высокой трещиноватостью массива.

Обсуждение. Разработанная методика мониторинга и прогноза устойчивости борта карьера представляет собой попытку преодоления разрыва между традиционными статическими методами предельного равновесия и современными требованиями к оперативному управлению геомеханическими рисками в реальном времени.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана, теоретически обоснована и апробирована на примере условного месторождения четырехуровневая методика мониторинга и прогноза устойчивости бортов карьеров, ориентированная на сложноструктурные скальные массивы с развитой естественной и техногенной трещиноватостью.

Список литературы

1. Эргашев, Н.Х. Анализ современных методов определения и оценки параметров устойчивых откосов бортов карьеров / Н.Х. Эргашев, Л.О. Шарипов // Universum: технические науки. – 2025. – № 2(131). – с. 31-34. EDN: SZDFUP
2. Корчак, С.А. Оценка состояния массива горных пород для выделения потенциально опасных участков проектируемого карьера / С.А. Корчак, И.В. Абатурова, И.А. Савинцев, Л.А. Стороженко // Известия Уральского государственного горного университета. – 2022. – Вып. 3(67). – с. 90-99. – DOI: 10.21440/2307-2091-2022-3-90-99 EDN: IZXKSX
3. Онищенко, М.К. Сравнительный анализ методов оценки устойчивости бортов карьеров / М.К. Онищенко // Моя специальность : Тезисы докладов конкурса научных работ обучающихся, Санкт-Петербург, 15–17 октября 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2026. – С. 76-79. – EDN MJJJAS.
4. Волкоморова, Н.В. Прямой метод определения границ областей опасных сдвижений и обоснования угловых параметров процесса сдвижения горных пород / Н.В. Волкоморова, А.В. Жабко // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2025. – № 4. – с. 66-78. – DOI: 10.21440/0536-1028-2025-4-66-78. EDN: LRLTPA
5. Кочарян, Г.Г. Инициирование обрушения склона сейсмическими колебаниями от разных источников / Г.Г. Кочарян, А.Н. Беседина, С.Б. Кишкина, Д.В. Павлов, З.З. Шарафиев, П.А. Каменев // Физика Земли. – 2021. – № 5. – с. 43-56. – DOI: 10.31857/S0002333721050112 EDN: ECSOFQ
6. Козырев, С.А. Инженерная методика оперативной оценки сейсмовзрывного воздействия на законтурный массив в карьере / С.А. Козырев, Е.А. Власова, Е.А. Усачев // Горная промышленность. – 2024. – № 5. – с. 66-73. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5-66-73 EDN: FXDXTR
7. Розанов, И.Ю. Реализация многоуровневого комплексного мониторинга устойчивости бортов карьеров / И.Ю. Розанов, В.В. Рыбин, К.Н. Константинов // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – с. 135-141. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-135-141 EDN: PNSQBG
8. Жабко, А.В. Критерий прочности блочных сред и обратные геомеханические расчеты / А.В. Жабко // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 6. – с. 37-47. – DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-37-47 EDN: GNRXLV

УДК 622.274

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОБЫЧИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Рыженков К.А.[1], Прокофьева Н.З.[2]
[1] аспирант, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия, Ryzhenkovka@nornik.ru
[2] аспирант, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия, nata1822ha@mail.ru

Научный руководитель: Туртыгина Н.А.
кандидат технических наук, доцент, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

Аннотация. В работе представлена актуализированная систематизация потерь и разубоживания при подземной разработке руд, рассмотрены модели для определения потерь и разубоживания при добыче вкрапленных руд сплошными камерными системами с описанием методики расчёта показателей извлечения при отработке.

Ключевые слова: систематизация, подземная разработка, вкрапленные руды, качество, потери, разубоживание, параметры камеры, стабилизация.

В современных условиях ключевой фактор эффективности горно-металлургического комплекса является не только качество, но и стабильность вещественного состава минерального сырья. Показатели полноты извлечения запасов из недр такие как потери и разубоживание- оказывают прямое влияние на конечные экономические результаты. При этом существующие общие классификации не в полной мере учитывают конструктивные особенности камерной системы разработки с последующей закладкой очистного пространства, тем самым не формируют качество выемки добытых руд [2]. Изменение систем разработки и её параметров является одним из методов управления потерями и разубоживания руды. Целью данной работы является актуализация систематизации эксплуатационных потерь и разубоживания. В связи с переходом на вкрапленные руды и увеличения объема добычи.

Исследование основано на анализе и обобщении существующих методических подходов (в частности, работ В.А. Шестакова и отраслевых инструкций) к классификации потерь и разубоживания [5]. Основным методом является системный анализ факторов, влияющих на формирование показателей извлечения при применении камерных систем разработки с закладкой твердеющими смесями. Для каждого характерного варианта системы разработки (с проходкой нижнего штрека, с промежуточным штреком, без промежуточного штрека) были разработаны модели формирования потерь и разубоживания, учитывающие источники их образования. Методологической основой для расчета нормативных показателей служит критерий максимизации прибыли с одной тонны погашенных балансовых запасов, что позволяет экономически обосновать оптимальное соотношение между взаимосвязанными потерями и разубоживанием.

В результате исследования актуализирована общая классификация эксплуатационных потерь и разубоживания. Потери разделены на группы в массиве и отбитого полезного ископаемого, разубоживание – на первичное и вторичное, с выделением нормируемых и ненормируемых составляющих. Для условий отработки вкрапленных руд сплошными камерными системами разработаны детализированные систематизации, учитывающие конкретные места и причины образования потерь и разубоживания [5]. Для систем мощностью 7–15 м выделены потери в массиве по геологическим контактам (почва, кровля, борт, торец) и потери отбитой руды на почве и поверхности закладки, а также разубоживание породой и материалом закладки. Для систем мощностью до 50 м (с промежуточным штреком и без него) классификация дополнена таким специфическим видом, как разубоживание

закладкой с почвы по техногенному контакту. Анализ расчетов для условий конкретных рудников показал, что для низко ценных вкрапленных руд экономически оптимальное соотношение (μ) смещается в сторону увеличения потерь при одновременном снижении разубоживания, чтобы обеспечить приемлемое качество товарной руды. Отклонения фактических данных от расчетных нормативов могут составлять 2,2–3,7%, что подтверждает необходимость корректировки подходов к нормированию [6, 9].

Предложенная систематизация позволяет более точно идентифицировать источники формирования потерь и разубоживания на всех этапах очистной выемки, что является основой для их достоверного нормирования. Полученные результаты подчеркивают, что конструктивные параметры системы разработки (наличие промежуточных штреков, порядок отработки) напрямую определяют перечень возможных видов потерь и примешиваемых материалов (порода или закладка). Выявленная для вкрапленных руд тенденция к увеличению потерь ради сохранения качества рудо потока вступает в противоречие с традиционными подходами к нормированию, ориентированными на максимизацию полноты извлечения. Это диктует необходимость использования экономико-математических моделей, подобных представленной, для поиска компромисса между полнотой выемки и стабильностью качества. Работа вписывается в контекст современных исследований, направленных на управление качеством рудо потоков и адаптацию технологий горных работ к ухудшающимся горно-геологическим условиям.

В работе представлена актуализированная систематизация потерь и разубоживания, адаптированная для условий отработки вкрапленных руд сплошными камерными системами с различными конструктивными параметрами. Предложенное решение управления качеством руд позволяют повысить точность планирования горных работ, которые позволяют получить более достоверное качество добытой руды. Практическая значимость заключается в возможности использования результатов для экономически обоснованного нормирования показателей извлечения и последующей стабилизации вещественного состава рудо потоков, поступающих на обогатительные фабрики. Направлением будущих исследований является совершенствование методик оперативного контроля и управления показателями извлечения в реальном времени.

Список литературы

1. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Фролов Н. А., Бородин П. Н. Принципы и стадии процесса стабилизации качества руд при подземной добыче// Горный журнал – 2025. – №16. – С. 26 -34. DOI: 10.17580/gzh.2025.06.04.
2. Батралиев Р.Ш., Туртыгина Н.А., Охрименко А.В. Принципиальная структура оперативной информационно-управляющей системы для стабилизации качества рудопотоков // Горный журнал – 2022. – №10. – С. 91 -96. DOI: 10.17580/gzh.2022.10.14.
3. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Фролов Н.А., Мельницкая М.Е. Влияние системы разработки на потери и разубоживание при подземной добыче вкрапленных руд // Научный вестник Арктики. 2023. №15. С. 5–14. http://dx.doi.org/ 10.52978/25421220_2023_15_5–14.
4. Проектная документация комплексного развития рудника «Комсомольский», АО «Гипроцветмет», Москва 2021 г.
5. Руководство по нормированию и планированию потерь и разубоживания руды при отработке медистой руды в поле рудника «Комсомольский» шахты «Скалистая» (часть XLII) Красноярск, 2017 г.
6. Рациональное освоение недр: [сайт]. URL: https://roninfo.ru/kontaktyi/. Дата обращения: 02.11.2025.
7. Иванов И.И. Оптимизация потерь и разубоживания в подземной разработке медно-никелевых руд: дис. ... канд. техн. наук. – М.: Горный институт РАН, 2020. – 150 с.
8. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Кокошка И.П., Рыженков К.А. Систематизация потерь и разубоживания при подземной разработке месторождений вкрапленных руд // Культура. Наука. Производство. – 2025. – №16. – С. 24 -32.
9. Туктарова Н.З, Данилов О.С. Извлечение благородных и цветных металлов иЗ техногенного сырья Норильского промышленного района Научный вестник Арктики. 2022, N13. С, 113-118, http-lldx.doi.org/10.52978/2542 1220_2022 _13_113-118.
10. Петров П.П. Современные методы повышения качества добычи медно-никелевых руд при подземной разработке: монография. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2019. – 250 с.

УДК 624.042.7:699.841

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛЬНИЦ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Сарадоев Д.О.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, saradoev_danil@mail.ru

Научный руководитель: Алексеев А.В.
к.т.н, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Статья посвящена проблемам сейсмического анализа железобетонных фундаментов мельниц. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежности горнодобывающей инфраструктуры в сейсмических районах. Выявлены недостатки нормативных методов: неучет нелинейности бетона и грунта в линейно-спектральном методе, отсутствие верифицированных коэффициентов K_1 и ограничения Pushover-анализа при циклическом нагружении. В качестве решений предложены: комплексная верификация моделей с использованием машинного обучения, разработка дифференцированных коэффициентов K_1, оптимизация нелинейного динамического анализа и модификация методов для учета накопления повреждений.

Ключевые слова: динамическая теория, сейсмическое воздействие, сейсмостойкость, линейно-спектральный метод, коэффициент допускаемых повреждений.

Освоение новых месторождений полезных ископаемых в сейсмически активных регионах является стратегической задачей, что обуславливает повышенные требования к надежности критической инфраструктуры, такой как фундаменты мельниц на горнодобывающих предприятиях. Несмотря на обширные мировые исследования в области сейсмостойкого строительства, наблюдается значительный пробел в изучении специфики поведения железобетонных фундаментов под динамическое оборудование при сейсмических воздействиях. Существующие нормативные методы, в частности, линейно-спектральный метод (ЛСМ), закрепленные в российских стандартах, обладают существенными ограничениями: они не позволяют достоверно учитывать нелинейную работу материалов, циклическое нагружение и взаимодействие конструкции с грунтом [1]. Это создает риски разрушений, ведущих к человеческим жертвам и огромным экономическим потерям.

Исследование базируется на комплексной методологии, интегрирующей критический анализ научной литературы, сравнительный анализ нормативных документов и численное моделирование. В качестве основного инструментария применяются методы конечно-элементного анализа в программных комплексах (*Abaqus, LS-DYNA*), позволяющие реализовывать продвинутые нелинейные феноменологические модели бетона (например, *Concrete Damage Plasticity Model* [2], модель А.М. Бударина [3]). Для анализа сейсмического отклика используются линейно-спектральный анализ, нелинейный статический анализ (*Pushover Analysis* [4]) и нелинейный динамический анализ с прямым интегрированием уравнений движения.

Процедура исследования включает:

- Создание расчетных моделей фундамента мельницы с учетом взаимодействия с грунтовым основанием,
- Подбор и калибровка материальных моделей, адекватно описывающих поведение железобетона при циклическом нагружении,
- Проведение серий расчетов различными методами для сравнительного анализа результатов,

– Верификацию численных моделей путем сопоставления с данными натурных вибрационных испытаний или результатами мониторинга.

Полученные результаты вписываются в общемировой контекст поиска баланса между точностью и вычислительной эффективностью методов сейсмического анализа. Выявленные ограничения линейно-спектральный анализ и *Pushover Analysis* [5, 6] согласуются с выводами международных исследований, указывающих на их неадекватность для моделирования сложных нелинейных и циклических процессов. Предложенный подход к верификации с использованием машинного обучения является перспективным направлением, развивающим современные тренды в цифровом проектировании.

Критический анализ моделей бетона показал, что, несмотря на обилие критериев прочности, лишь немногие (*Menetrey-Willam*, модификации *Grassl* [7] и Бударина) удовлетворяют требованиям точности и вычислительной устойчивости для динамических задач.

Внедрение дифференцированных коэффициентов K_1 и модифицированного *Pushover Analysis* позволит повысить надежность проектирования без кардинального усложнения расчетных процедур, в то время как оптимизация нелинейный динамический анализ открывает путь к его более широкому применению.

Проведенное исследование подтвердило актуальность и комплексный характер проблем сейсмического анализа железобетонных фундаментов мельниц. Сформулированные выводы и предложения имеют высокую практическую значимость, так как направлены на совершенствование нормативной базы, повышение точности расчетов и, как следствие, обеспечение сейсмической безопасности и надежности критических объектов горнодобывающей отрасли.

Список литературы

1. Соснин А. Об алгоритме уточнения коэффициента допускаемых повреждений К1 по кривой несущей способности для оценки сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий массового строительства // Жилищное строительство. – 2017. – Vol. 60. – № 70. – P. 60-70.
2. Bakhti R., Benahmed B., Laib A., Alfach M. New approach for computing damage parameters evolution in plastic damage model for concrete // Case Studies in Construction Materials. – 2022. – Vol. 16. – P. e00834. – https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2021.E00834.
3. Бударин А., Рempель Г., Камзолкин А., Алехин В. Деформационно-прочностная модель бетона с двойным независимым упрочнением и повреждением // Вестник МГСУ. – 2024. – Vol. 19. – № 4. – P. 527-543. – https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.4.527-543.
4. Belejo A., Bento R. Improved Modal Pushover Analysis in seismic assessment of asymmetric plan buildings under the influence of one and two horizontal components of ground motions // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2016. – Vol. 87. – P. 1-15. – https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2016.04.011.
5. Magisano D., Corrado A., Madeo A., Garcea G. A reduced order model for nonlinear time history seismic analyzes of elasto-plastic 3D frame structures // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. – 2022. – Vol. 51. – № 9. – P. 2055-2076. https://doi.org/10.1002/eqe.3653.
6. Zare Bidoki R., Shayanfar M. An energy-based pushover-analysis with torque-effects in assessment of the structures with asymmetric plan // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2018. – Vol. 108. – P. 58-68. – https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2018.02.005.
7. Grassl P., Jirásek M. Damage-plastic model for concrete failure // International Journal of Solids and Structures. – 2006. – Vol. 43. – № 22-23. – P. 7166-7196. – https://doi.org/10.1016/J.IJSOLSTR.2006.06.032.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ДЛИНЫ ПЕРЕБУРА ПЕРВОГО РЯДА СКВАЖИН УСТУПА КАРЬЕРА

Сергиенко Н.Н.
аспирант 3 г. о. кафедры Взрывного дела,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, forawsenn@mail.ru

Научный руководитель: Маринин М.А.
к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Целью исследования является обоснование геометрического критерия выбора длины перебура скважин рыхления для качественной проработки на уровне подошвы уступа. Основной проблемой при исключительно теоретическом обосновании геометрического критерия является необходимость учёта и физических критериев разрушения горной породы на практике. В настоящий момент не существует единой рекомендации для расчёта длины перебура, в результате чего выбирается одна из многих расчётных методик с дальнейшей корректировкой параметров скважинного заряда по результатам массовых взрывов.

Ключевые слова: буровзрывные работы, параметры буровзрывных работ, длина перебура, величина перебура, линия сопротивления по подошве (ЛСПП), линия наименьшего сопротивления (ЛНС), проработка подошвы уступа, первый ряд скважин.

Введение. Неудовлетворительные результаты проработки подошвы уступа сильно сказываются на экономических показателях предприятия, так как для ликвидации «порогов» кроме дополнительного расхода взрывчатых материалов требуются так же человеческие и временные ресурсы. Большую роль в проработке подошвы уступа играет выбор оптимальной длины (величины) перебура для конкретных условий ведения взрывных работ. В настоящее время не существует единой методики расчёта оптимальной длины перебура скважины, и при выборе одной из существующих рекомендаций параметры заряда корректируются на основе анализа результатов массовых взрывов.

Методы. Для качественной проработки подошвы уступа необходимо учитывать большое количество условий, уникальных для каждого конкретного объекта ведения работ [1-3].

Для увеличения эффективности работы скважинного заряда взрывчатого вещества в перебуре, разрабатываются различные устройства [4-6], используются усовершенствованные конструкции зарядов взрывчатых веществ [7-9], нестандартные схемы расположения скважинных зарядов [10], учитываются энергетические критерии при бурении скважин для расчёта длины перебура [11], а так же, для продления срока службы бурового оборудования, уменьшают величину перебура в последующих рядах скважин [12].

Для проработки линии сопротивления по подошве значительную роль играет выбор рациональной длины перебура первого ряда скважин, работающего на создание открытой поверхности для следующего ряда. При неудовлетворительной проработке подошвы уступа первым рядом скважин так же и малоэффективна её проработка последующими рядами.

Результаты. Согласно теории разрушения, заряд взрывчатого вещества работает во все стороны равномерно лишь до определённого предела, после преодоления которого энергия уходит по большей части в тот участок массива, в котором разрушение происходит с меньшими энергозатратами. Для первого ряда удлинённых зарядов рыхления таким участком массива является поверхность откоса уступа. Энергия взрыва по большей части будет распределяться по линии наименьшего сопротивления (ЛНС), что не всегда обеспечивает проработку линии сопротивления по подошве (ЛСПП).

Для проработки ЛСПП важно верно рассчитать необходимую величину перебура скважинного заряда, которая зависит как от диаметра скважины [13]. и используемого взрывчатого вещества [14], так и от технологии взрывания [15, 16] и структуры массива [17-19].

Обсуждение. Учитывая, что заряд наиболее эффективно работает по ЛНС, для предотвращения образования «порогов» (плохой проработки на линии подошвы уступа) целесообразно учитывать геометрический критерий определения оптимальной длины перебура скважин, который графически определяется точкой пересечения препендикуляра, проведённого из нижней точки поверхности откоса уступа (нижней бровки уступа), с линией (траекторией) бурения скважины первого ряда (рисунок 1).

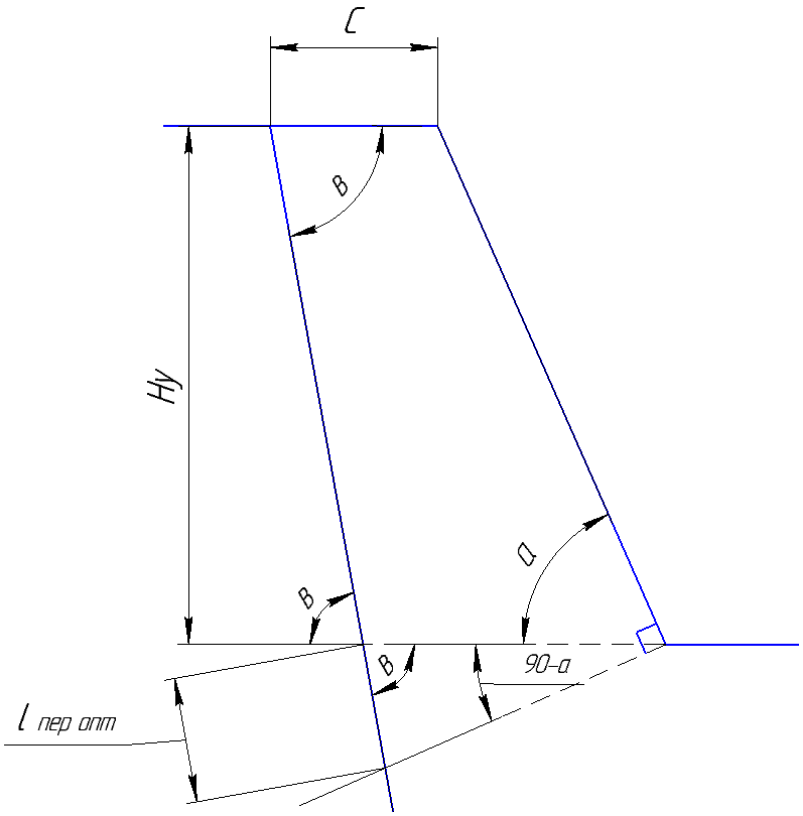


Рис. 2. Схема определения оптимальной длины перебура скважины первого ряда по геометрическому критерию.

При использовании геометрического критерия оптимальная длина перебура для наклонных скважин определяется по формуле:

$$l_{\text{пер опт}} = \frac{[C+H_y(\text{ctg}\,\alpha - ctg\,\beta)]\cdot\cos\alpha}{\sin(90°+\alpha-\beta)} \qquad (1)$$

где С – расстояния от верхней бровки до первого ряда скважин (или отдельной скважины), м; H_y – высота уступа, м; α – угол откоса уступа, град; β – угол наклона скважины к поверхности бурения (верхней рабочей площадке), град.

Формула для определения оптимальной величины перебура при рыхлении массива вертикальными скважинами является частным случаем формулы 1 (при угле бурения скважин $\beta = 90°$), тогда для вертикальных скважин формула 1 примет вид:

$$l_{\text{пер опт}} = \frac{[C + H_y \cdot ctg\,\alpha]\cdot cos\,\alpha}{sin\,\alpha} = (\text{C} + H_y \cdot ctg\,\alpha)\cdot ctg\,\alpha = C\cdot ctg\,\alpha + H_y \cdot ctg^2\,\alpha \quad (2)$$

Заключение. Наряду с учётом существующих рекомендаций по выбору длины перебура скважинных зарядов следует учитывать и геометрический критерий для проработки подошвы уступа. Применение геометрического критерия в комплексе с энергетическим критерием может послужить основой для создания универсальной расчётной методики длины перебура скважинных зарядов рыхления.

Список литературы

1. Анализ практических исследований по управлению взрывным разрушением массива горных пород / Р.К. Игизбаев, З. К. Ишанходжаев, Н.Х. Эргашев [и др.] // Universum: технические науки. – 2024. – № 8-2(125). – С. 29-33. – EDN MYSHAO.
2. Константинов, И.А. Анализ причин некачественного разрушения горных пород взрывом в различных горно-геологических условиях / И.А. Константинов, Б.Л. Тальгамер, А.Е. Старков // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 3(26). – С. 22-42. – DOI 10.26730/2618-7434-2024-3-22-42. – EDN EGXKHX.
3. Мазаник, В.Н. Установление рациональных параметров взрывных работ в трещиноватых скальных грунтах / В.Н. Мазаник // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов : 5-я Всероссийская научно-техническая интернет-конференция, Тула, 23–27 декабря 2015 года / Под редакцией И.А. Басовой. – Тула: Тульский государственный университет, 2015. – С. 225-232. – EDN UBWZER.
4. Гевало, К.В. Рыхление горных пород зарядами с воздушной подушкой / К.В. Гевало, Е.Б. Шевкун // Материалы секционных заседаний 56-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ : в 2 т., Хабаровск, 15 июня 2016 года. Том 1. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2016. – С. 68-73. – EDN XCHENZ.
5. Рыхление крепких горных пород зарядами с воздушной подушкой на разрезе «Буреинский-2» / Е.Б. Шевкун, А.В. Лешинский, А.И. Добровольский, А.А. Галимьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 4. – С. 108-116. – EDN SADDLT.
6. Патент на полезную модель № 148326 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08. устройство для создания свободных полостей в перебурах взрывных скважин : № 2014114698/03 : заявл. 11.04.2014 : опубл. 10.12.2014 / Д.Н. Батраков, В.П. Доманов, А.П. Русских [и др.] ; заявитель Закрытое акционерное общество «Творческое экспериментальное объединение "ЭКО"». – EDN MTLZGD.
7. Воробьев, В.В. Исследование влияния различных форм донной части скважинного заряда на проработку подошвы уступа и дробление массива / В.В. Воробьев, А.М. Пеев, В.Т. Щетинин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – № 6-1(41). – С. 80-81. – EDN SAUMDV.
8. Воробьев, В.В. О влиянии конструкции заряда на характер развития начальной стадии разрушения твердых сред / В.В. Воробьев, М.В. Помазан // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – № 1. – С. 124-129. – EDN SBLCKR.
9. Патент № 2017957 C1 Российская Федерация, МПК E21C 37/00. скважинный заряд : № 4876999/03 : заявл. 24.07.1990 : опубл. 15.08.1994 / В.И. Пшеничный, А.А. Корнеев, А.С. Панин ; заявитель Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – EDN VOBHKR.
10. Патент № 2244252 C1 Российская Федерация, МПК F42D 3/04, E21C 41/26. Способ взрывной отбойки горных пород на открытых разработках (варианты) : № 2003123796/03 : заявл. 29.07.2003 : опубл. 10.01.2005 / С. К. Рубцов, Ю. П. Галченко, С. Д. Викторов [и др.] ; заявитель ФГУП Всероссийский проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии ВНИПИ Промтехнологии. – EDN EEJUWD.
11. Авторское свидетельство № 1133383 A1 СССР, МПК E21B 45/00, E21B 44/00, E21B 47/00. Способ определения глубины бурения для взрывного дробления горных пород : № 3649282 : заявл. 05.10.1983 : опубл. 07.01.1985 / А. В. Лалетин, В. М. Усачев, Г. Г. Гомелаури [и др.] ; заявитель Якутский Научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей промышленности. – EDN ORJHOV.
12. Авторское свидетельство № 1761003 СССР, МПК E21C 37/00. Способ формирования скважинных зарядов ВВ при многорядном взрывании горных пород : № 4850718 : заявл. 18.07.1990 : опубл. 07.09.1992 / А.Ф. Грибовода, Г.И. Еременко, И.Д. Сагалевич [и др.] ; заявитель Научно-исследовательский горнорудный институт, государственное производственное объединение «Южруда». – EDN XVIEIX.
13. Шуйфер, М.И. Принципы определения параметров буровзрывных работ при их проектировании и производстве / М.И. Шуйфер // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 3. – С. 6-14. – EDN JSUTDS.
14. Кантор В.Х. Оценка работоспособности и определение оптимальных параметров скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ при взрыве в горных породах / В.Х. Кантор // Проблемы недропользования. – 2022. – № 3(34). – С. 14-26. – DOI 10.25635/2313-1586.2022.03.014. – EDN VVNFGO.
15. Оптимизация параметров БВР при отбойке руды на карьере «Удачный» / Г.В. Шубин, В.И. Хон, К.Ю. Авдеев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S7. – С. 97-104. – EDN KYQRAH.
16. Динамическое воздействие газогенераторов ГДШ при рыхлении скального грунта / М.И. Ганопольский, В.В. Пупков, И.А. Ненахов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 9. – С. 27-35. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-9-0-27-35. – EDN ZQJLRL.
17. Бетин, В.Д. Использование структурных моделей месторождений для эффективной отбойки слоистых массивов / В.Д. Бетин // Техника и технология. Актуальные научные проблемы. Рассмотрение, решение, практика: Сборник научных статей, Гданьск, 30–31 марта 2016 года. – Гданьск: Общество с ограниченной ответственностью Диаманд Трейдинг тур, 2016. – С. 33-37. – EDN WCVDSN.
18. Жариков, С.Н. Современные научные исследования лаборатории разрушения горных пород ИГД уро РАН и перспективы их развития / С.Н. Жариков, А.С. Реготунов, В.А. Кутуев // Проблемы недропользования. – 2022. – № 3(34). – С. 73-90. – DOI 10.25635/2313-1586.2022.03.073. – EDN VBZVIW.
19. Ернур, М. Рациональные параметры при буровзрывных работах / М. Ернур // Вестник науки. – 2025. – Т. 2, № 3(84). – С. 629-635. – EDN NDSZUS.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ ПРОДВИЖЕНИИ ФРОНТА ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Степанов Г.Д.
аспирант, НИТУ МИСИС, Москва, Россия, georgest0503@mail.ru

Научный руководитель: Черепецкая Е.Б.
д.т.н., профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля, НИТУ МИСИС, Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты разработки комплексного подхода к прогнозу изменения напряженно-деформированного состояния массива при продвижении фронта очистных работ на месторождениях, разрабатываемых подземным способом. Подход сочетает трехмерное численное моделирование в программном комплексе Sigma GT, с системой геомеханического мониторинга и визуальных наблюдений в подземных выработках. В качестве натурного эксперимента используется прибор собственной разработки, позволяющий регистрировать изменения тензора напряжений с помощью гидродомкратов в двух ортогональных плоскостях и датчиков акустической эмиссии. На основании моделирования и мониторинга сформирована методика выявления выработок, наиболее подверженных риску вывалообразования, обоснованы рекомендации по периодичности наблюдений и выбору крепи, а также разработан прототип устройства для оперативного контроля изменений напряженного состояния массива с перспективой промышленной апробации.

Ключевые слова: Компьютерное моделирование, Геомеханика, Нарушенность массива горных пород, Прогнозирование горных ударов, Устойчивость горных выработок, Горное давление.

В настоящее время при долгой отработке месторождений абсолютные отметки действующих горизонтов добычи достигают значений в сотни метров от уровня моря и более тысячи метров от дневной поверхности. Учитывая все сложности и ошибки, которые возникали при отработке месторождений на протяжении более 60 лет задача прогнозирования изменения тензора напряжений при продвижении фронта очистных работ может вызывать различные сложности.

Для решения вышеописанной проблемы на сегодняшний день существует перечень методов и стандартов[1-3]. Основными методами являются: метод гидроразрыва скажины при котором породу в стенках скважины целенаправленно разрушают давлением жидкости и по характерным давлениям на кривой «давление–время» определяют параметры поля напряжений в массиве[4-5]; метод разгрузки керна в различных его интерпретациях, где напряжения в массиве определяют по упругим деформациям образца породы (керна), который поочередно «освобождают» от связей с окружающим массивом и пересчитывают деформации в напряжения по теории упругости.[6]

Основными достоинствами описанных методов является достаточно высокая точность определения тензора напряжений, действующих в массиве горных пород.

Однако их общим недостатком является отсутствие возможности фиксации изменения тензора в реальном времени, что усложняет задачу контроля состояния горных выработок по причине необходимости дополнительных изменений на разных стадиях отработки, что в свою очередь крайне трудозатратно.[7]

На основании вышеописанного было принято решение о разработке нового метода, который позволить фиксировать изменения действующих напряжений в массиве, а для контроля удароопасности будет оснащен пьезоэлектрическими датчиками для регистрации акустической эмиссии.

Для получения первоначальной информации о изменении значений и направлений главных напряжений использовался программный комплекс Sigma GT. Программный комплекс предназначен для решения трехмерных задач теории упругости, что позволяет использовать его в качестве регионального прогноза удароопасности. [8]

Граничные условия модели месторождения сгенерированной в Sigma GT скорректированы согласно ежегодным измерениям НДС массива методом полной разгрузки керна, которые проводятся на руднике «Северный» начиная с 2017 года. Геология модели отстроена согласно данным эксплуатационной разведки.

Для апробации работы модели на постоянной основе проводятся визуальные наблюдения в подземных горных выработках согласно методике [9]

В качестве натурных измерений используется прибор собственной разработки, регистрирующий показатель давления с помощью гидродомкратов, расположенных в двух ортогональных плоскостях и установленных в них датчиков из пьезокерамики.

На текущий момент времени разработана методика проведения геомеханического мониторинга, по которой определяются наиболее подверженные риску вывалообразования выработки и определяется периодичность наблюдений за их состоянием, а также выбор типов крепления для поддержания их устойчивого состояния.

Проведена серия моделирования продвижения фронтов очистных работ по месяцам начиная с 2024 года на основании фактического расположения отбойки. По результатам моделирования получены данные о изменении тензора напряжений. Выявлена закономерность изменения направления вектора максимальной компоненты тензора напряжений, что позволяет организовывать мероприятия по снижению удароопасности горных выработок до начала отработки горизонта.[10]

Проведены исследования физико-механических свойств горных пород, слагающих месторождения, для определения прочностных и акустических характеристик.

Разработан прототип устройства для измерения изменений тензора напряжений, проведены испытания гидроцилиндров под нагрузкой. По результатам будут внесены корректировки в конструкцию и разработан финальных вариант устройства для промышленных испытаний.

Выполненные исследования показали, что совместное использование трехмерного моделирования в Sigma GT, данных полной разгрузки керна и систематических визуальных наблюдений позволяет сформировать работоспособную методику геомеханического мониторинга, ориентированную на выявление наиболее опасных в отношении вывалообразования участков горных выработок и оптимизацию схем их крепления. Разработанный прототип измерительного устройства, основанный на гидродомкратах и пьезокерамических датчиках, продемонстрировал работоспособность при нагрузочных испытаниях и может быть использован для регистрации изменений тензора напряжений в режиме, близком к реальному времени, что повышает качество контроля удароопасности. Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение конструктивных параметров устройства по результатам испытаний, интеграцию сигналов акустической эмиссии в алгоритмы прогноза опасных зон, а также расширение области применения методики мониторинга на другие рудники с аналогичными горно-геологическими условиями.

Список литературы

1. Николенко, П.В. Использование нагрева для повышения чувствительности ультразвукового метода контроля напряжений в породном массиве / П.В. Николенко, В.Л. Шкуратник, М.Д. Чепур // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 11. – С. 159-168. – DOI 10.25018/0236_1493_2021_11_0_159. – EDN EWPQUT.

2. Бельтюков, Н.Л. Разработка скважинного метода измерения напряжений в массиве горных пород на основе эффекта Кайзера : специальность 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бельтюков Николай Леонидович, 2019. – 159 с. – EDN OZYMFZ.

3. Ломов, М.А. Перспективные методы оценки и контроля геомеханического состояния массивов пород / М.А. Ломов, А.В. Константинов, А.А. Терешкин // Проблемы недропользования. – 2019. – № 4(23). – С. 83-90. – DOI 10.25635/2313-1586.2019.04.083. – EDN KFBKKK.

4. Скулкин, А.А. Определение параметров действующего поля напряжений при ведении очистных работ методом измерительного гидроразрыва / А.А. Скулкин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 2, № 4. – С. 123-129. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-2-4-123-129. – EDN GXQAFW.

5. Определение главных напряжений в породном массиве методом гидроразрыва на северо-западном участке Таштагольского месторождения / А.А. Еременко, А.А. Скулкин, В.Н. Колтышев, В.С. Писарев // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 6(134). – С. 50-55. – DOI 10.56195/20793332_2024_6_50_55. – EDN DPONCA.

6. Раимжанов, Б.Р. Исследование геодинамического состояния массива горных пород с целью прогнозирования горных ударов / Б.Р. Раимжанов, А.Р. Хасанов, О.Э. Фарманов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 10. – С. 29-41. – DOI 10.25018/0236_1493_2021_10_0_29. – EDN PBSWUO.

7. Христолюбов, Е.А. Разработка способов предупреждения геодинамических явлений при разработке удароопасных месторождений / Е.А. Христолюбов, А.А. Еременко, В.Н. Филиппов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 169-175. – DOI 10.15372/FPVGN2020070126. – EDN PFWIIH.

8. Дмитриев, С.В. Развитие CAE системы численного моделирования НДС SIGMA GT / С.В. Дмитриев, И.Э. Семенова, А.А. Шестов // Цифровые технологии в горном деле : Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции, Апатиты, 13–16 июня 2023 года. – Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2023. – С. 13. – EDN NHUZUF.

9. Пантелеев, А.В. Методика визуальных наблюдений в подземных горных выработках на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам / А.В. Пантелеев, Э.В. Каспарьян, И.Э. Семенова ; Кольский научный центр РАН, Горный институт. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2020. – 68 с. – ISBN 978-5-91137-436-5. – DOI 10.37614/978.5.91137.436.5. – EDN HFQNOB.

10. Степанов, Г.Д. Применение компьютерных моделей нарушенности и напряженно-деформированного состояния массива для оценки устойчивости горных выработок / Г.Д. Степанов, А.В. Трофимов, А.В. Колганов // Горный журнал. – 2024. – № 12. – С. 5-10. – DOI 10.17580/gzh.2024.12.01. – EDN WSBQIH.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОМОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Трабер Н.С.
студент 5-го курса кафедры открытых горных работ и электромеханики, ФГБОУ ВО «СибГИУ», Новокузнецк, Россия, nikitatraber01@gmail.com

Научный руководитель: Садыков А.А.
к.т.н., доцент кафедры открытых горных работ и электромеханики, ФГБОУ ВО «СибГИУ», Новокузнецк, Россия

Аннотация. Обоснована методика определения годовой производительности гидромониторно-землесосных комплексов при разработке вскрышных пород. Разработана классификация четвертичных пород по пределу прочности на сжатие. Установлена зависимость длины рабочего участка струи гидромонитора от давления воды и прочностных свойств пород. Предложена методика расчета производительности, учитывающая технологические параметры и простои оборудования. Определены области рационального применения комплексов для различных групп пород. Результаты позволяют оптимизировать параметры гидромеханизации в конкретных горнотехнических условиях.

Ключевые слова: открытые горные работы, гидромеханизация, гидромониторно-землесосный комплекс, физико-механические свойства, классификация горных пород, осевое динамическое давление, длина рабочего участка струи гидромонитора, производительность гидрокомплекса.

Гидромеханизация является эффективным способом разработки вскрышных пород, особенно при отработке обводненных и налипающих пород, склонных к оползневым явлениям [1]. Гидромониторно-землессосный комплекс (ГЗК) включает гидротранспортную и насосно-гидромониторную установки [2]. Применение гидромониторно-землесосных комплексов (ГЗК) позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты благодаря относительно невысокой стоимости используемого оборудования. Однако эффективность работы ГЗК во многом определяется правильным выбором технологических параметров, соответствующих конкретным горнотехническим условиям. Существующие методики расчета производительности гидрокомплексов [3] не в полной мере учитывают физико-механические свойства разрабатываемых пород [4], что не позволяет достоверно определять рациональные параметры оборудования на стадии проектирования.

Целью работы является разработка методического подхода к определению годовой производительности ГЗК с учетом прочностных характеристик вскрышных пород и технологических параметров гидромеханизации.

Установлено, что определяющим фактором эффективности размыва пород является длина рабочего участка струи гидромонитора, которая зависит от давления воды на насадке и предела прочности пород на сжатие [5]. Для количественной оценки этого влияния разработана классификация четвертичных горных пород, включающая семь групп [6]. В отличие от ранее применявшихся эмпирических подходов, в основу классификации положен объективный критерий – предел прочности при одноосном сжатии, определяемый через угол внутреннего трения и сцепление пород [7, 8]. Диапазон изменения предела прочности составляет от менее 0,05 МПа для слабосвязных разрыхленных пород до более 0,55 МПа для тяжелых высокопластичных глин.

На основе выполненных исследований получена аналитическая зависимость для определения длины рабочего участка струи гидромонитора:

$$l = 18{,}0 + 21{,}0H_H - 50{,}0\sigma_{сж}, \text{м}, \quad (1)$$

где $H_н$ – давление на насадке гидромонитора, МПа; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа.

Анализ полученных результатов показывает, что для обеспечения производительной работы комплекса длина рабочего участка струи должна составлять не менее 30 м.

При меньших значениях значительно возрастает количество передвижек гидромонитора, что приводит к увеличению простоев оборудования и снижению годовой производительности [9, 10]. Расчеты, выполненные для различных групп пород при изменении давления от 1,0 до 2,0 МПа, позволили установить области рационального применения ГЗК.

Разработана методика расчета производительности ГЗК, учитывающая длину рабочего участка струи через шаг передвижки гидромонитора, количество передвижек в пределах блока и время отработки блока. Выполненные по предложенной методике расчеты (высота уступа 30 м, производительность грунтового насоса по гидросмеси 2000 м³/ч, применение шарнирного поворотного колена длиной 24 м) позволили получить диапазоны годовой производительности ГЗК.

Предложенный методический подход позволяет обоснованно выбирать параметры ГЗК в зависимости от прочностных свойств разрабатываемых пород и может быть использован при проектировании гидромеханизации. При проведении дальнейших исследований требуется установить степень влияния удельного расхода воды на размыв породы, его воздействие на процесс гидротранспортирования, что позволит определить технико-экономические показатели работы ГЗК.

Благодарности: *Исследование выполнено за счет средств ФГБОУ ВО «СибГИУ», договор № 124/2025/УНИ от 07.04.2025 г.*

Список литературы

1. Кононенко Е.А. Возможности и перспективы гидромеханизации на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 7. – С. 152-158.
2. Дробаденко В.П., Вильмис А.Л., Луконина А.А., Некоз К.С., Салахов И.Н. Апробация системы оперативного контроля режима работы гидрокомплексов на карьерах гидромеханизации // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 1. – С. 116-127.
3. Ялтанец И.М. Гидромеханизированные и подводные горные работы. – М.: Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – 716 с.
4. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах: утв. М-вом угольной пром-сти СССР 29.09.78. – М.: Недра, 1982. – 405 с.
5. Деревяшкин И.В., Садыков А.А. Научное обоснование способа промышленной добычи янтаря, предотвращающего его измельчение в забое // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 11. – С. 81-93.
6. Садыков А.А., Трабер Н.С. Методика расчета производительности гидромониторно-землесосных комплексов для обоснования его рациональных параметров / А.А. Садыков, Н.С. Трабер // Труды РАНИМИ. – 2025. – № 8(46). – С. 121-131. – DOI 10.24412/2519-2418-2025-846-121-131.
7. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Лазарев В.М., Чернышова Н.А. Общие вопросы инженерно-геологических изысканий при разработке открытым способом угольных месторождений Кузбасса // Сергеевские чтения. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий, Москва, 23–24 марта 2010 года. Выпуск 12. – М.: Московский университет Дружбы народов, 2010. – С. 465-470.
8. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы динамики струй при разрушении горного массива; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
9. Федотенко В.С. Гидромониторно-землесосные комплексы для открытой разработки месторождений полезных ископаемых: монография; под научной редакцией Е.А. Кононенко. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2024. – 511 с.
10. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1985. – 471 с.

УДК 623.4.082.6:004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАРЯДОВ С КУМУЛЯТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Федоров Н.Н.
инженер, АО НПОДАР, Москва, Россия,
НИТУ МИСИС, Москва, Россия,
nikolay20021604@gmail.com

Научный руководитель: Тимошенко А.В.
д.т.н., профессор,
Финансовый университет при Правительстве РФ,
Москва, Россия

Аннотация. В работе выполнен анализ существующей технологии контурного взрывания и особенностей геологического строения месторождений ЯАП, требующих его проведения. Выявлены недостатки существующей технологии контурного взрывания и возможности совершенствования за счёт внедрения в технологический процесс контурного взрывания кумулятивных зарядов.

Приводится описание разработанного в ходе выполнения дипломной работы специального кумулятивного корпуса, предназначенного для эффективного дробления горных пород по заданному направлению. Посредством цифрового моделирования проводится оценка его работоспособности, для чего применяются разработанный оригинальный метод на основе понятия вектора Умова, а также реализующие этот метод написанные программы ЭВМ. Приводится способ применения изделия и разработанных программ в горном деле при ведении работ на открытых и подземных горных выработках, выявляются направления дальнейших работ.

Результаты работы отражены в 1 научной публикации в издании, рекомендуемом ВАК Минобрнауки России, и 7 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ, выданных Федеральной службой по интеллектуальной собственности РФ.

Ключевые слова: контурное взрывание, устойчивость бортов карьера, сейсмическое воздействие, щель предварительного откола, экранирующая поверхность, буровзрывные работы, горнотехнические сооружения, гидротехнические сооружения, промышленные взрывы, подземные сооружения.

Введение. При строительстве в прочных скальных и полускальных породах требуется проведение буровзрывных работ, при этом актуальной является проблема сохранения устойчивости и ненарушенности горного массива, особенно за проектным контуром их ведения [1, 2].

Одним из основных и самых эффективных средств снижения сейсмического воздействия на законтурный массив горных пород при ведении буровзрывных работ считается использование сейсмических экранов, то есть сред с отличными от взрываемого массива акустическими свойствами на пути распространения сейсмических волн для снижения энергии взрыва, передаваемой в законтурный массив. Это позволяет гарантировать долговременную устойчивость в результате уменьшения взрывного разрушения за проектным контуром ведения взрывных работ [2, 3]. В свою очередь одним из самых доступных и распространённых способов создания экранирующей поверхности является контурное взрывание [4, 5]. При этом существует актуальная задача разработки способов снижения сейсмического воздействия на законтурный массив горных пород при проведении самого контурного взрывания [6, 7], так как недостатком современной технологии контурного взрывания является разрушающее воздействие

взрыва на законтурный массив горных пород [1, 8, 9] из-за применения зарядов всенаправленного действия.

Результаты. В ходе выполнения работы был разработан и спроектирован специальный кумулятивный корпус для промышленного заряда ВВ, изометрический вид на модель которого можно увидеть на слайде, корпус предназначен для эффективного дробления горных пород (или любой другой твёрдой среды) вдоль заданной плоскости и представляет собой цилиндрическую поверхность с симметричными кумулятивными выемками в диаметральной плоскости, ось симметрии которых проходит через ось симметрии корпуса. Кумулятивные выемки также представляют собой цилиндрические поверхности с направляющей параболического вида.

Заявляемое устройство работает следующим образом: внутрь корпуса загружается эмульсионное взрывчатое вещество (ЭВВ), при инициировании заряда происходит схлопывание кумулятивной облицовки с концентрацией (кумуляцией) энергии вдоль указанной плоскости с кратным повышением плотности энергии и давления по указанной оси, что формирует плоскую кумулятивную струю (так называемый кумулятивный нож) в плоскости отрыва, при этом происходит перераспределение энергии, что снижает воздействие взрыва на массив горных пород по другим направлениям.

Методы. При расчёте воздействия заряда с кумулятивным корпусом указанной конструкции на поверхность заряжаемой скважины (границе порода/скважина) и примыкающий к ней массив горных пород был применён метод, основанный на понятии вектора плотности потока энергии или вектора Умова [10]. Предлагаемый метод основывается на принятой автором модели, согласно которой при схлопывании кумулятивной оболочки по закону сохранения энергии (ЗСЭ) потоки энергии ударной волны, первоначально выделившийся при инициировании заряда, проходящие в каждый момент через поверхности схлопывания кумулятивной оболочки, равны.

Суть разработанного метода заключается в том, что в принятой модели можно перейти к понятию плотности потока энергии, характеризующийся вектором Умова $\vec{J_i}$, направленным по направлению переноса энергии, то есть по нормали к поверхности кумулятивной выемки или по направлению схлопывания кумулятивной оболочки, в каждой точке поверхности схлопывания, что математически можно записать как $\vec{J_i} \uparrow\uparrow \vec{S_i} \uparrow\uparrow \vec{\vartheta_i}$, и по величине равный потоку энергии взрыва через поверхность единичной площади, то есть скалярному отношению потока энергии через указанную поверхность к площади этой поверхности [10].

Обсуждение. Результаты математического моделирования, показали, что заряд, снаряжённый указанным кумулятивным корпусом, по сравнению с обычным зарядом стандартной цилиндрической формы всенаправленного действия таких же габаритов позволяет более эффективно проработать массив пород по заданному направлению и заметно снизить воздействие на законтурный массив.

Заключение. В ходе выполнения работы построена 3-D модель кумулятивного корпуса до уровня slt (solid lithography model), разработаны оригинальный метод оценки воздействия кумулятивного заряда на массив горных пород, а также программы ЭВМ, реализующие его, часть которых может быть интегрирована в ГГИС; посредством цифрового моделирования проведена оценка предлагаемого решения, показана возможность его применения в горном деле и специальном строительстве.

Список литературы

1. Naik Y. et al. Effect of engineered rock properties on blast-induced ground vibration-a state of art review //2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURISTIC AND SUSTAINABLE ASPECTS IN ENGINEERING AND TECHNOLOGY: FSAET-2021. – AIP Publishing LLC, 2023. – Т. 2721. – №. 1. – С. 030004.
2. Яковлев А.В., Шимкив Е.С. Проблемы постановки уступов в предельное положение // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 105-116. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_105
3. Deng K., Chen M. RETRACTED ARTICLE: Blasting excavation and stability control technology for ultra-high steep rock slope of hydropower engineering in China: A review //European Journal of Remote Sensing. – 2021. – Т. 54. – №. sup2. – С. 92-106.
4. С.Г. Оника, В.И. Стасевич, И.М. Ковалёва Разрушение горных пород взрывом // Электронный учебно-методический комплекс, Минск, 2016, с. 113.
5. Попов В.И., Несмеянов Б.В. Маркшейдерия и Недропользование. Журнал, 2001. – № 1. – С. 175.
6. Разработка технологии применения ЭВВ для взрывания скважин контурного ряда на заоткосных работах карьера НГОК АК «АЛРОСА» / В.А. Соснин, К.Е. Морозов, С.В. Ковалевич, Р.З. Гильманов // Взрывное дело. – 2020. – № 126-83. – С. 99-112. – EDN JBJWYX.
7. Jiang N. et al. Blasting vibration effect on the buried pipeline: a brief overview //Engineering failure analysis. – 2021. – Т. 129. – С. 105709.
8. Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера / С.Н. Жариков, И.Н. Тимофеев, Э.В. Гуленков, В.К. Бушков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 48-55. – DOI 10.21440/0536-1028-2018-1-48-55. – EDN YQNGLZ.
9. Жариков, С.Н. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 80-83. – EDN PXWLKD.
10. Комплексный метод оценки воздействия кумулятивного заряда на стенки скважины по результатам прогнозирования параметров ударной волны при помощи вектора Умова / Н.Н. Федоров, Е.А. Пафиков, Н.А. Архипова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2025. – Т. 21, № 4. – С. 45-50. – DOI 10.36622/1729-6501.2025.21.4.007. – EDN VHOEAL.

УДК 69

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКИХ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СРЕДНЕЭТАЖНЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Цветкова А.А.
аспирант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия, annatsvetkova2014@mail.ru

Научный руководитель: Рыбаков В.А.
д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, главный научный сотрудник, ООО «НТС-проект», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Объектом настоящего исследования являются легкие сталебетонные конструкции (ЛСБК) в составе несущего каркаса многоквартирных жилых домов . В работе описывается данная технология и оценивается возможность ее применения для возведения зданий средней этажности. Был проведен расчет трех пролетов 4-этажного здания в SCAD Office с приложением нагрузок по действующим нормам. В статье показывается, как повлияло включение пенобетона в расчетную схему на результаты расчета здания. Получено, что включение пенобетона привело к снижению внутренних силовых факторов более, чем на 15%. Сделан вывод, что возможно возведение зданий по данной технологии до 7-ми этажей.

Ключевые слова: легкие сталебетонные конструкции, среднеэтажные жилые дома, пенобетон, статический расчет

Введение. Поиск новых и совершенствование существующих способов возведения зданий и сооружений продолжался с незапамятных времен и продолжается по сей день. Одним из первых шагов на пути возведения зданий из стали стало появление железа в конце II тысячелетия до н.э. в Закавказье [1]. В дальнейшем металлическая промышленность прошла путь от доменного производства в XVI в до производства прокатных профилей в XX веке. Важной вехой в истории стального строительства стало применение холоднодеформированных стальных профилей для строительства зданий в США в середине XX века. Одной из первых таких построек стало здание международной выставки «Век прогресса», фотографическое изображение которого представлено на рисунке 1.



Рис. 1. Здание выставки «Век прогресса» (Международная выставка)[1]

[1] Designing Tomorrow: America's World's Fairs of the 1930s [Интернет-ресурс] – URL: https://designingtomorrow.wordpress.com/2011/01/26/the-legacy-of-modern-housing-part-two/ (Дата обращения:19.11.2025)

Холоднодеформированные стальные тонкостенные профили служат основой для возведения зданий по технологии легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Данная технология появилась в России в 90-х годах XX века и до сих пор по данной технологии возводились преимущественно индивидуальные жилые дома.

Основой технологии ЛСТК являются холодногнутые профили С-образного, направляющего (корытообразного), Z-образного и Ω-образного сечения (шляпные) толщиной 0.7-2.5мм. Сечения данных профилей представлены на рисунке 2; профили выпускаются в том числе с термопросечками (рис. 3), которые служат для ликвидации «мостиков холода».

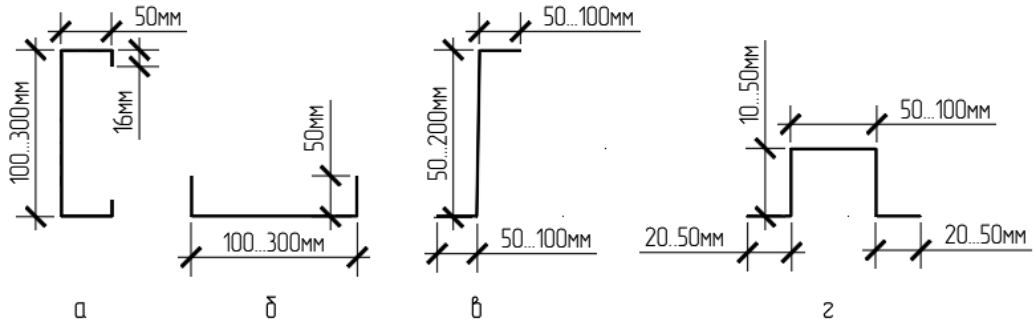


Рис. 2. Основные типы сечений легких стальных тонкостенных профилей:
а – С-профиль; б – направляющий профиль; в – Z – профиль; г – Ω – профиль

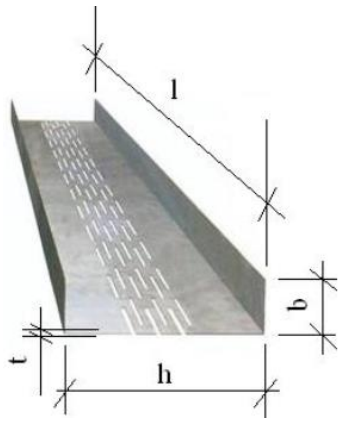


Рис. 3. Перфорированный тонкостенный профиль [2]

Из холодногнутых профилей возводят каркас стеновой панели, который требует утепления. Наиболее распространенным утеплителем является минеральная вата, однако также применяется пенобетон. Достоинствами пенобетона является то, что этот материал негорюч, не деградирует со временем, а также предотвращает коррозию стальных профилей. Технология, основанная на применении ЛСТК и пенобетона, получила название технологии легких сталебетонных конструкций (ЛСБК).

Ряд исследований, проведенных как российскими, так и зарубежными учеными, подтверждает, что пенобетон в конструкции работает совместно с тонкостенным профилем, предотвращая его депланацию. Такое исследование было проведено, в частности, коллективом авторов во главе с Яо Б.[3]. В исследовании [4] подтверждено, что легкие бетоны предотвращают потерю устойчивости стальных профилей. Аль Зубаиди в [5], проведя исследования коротких колонн, часть из которых была заполнена тяжелым бетоном, а часть – легким, подтверждает, что холодногнутые профили во всех случаях работали аналогично. Огнестойкость пенобетона также подтверждена [6].

В [7] приведены результаты экспериментального исследования стеновой панели, подтвердившего повышающий коэффициент условий работы профилей ЛСТК при совместной их работе с пенобетоном. Ряд авторов [8] также отмечают достоинства технологии совместного использования ЛСТК и пенобетона. Тем не менее, в литературе отсутствуют публикации, количественно оценивающие степень влияния пенобетонного заполнения на усилия в холодногнутых профилях, используемых в качестве стоек стеновых панелей в среднеэтажных зданиях. Данное исследование призвано восполнить этот пробел.

Методы. Выполним моделирование в SCAD Office трех пролетов 4х этажного многоквартирного здания. Размеры пролетов 3,7м, высота этажа 3,2м. Объемное изображение модели представлено на рисунке 4.

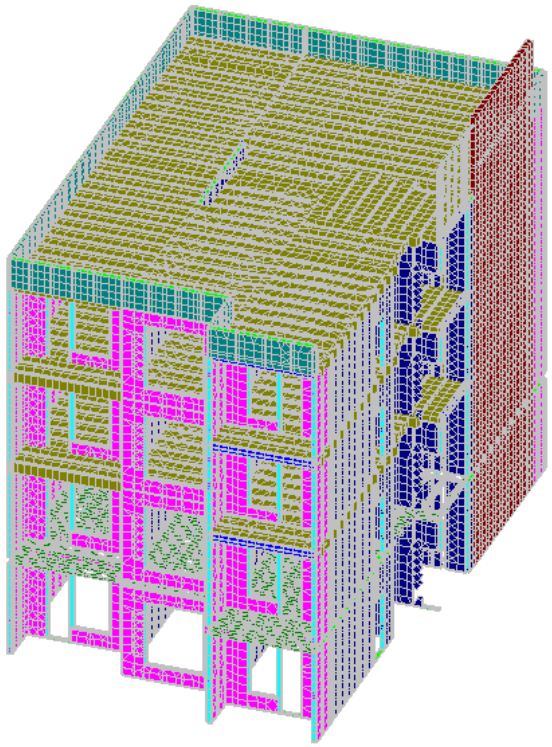


Рис. 4. Объемное представление модели в исследовании

Перечень основных компонентов модели с указанием жесткостных характеристик представлен в таблице 1.

Таблица 1

Жесткостные характеристики основных элементов модели исследования

Элемент	Тип конечного элемента	Сечение	Модуль упругости, МПа
Стойки стен	5 (пространственный стержень)	Сдвоенный с-профиль толщиной 1,5 мм, высотой 150 мм	$2{,}06 \cdot 10^5$ (сталь)
Пенобетонное заполнение стен	44 (пластина)	H=170 мм	400 (пенобетон плотностью 600 кг/м^3)
Балки перекрытий	5 (пространственный стержень)	Сдвоенный с-профиль толщиной 1,2 мм, высотой 300 мм	$2{,}06 \cdot 10^5$ (сталь)
Пенобетонное заполнение перекрытий	44 (пластина)	H=350 мм	400 (пенобетон плотностью 600 кг/м^3)

К модели были приложены регламентированные СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» нагрузки. Перечень приложенных нагрузок представлен в таблице 2.

Таблица 2

Нагрузки, приложенные к модели

Номер загружения	Наименование загружения
1	Собственный вес металлических конструкций и пенобетона
2	Нагрузка от веса конструкций кровли
3	Нагрузка от веса конструкций пола
4	Нагрузка от перегородок
5	Нагрузка от стен
6	Снеговая нагрузка
7	Статическая составляющая ветровой нагрузки
8	Пульсационная составляющая ветровой нагрузки

Был проведен линейный расчет модели.

Результаты. В результате расчета были получены значения внутренних силовых факторов от комбинации загружений C1=L1+L2+L3+L4+L5+L6+L8, представленные на рисунках 5-7.

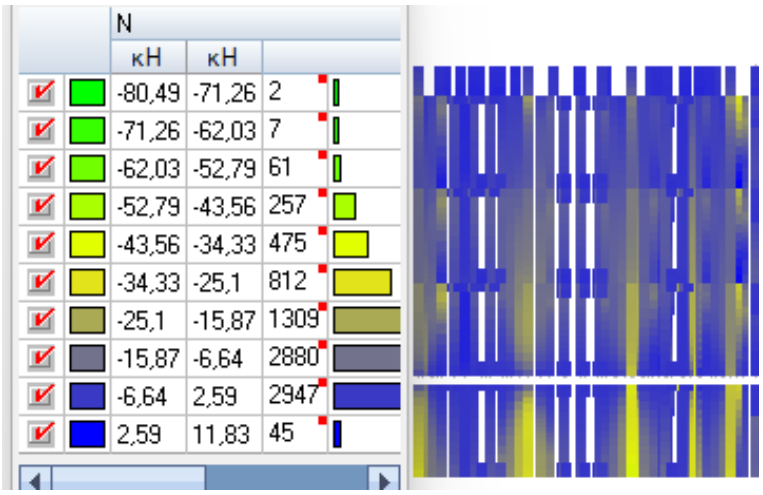


Рис. 5. Продольные усилия в стойках стен, кН



Рис. 6. Изгибающий момент My в стойках стен

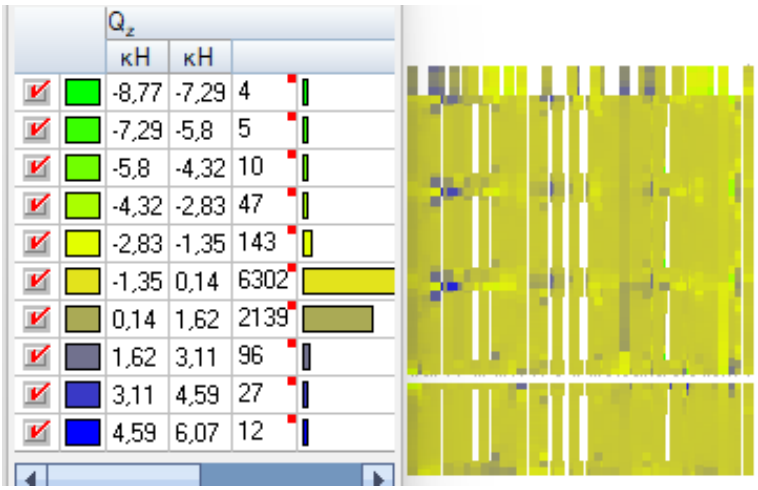


Рис. 7. Поперечная сила Qz в стойках стен

Обсуждение. Посмотрим, насколько включение пенобетона в расчетную схему повлияло на внутренние усилия в стойках. Для этого произведем аналогичный расчет, приняв модуль упругости пенобетона близким к нулю. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3

Максимальные усилия в стойках стен с учетом и без учета пенобетонного заполнения

Силовой фактор	Значение с учетом пенобетона, кН	Значение без учета пенобетона, кН	% снижения
Продольная сила N	80,49	98,05	-17,91
Изгибающий момент My	2,87	3,42	-16,08
Поперечная сила Qz	8,77	8,09	8,41

Как видим, учет в расчетной схеме пенобетона привел к снижению продольной силы и изгибающего момента более, чем на 15%. Небольшое увеличение значения поперечной силы можно объяснить особенностями моделирования.

Оценим величину нормальных напряжений по известной формуле сопромата (1) в стойках и сравним их с пределом текучести стали.

$$\sigma_s = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W} \quad (1)$$

Как правило, для сталей, применяемых в отрасли, это значение составляет 320 МПа. Результаты представим в таблице 4.

Таблица 4

Максимальные нормальные напряжения в стойках стен

Значение максимальных нормальных напряжений, МПа	Предел текучести стали, МПа	Коэффициент использования сечения
173,25	320	0,54

Следует отметить, что данная проверка является основной для ЛСБК, в связи с тем, что они не теряют устойчивость. Устойчивость может потерять только весь элемент совместно с пенобетоном. Коэффициент использования сечения по данному фактору составляет 0,54, что говорит о почти двухкратном запасе по прочности, следовательно, возможно возведение аналогичных зданий по технологии ЛСБК до 7-ми этажей.

Заключение. В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Показано, что применение пенобетона совместно с тонкостенными холодногнутыми профилями в составе несущего каркаса многоквартирного жилого дома приводит к снижению усилий в них более, чем на 15%.
2. Показано, что коэффициент использования стоек холодногнутых профилей 4-этажного многоквартирного жилого дома не превышает 0,54.
3. Показано, что исходя из проверки по нормальным напряжениям в стойках, возможно возведение многоквартирных жилых домов по технологии ЛСБК до 7-ми этажей.

Направления дальнейших исследований могут лежать в области расчета напряжений в пенобетоне и сравнения их с пределом прочности на сжатие пенобетона, изучения нелинейной работы пенобетона в конструкции, оценки других факторов, которые могут повлиять на возможность возведения среднеэтажных зданий по технологии ЛСБК.

Список литературы

1. Перельмутер А.В. Очерки по истории металлических конструкций. – М.: Издательство СКАД Софт, Издательский дом АСВ, 2015 – 256с.
2. Рыбаков В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011 – 208с.
3. Yao B. Shi Y. Wang W. Wang Q. Hu Z. Flexural behaviour of cold-formed steel composite floor infilled with desert sand foamed concrete// Buildings. 2023. 13(5). 1217. – DOI 10.3390/buildings13051217.
4. Qiao, W. Zhang X. Zhang H. Zhang L Feng H. Test study on eccentric compression of light steel concrete L-Shaped composite column in modular wall prefabricated building // Journal of construction steel research. 2024. Vol. 215. Art. No. 108514. – DOI 10.1016/j.jcsr.2024.108514.
5. Al-Zubaidi I. Abdel-Jaber M. Hunaiti Y.M. El-Nimri R. Behaviour of light gauge steel short columns filled with normal and lightweight aggregate concrete under concentric axial loading // Journal of applied engineering science. 2022. Vol. 20. Pp. 1040 – 1052. – DOI 10.5937/jaes0-35895.
6. Sulik P. Kukfisz B. Dowbysz A. Oszczak-Novinska A. Fire resistance of foamed concrete for discontinuous partition filling // Materials. 2024. 17. P.1315. – DOI 10.3390/ma17061315.
7. Rybakov, V. Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels. Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. 1(106), P.10602. – DOI 10.4123/CUBS.106.2.
8. Савенков А.И. Бессонова А.О. Прокопьевв В.А. Черепанов А.С. Каркас ЛСТК и пенобетон: повышение качества строительства жилья // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2024. № 11. С. 234-235.

Секция 6. МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР

УДК 622

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ БПЛА-СЪЁМКИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ CREDO 3D СКАН

Бабешин А.Е.
студент, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, a.babeshin@sibniigim.ru

Научный руководитель: Маглинец Ю.А.
кандидат технических наук, доцент, профессор, руководитель Научно-учебной лаборатории информационной поддержки космического мониторинга, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Аннотация. Одной из актуальных задач геодезии является оптимизация обработки данных фотограмметрии труднодоступной местности, при которой инженерные изыскания должны обеспечивать получение высокоточных пространственных данных в сжатые сроки. Цель работы – разработать алгоритм обработки фотограмметрических данных в программной среде CREDO 3D СКАН для автоматизации построения цифровой модели рельефа (далее ЦМР). Применён каскадный метод фильтрации неклассифицированного точечного облака. Удалось сократить время обработки облака точек на 30–40% без ущерба точности, построить непрерывные модели рельефа и автоматизировать векторизацию характерных линий.

Ключевые слова: обработка данных, фотограмметрия, труднодоступные территории, CREDO 3D СКАН, фильтрация данных, облако точек, цифровая модель рельефа, каскадный метод.

Для достоверного выделения земной поверхности в труднодоступной местности, а именно на земельных участках с густой растительностью, был создан и апробирован алгоритм обработки данных аэрофотосъемки, который объединяет методы фотограмметрического программного обеспечения и специализированных геодезических комплексов [1, 2].

Алгоритм обработки данных включает несколько этапов:

- экспорт облака точек из Agisoft Metashape в формате LAS для сохранения атрибутов;
- шестиступенчатая каскадная фильтрация (TIN+TIN, по размеру объекта, TIN+BPA, фильтрация изолированных точек, расчёт локальных плотностей, пороговый фильтр) – использование каскадного метода фильтрации обусловлено необходимостью достоверного выделения земной поверхности в условиях густой растительности [3];
- трехэтапная интерполяция для устранения пустот в облаке точек объекта;
- прореживание облака точек в зависимости от масштаба топографического плана;
- автоматизированное распознавание характерных линий рельефа с последующим ручным редактированием.

Апробация алгоритма проводилась на участке в Магаданской области общей площадью 5000 гектар (50 км^2), который характеризуется плотным лесным покровом. В ходе анализа объема работ было установлено, что применение метода камерального пикетирования по материалам АФС нецелесообразно, так как в условиях густой растительности

ручное пикетирование осложняется низкой видимостью земной поверхности и требует значительных временных затрат. По оценкам специалистов, набор пикетажа по АФС занял бы до 30 дней, поэтому было принято решение использовать автоматизированный подход. Благодаря применению программного комплекса CREDO 3D СКАН удалось векторизовать 55 000 характерных точек, выделить границы откосов и уступов, при этом общая длительность обработки заняла 7 дней. Таким образом, переход на цифровые методы позволил сократить сроки камеральных работ в 4,3 раза. Классификация облака точек и пошаговое применение каскада фильтров дали возможность изолировать земную поверхность от растительности и устранить пустоты в ЦМР.

Полученные результаты показывают высокую эффективность использования автоматизированного подхода в обработке данных фотограмметрии, так как традиционные методы зачастую непригодны для труднодоступных участков. Предложенный алгоритм обработки устраняет эту проблему с помощью дифференцированного подхода к объектам разных размеров и плотности. Интеграция ПО Agisoft Metashape и программного комплекса CREDO 3D СКАН дает возможность достоверно выделить земную поверхность даже под густым лесом, однако в процессе апробации удалось определить ограничения метода, например, необходимость ручной постобработки при распознавании характерных линий рельефа [4].

Результаты проделанной работы подтверждают, что оптимизация обработки данных фотограмметрии в программном комплексе CREDO 3D СКАН обеспечивает достоверное моделирование рельефа. Практическая значимость исследования заключается в создании методического регламента, использование которого позволит сократить время обработки данных на 77% без ущерба точности. Направление дальнейших исследований может быть связано с автоматизацией процесса и параметризацией фильтров в зависимости от типа местности с использованием методов машинного обучения.

*Выражаю **благодарность** «Сибирскому научно-исследовательскому институту горного и маркшейдерского дела» за предоставленный исходный материал для исследования, а так же научному руководителю Маглинец Юрию Анатольевичу за ценные советы и рекомендации.*

Список литературы

1. Возможности беспилотных авиационных систем для тематического картографирования лесных сообществ / Ю.С. Отмахов, С.А. Арбузов, Д.В. Осинцев, Д.В. Смирнов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Международ. науч. конгресс: Международ. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17-21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С.21-25.

2. Митрофанов Е.М., Шайтура Н.С., Залецкий А.В., Серебряков С.А., Липин И.Н. // Основы применения беспилотных аэрофотосъемочных систем. Бургас // Учебно-методическое пособие, Бургас: ИХНИИТ, 2023. – 125 с.

3. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. // Фотограмметрия и дистанционное зондирование. 2016. 297 с.

4. Тюкленова Е.П. // Фотограмметрия и дистанционное зондирование // Учебное пособие, Пенза: ПГУАС, 2016. – 112 с.

УДК 528.44

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ 3D-КАДАСТРА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Баева М.Н.[1], Нимаева А.З.[2]
[1] студент 2-ого курса, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, baevamr@mail.ru
[2] студент 2-ого курса, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, 2005aryna@gmail.com

Научный руководитель: Яковлева Н.Д.
старший преподаватель кафедры «Инженерная геодезия», Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Статья посвящена разработке технологии ведения 3D-кадастра линейных объектов транспортной инфраструктуры. Актуальность обусловлена ограничениями традиционного 2D-кадастра при учете многоуровневых развязок и протяженных сооружений. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта предложена технологическая схема, интегрирующая геодезические данные, лазерное сканирование и BIM-моделирование. Результаты направлены на повышение точности пространственного учета и создание цифровых двойников территорий.

Ключевые слова: 3D-кадастр, моделирование, линейные объекты, геоинформационные системы, геодезические измерения.

Введение. Рост плотности транспортной инфраструктуры (многоуровневые развязки, тоннели, эстакады) приводит к усложнению пространственного положения объектов. Традиционный 2D-кадастр не позволяет корректно учитывать пересечения на разных высотных уровнях и теряет данные об объемных характеристиках. Переход к цифровым моделям территорий и цифровым двойникам требует разработки новых подходов к кадастровому учету. В зарубежной практике (Нидерланды, Швеция, Австралия) [1, 2, 3] накоплен опыт внедрения 3D-кадастра на основе стандартов CityGML и интеграции с регистрационными системами. Однако Российской Федерации системные исследования по ведению 3D-кадастра для протяженных и пространственно сложных линейных объектов представлены фрагментарно. Соответственно целью исследования является разработка технологии ведения 3D-кадастра линейных объектов транспортной инфраструктуры.

Методы. Технология базируется на интеграции геодезических измерений (GNSS, тахеометры), лазерного сканирования (LiDAR) и BIM-моделей. Разработана технологическая схема из семи этапов: от сбора исходных данных до экспорта кадастровой модели [4, 5, 6]. В отличие от традиционного подхода, линейный объект предлагается представлять не плоским контуром, а объемным телом с фиксацией высотного интервала (от нижней отметки дорожной одежды до верхней отметки покрытия). Для автоматизированного выделения границ используется классифицированное облако точек, получаемое в ходе диагностики. Атрибутивная база расширена параметрами высотных отметок, объема и вертикальных габаритов.

Результаты. На основе анализа практики ФАУ «РОСДОРНИИ» [7], использующей лазерное сканирование с плотностью 3000-3500 точек/м² и георадарные профили, предложена технология, не требующая изменения полевых методик. Реализованы три ключевых компонента:

1. Способ представления объекта в виде объемного тела с установлением границ по высоте, что позволяет корректно учитывать многоуровневые пересечения.

2. Алгоритм преобразования данных лазерного сканирования в кадастровую модель при помощи автоматизированного выделения осевой линии и построения поперечных профилей.

3. Расширенная атрибутивная база, включающая в себя минимальную и максимальную высотную отметку, объем, вертикальные габариты, перечень пересекаемых земельных участков с указанием уровня расположения.

Обсуждение. Предложенная технология выступает связующим звеном между существующей практикой диагностики и перспективной системой 3D-кадастра. В отличие от решений, ориентированных на визуализацию, она обеспечивает преобразование уже собираемых пространственных данных в юридически значимую кадастровую информацию. Подход учитывает особенности российской нормативной базы и реально сложившиеся методики сбора данных [8, 9, 10].

Заключение. В ходе работы была разработана технология ведения 3D-кадастра линейных объектов транспортной инфраструктуры, основанная на объемном представлении объектов, интеграции геодезических и BIM-данных, а также автоматизированном формировании кадастровых характеристик из данных лазерного сканирования. Практическая значимость заключается в возможности применения технологии на основе уже собираемых данных, повышении точности учета и создании основы для цифровых двойников территорий. Перспективы развития связаны с совершенствованием нормативной базы и автоматизацией процессов.

Список литературы

1. Stoter, J.E., & van Oosterom, P.J.M. (2006). 3D Cadastre in an International Context: Legal, Organizational, and Technological Aspects. Boca Raton: CRC Press. 344 p. DOI: 10.1201/9781420005677.
2. Asghari, A., Kalantari, M., Rajabifard, A., & Shin, J. (2022). Developing an integrated approach to validate 3D ownership spaces in complex multistorey buildings. International Journal of Geographical Information Science, 37, 215–235. DOI: 10.1080/13658816.2022.2109159.
3. Kolpakova, O.P. (2020). Sovremennye metody gosudarstvennogo zemel'nogo nadzora za ispol'zovaniem i okhranoy zemel'nykh resursov [Modern methods of state land supervision over the use and protection of land resources]. Vestnik KrasGAU, 11(164), 24–29. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-24-29. [in Russian].
4. Гура, Д.Я. Перспективы применения воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки для обеспечения пространственными данными 3D-кадастра / Д.Я. Гура, Д.А. Ващенко, Д.А. Беспятчук, С.В. Самарин, С.К. Пшидаток. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – 16 марта.
5. Карибян, В.В. 3D-кадастр: перспективы внедрения и практическое применение / В.В. Карибян, И.Ю. Тропимов. – Текст: непосредственный // Геодезия и картография. – 2026. – 16 января.
6. Ган, И.В. Использование цифровой модели при проведении диагностики, паспортизации автомобильных дорог и разработке проектов организации дорожного движения [Электронный ресурс] / И.В. Ган. – URL: https://rosdornii.ru/upload/iblock/7cb/zuftih8et73r43tzy5b4q1bhv9ih2obn/Gan-I.V.-FAU-ROSDORNII-_final_fix.pdf (дата обращения: 21.03.2026).
7. ФАУ «РОСДОРНИИ» – Российский дорожный научно-исследовательский институт [Электронный ресурс]. – URL: https://rosdornii.ru/ (дата обращения: 21.03.2026).
8. Аврунев, Е.И., Н.В. Гатина, М.В. Козина, Разработка принципов для 3D-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры территориального образования – Текст : непосредственный // Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2022. – 13 мая.
9. Бударова, В.А. Содержание и практика формирования цифрового информационного пространства автотранспортной инфраструктуры / В.А. Бударова, Н.Г. Мартынова, А.В. Шереметинский. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – 15 октября.
10. Быков Л.В., Дычко А.А., Особенности построения модели рельефа при линейных изысканиях по материалам аэрофотосъемочных работ с БВС в лесостепной зоне // Геодезия и картография. – 2025. – № 1. – С. 2-9. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-2-9.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ: ИНСТРУМЕНТЫ, СТАНДАРТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Барабанова С.М.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, sBonya.2003@gmail.com

Научный руководитель: Скачкова М.Е.
кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В рамках проведенного исследования выполнен комплексный анализ применения информационного моделирования объектов недвижимости на всех этапах жизненного цикла. Основной акцент сделан на изучение и систематизацию инструментов и стандартов, используемых при различных процессах и этапах информационного моделирования. При анализе и обобщении зарубежного и отечественного опыта, а также современных тенденций в строительстве выявлены перспективы развития ТИМ, направленных на повышении эффективности использования и управления недвижимым имуществом. В результате исследования сформирована структурированная концепция применения информационного моделирования для объектов недвижимости с учетом их особенностей.

Ключевые слова: информационное моделирование, объект капитального строительства, объект недвижимости, жизненный цикл, BIM-технологии, цифровизация.

Введение. Цифровизация, затронувшая все сферы человеческой деятельности, не обошла стороной и строительную отрасль. В связи с этим свою значимость приобрела концепция информационного моделирования объектов капительного строительства (ОКС), которая позволяет управлять объектами недвижимости с применением новых подходов и принципов [1]. На сегодняшний день во многих странах применение технологий информационного моделирования для ОКС закреплено на законодательном уровне [2]. Лидером по использованию и соблюдению требований к информационному моделированию застройщиками является США (79%) и Китай (85%) [2]. Данный факт свидетельствует о важности изучения и анализа зарубежного опыта при внедрении концепций применения информационного моделирования.

Так, данное исследование нацелено на изучение и анализ принципов и методов информационного моделирования при управлении объектами капитального строительства на протяжении всех этапов их жизненного цикла.

Методы. В основе методологии исследования лежит комплексный подход, направленный на анализ, синтез и систематизацию ключевых аспектов развития информационного моделирования, а именно стандарты, инструменты и векторы развития. В рамках работы были изучены зарубежные и отечественные практики внедрения информационного моделирования в реализацию строительных проектов, а также проведен анализ нормативно-правовой документации и публикаций по теме исследования.

Результаты. Сейчас информационное моделирование[1] или Building Information Modeling (BIM) представляет собой комплекс из технологий и принципов в единой цифровой среде, в которой совместно реализуются все процессы на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства [3]. Благодаря этому обеспечивается наибольшая эффективность при реализации проектов.

Применение информационного моделирования происходит на всех этапах жизненного цикла объекта недвижимости. В современных условиях определение жизненного цикла можно рассматривать комплексно и обобщенно как совокупность стадий,

[1] СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» от 31.12.2020.

охватывающих различные состояния системы, начиная от задумки до ликвидации объекта капитального строительства [5]. Связано это прежде всего с тем, что многие стадии жизненного цикла происходят параллельно. Стоит отметить, что в зависимости от типа объекта недвижимости, стадии жизненного цикла будут отличаться (рис. 1).



Рис. 1. Жизненный цикл объектов недвижимости [4]

Структурирование, формализация и детализация процессов на каждом этапе жизненного цикла ОКС являются важным этапом информационного моделирования, поскольку это обеспечивает целостность данных и технологий, применяемых при реализации проектов (рис. 2) [6].

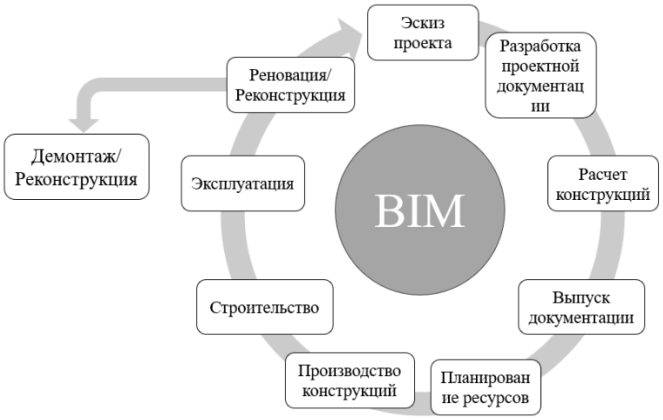


Рис. 2. Визуализация стадий информационного моделирования для ОКС [7]

Обсуждение. Результаты проведенного исследования подтверждают важную роль в цифровизации строительной отрасли. Одним из главных преимуществ информационного моделирования является работа в едином цифровом пространстве всех специалистов, разрабатывающих общий проект. Можно сказать, что внедрение информационного моделирования позволяет создать двойника непосредственного объекта строительства и протестировать его еще на этапе не просто строительства, а задумки [8]. Таким образом, информационная модель обеспечивает создание, поиск, добавление, обновление, извлечение, удаление и беспрепятственный обмен атрибутивными данными объекта недвижимости на протяжении всего его жизненного цикла [2].

[2] Mediastore-kazan.ru: Бесконечный жизненный цикл земельных участков – разрушение стереотипов и поиск правды // URL: https://mediastore-kazan.ru/a/beskonechnyj-zhiznennyj-cikl-zemelnyh-uchastkov-pravda-ili-mif (дата обращения: 18.01.2025)

В качестве перспективных направлений развития технологий информационного моделирования можно выделить цифровизацию градостроительной деятельности, развитие 3D кадастра и безопасности [9, 10, 11]. Так, интеграция BIM-моделей отдельных объектов в единую платформу моделирования территорий позволит перейти к управлению городскими ресурсами на основе устойчивых и объективных данных [9]. Создание же цифровых двойников объектов недвижимости и недр обеспечит не только более точный учёт, но и новые возможности для прогнозной аналитики [10, 11].

Заключение. Проведенный анализ научной литературы отечественного и зарубежного опыта по внедрению информационного моделирования для объектов недвижимости позволил сделать вывод, что эта концепция является не просто инструментом для визуализации объектов, а представляет собой передовую целостную систему процессов и принципов для управления ОКС. Дальнейшие исследования будут направлены на интеграцию этой концепции для озелененных городских территорий.

Список литературы

1. Семенов Д.Ю. Использование BIM-технологий в управлении недвижимым имуществом // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. №2. С. 166 – 170.
2. Adeniyi O., Thurairajah N., Leo-Olagbaye F. Rethinking digital construction: a study of BIM uptake capability in BIM infant construction industries // Construction Innovation. – 2022. – Vol. 24, No. 2. – P. 584-605.
3. Кужакова З.У., Байбурин А.Х. Обзор нормативной документации в области bim-моделирования в российской федерации // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Т. 20, № 3. С. 70–79. DOI: 10.14529/build200309.
4. Игнатьев А.В. Проблема содержания терминов, используемых при информационном моделировании объектов строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 2(91). – С. 256-262.
5. Аришков Д.В. Применение BIM технологий на различных этапах жизненного цикла объекта недвижимости // Аллея науки. 2020. Т. 2, № 1(40). С. 755-761.
6. Туманов С.Л. Гущина Ю.В., Макрушин Н.С. [и др.] Информационное моделирование на этапе планирования строительства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Т. 23, № 3. С. 30-36. DOI: 10.14529/build230304.
7. Цветков О.Ю., Васильева Е.А., Латин Я.М. Информационное моделирование в строительстве на современном этапе развития отрасли // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития: Материалы VIII on-line международной научно-практической конференции, Томск, 22–23 апреля 2021 года. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 424-430.
8. Juszczyk A. BIM in the construction process – selected problems at the stage of implementation in Polish road engineering // Archives of Civil Engineering. – 2022. – P. 623-633.
9. Skachkova M.E., Gureva O.S.. Information support of urban planning activities in Russia // Geodeziya i Kartografiya 2022. 83(8). P.45-55. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-986-8-45-55.
10. Demidova P.M., Kolesnik O.A., Fatin H.A. 3D Modelling in solution of cadastral and geodetic tasks // E3S Web of Conferences, 2020. 164, P.1–9. DOI: 10.1051/e3sconf/202016407014.
11. Глазунов В.В., Бурлуцкий С.Б., Шувалова Р.А., Жданов С.В. Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого склона на основе учета данных инженерной геофизики. Записки Горного института/ 2020/ 257/ С.771–782. DOI: 10.31897/PMI.2022.86.

ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЕСТРОВОЙ ОШИБКИ ПРИ ПРОЦЕДУРЕ ВЫНОСА ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА

Бартули А.А.
студент, ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет,
Россия, Барнаул, sovrikova_katya@mail.ru

Научный руководитель: Соврикова Е.М.
к.с-х.н. доцент, ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет,
Россия, Барнаул

Аннотация Статья посвящена актуальной теме на сегодня – обнаружение реестровой ошибки при проводимых кадастровых работах. В работе рассмотрен конкретный пример проведения выноса границ земельного участка и выявлению реестровой ошибки в процессе данной процедуры. Предложены мероприятия по исправлению сложившейся ситуации. Выявлены основные моменты ранее допущенных реестровых ошибок, при ранее проведенной съемке участков и их границ. Выявлена основная ошибочная точка участка, которая привела к неточностям в ЕГРН. Описана процедура подготовки к съемке участка в виде обнаружения ГГС и ОМЗ на местности.

Ключевые слова: земельный участок, точность, съемка, кадастровые работы, реестровая ошибка, вынос границ.

На сегодня существует очень много земельных участков которые имеют ранее учтенные границы в ЕГРН, при повторной работе с такими участками и их границами, могут обнаружится различные неточности, и ошибки в данных, например реестровые ошибки.

Реестровая ошибка – это ошибка, которая была перенесена в ЕГРН из документов, представленных в орган регистрации прав. Это может быть межевой или технический план, карта-план территории, акт обследования. Такие ошибки возникают из-за ошибок, допущенных кадастровым инженером, или из-за ошибок в документах, направленных в Росреестр [2] в порядке информационного взаимодействия [4].

Приведем пример работы по выносу границ и обнаружению реестровой ошибки при проводимой съемке точек.

Вынос границ участка в натуру – геодезическая процедура, направленная на восстановление границ земельного участка на местности на основе координат, зафиксированных в кадастровых и межевых документах. Результатом становится физическая привязка поворотных точек участка к реальному ландшафту с установкой опознавательных знаков — чаще всего колышков, которые фиксируют расположение границ на месте. Важно: если участок уже поставлен на кадастровый учёт, и координаты его границ числятся в реестре (ЕГРН), вынос в натуру не меняет их – он просто визуализирует существующие данные на физической местности [1, 7].

Описание проблемы. К кадастровому инженеру обратился заявитель с просьбой разобраться в проблеме и попросил вынести одну точку земельного участка в натуру. Он знал, что у него есть проблемы с границей на участке, подозревал что граница имеет ошибочные значения в ЕГРН [5, 7]. Ошибка заключалась, по его мнению, в том что, некая организация в своё время, неверно за координировала участки при межевании в его садоводстве, что привело к сдвигу нескольких участков относительно ранее установленных границ, которые были между соседями [7].

Определения границ земельных участков [3] были проведены по старым заборам, а уточнённые границы прошли с большим смещением от этих заборов и такая проблема по всему садоводческому товариществу [7]. Заявителю нужна была точка, которая является общей для трёх соседей также данная точка выносилась недавно, с использованием спутникового оборудования его соседом, который собрался ставить забор и выносил в натуру границы своего участка. Именно этот факт положения этой точки и заставил соседей попытаться разобраться в ситуации. так как их участки уменьшились относительно устоявшихся годами границ [5]. Так как поворотная точка сдвинулась к соседям, и по документам в том числе, есть ряд расхождений, у собственника участка возник вопрос, с ситуацией со смещением границ.

На рис. 1 представлены три земельных участка имеющие границы со смещением.



Рис. 1. Фрагмент схемы границ земельных участков со смещением границ

Эта ошибка связана непосредственно с полевыми работами при съемке, ведь не только измерения могут повлиять на местоположение поворотных точек [6], это зависит и от внесённой информации по границе между участками в базу ЕГРН [3], изначально.

Перед кадастровым инженером в данной ситуации стояла задача разобраться, если на самом деле ошибка при выполнении полевых работ ранее, на участке.

Кадастровый инженер начал работу со сбора информации запросил выписки из ЕГРН, и получил схему ранее снятого участка в 2018 году [6].

Далее последовали работы по определению пунктов, которые бы нам подошли, для выполнения работы. Одним ключевым моментом в ранее проделанной кадастровой работе межевания было то, что она проходила в 2018 году, и при съемке использовалась система координат 63 (зона 3), он в настоящий момент используется 47 (зона 2), и чтобы исключить ошибку за перевод координат из одной системы координат в другую мы должны в поле также посмотреть корректность перевода.

Для того чтобы проверить технические данные прибора в исходных пунктах, были определены координаты пунктов ГГС и ОМЗ в ближайшем садоводстве. Первый же угол на данном земельном участке, при съемке, дал понять, что есть смещение на 1,5 метров. Та же проблема стала проявляться на следующий поворотной точке. Действительно угол сильно сдвинулся в сторону дома. Следующая (3-я) поворотная точка совпала с выносам границ по документам и данным ЕГРН [3], тем самым мы убедились в правильном выполнении работ по этой точке [7].

Но первая сдвинутая точка, своей ошибкой повлияла на сдвижение границ сразу четырех соседних участков, и приходится разбираться, почему старые границы не соответствуют новому положению [7].

Кадастровый инженер уточняет границу участка, с учётом площади проходящей по документам [5], больше установленной площади по документам он дать не может. В одну сторону ошибка уходит по площади в среднем примерно на 1,20 м. и 30 см. Так же решено было проверить расположение зданий на участке [6]. На рис. 2 представлена схема расположения спорных уточняемых границ земельных участков и границ зданий на одном из них, при существующей застройки на год съемки [7]. Из общей картины при съемке объектов видно, что происходит сдвиг границы всех зданий на участке, а так же одно из зданий немного развернуто в право, комментарием от собственников было то что, у здания меняли фундамент и его сдвинули относительно положение 2018 года [7].

Смещение здания по координатам не отразилось на расстоянии от поворотной точки до угла, так как сдвиг из-за ошибки по краю фундамента наложения на дугу (рис. 2.), осуществлен таким образом, что угол от поворотной точки практически не удалился, именно поэтому, после промеров мы приходим к выводу, что именно ошибка одной (1-первой) точке участка привела к неверному формированию границ всего земельного участка, а так же зданий на нем [7].

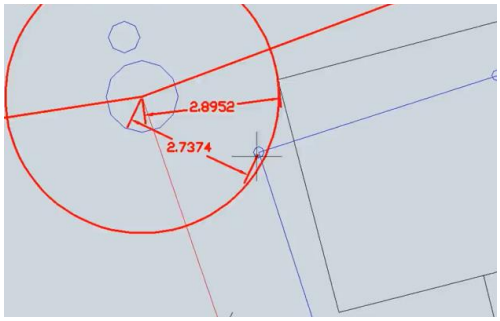


Рис. 2. Размеры расстояний от угла участка до угла основного здания

Сместившись почти на 1,5 метра границы первого участка, а раз участок сформирован первым то следующие участки должны формироваться с учётом его границ. Именно это объясняет смещение углов участка соседей при межевании их участков. Так как первый участок со сдвинутыми границами, был первый, то относительно него вокруг, стали формироваться остальные участки, и на самом деле все участки сдвинуты. Как итог несколько соседей недовольны текущим положением дел своих границ, так как она стала ближе к существующим строениям, что может потребовать смещение этих строений, согласно нормативного расстояния от границ.

В заключении хочется отметить, что при существующей ситуации ошибок в границах данного участка нужно делать контрольную съемку всех 4 участков в существующими строениям на них, и оформлять новые межевые планы. Так же брать согласие всех причастных соседей для исправления ошибок в ЕГРН, так как ранее учтенные границы должны быть сняты с учета и данные признанные неверными, тем самым придется аннулировать их в ЕГРН. Еще одной проблемой этой ситуации является, то что не все кадастровые инженеры берутся за такие затяжные и спорные дела.

Список литературы

1. О государственной регистрации недвижимости: ФЗ от 17.07.15 г. № 218-ФЗ. [электронный ресурс] / Режим доступа https://garant.ru. (дата обращения 08.01.2026)

Официальный сайт Росреестра [электронный ресурс] / Режим доступа https://rosreestr.ru. (дата обращения 08.01.2026)

2. Приказ Минэкономразвития от 20.11.2016г. №943 «Об установлении порядка ведения ЕГРН формы специальной регистрационной надписи на документе, и порядок изменения в ЕГРН сведении о местоположении границ земельного участка при исправлении реестровой ошибки».

3. Реестровая ошибка и кто ее исправит [электронный ресурс] / Режим доступа http://expert.ru/2013/07/17/disgarmoniya-rosreestra. (дата обращения 08.01.2026)

4. Соврикова Е.М. Реестровая ошибка в системе единого государственного реестра недвижимости [Текст] / Е.М. Соврикова // «Современному АПК -эффективные технологии»: материалы Междунар. науч-практ. конф. посвящ.90-лет.доктора с.х. наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, почет. раб. ВПО РФ В.М. Макаровой.– Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», 2018.- С.184-190.

5. Соврикова Е.М. Реестровые ошибки при кадастровых работах, как причина приостановлений в кадастровом учете [Текст] / Е.М. Соврикова // В сборнике: Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. 2020. С. 248-253.

6. Кадастр недвижимости: государственная регистрация прав на объекты недвижимости / Соврикова Е.М., Татаринцев В.Л. Барнаул, 2018.

7. Соврикова Е.М. Вынос границ земельного участка и обнаружение реестровой ошибки // Дневник науки. 2026. № 2 [Электронный ресурс]. URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2026/2/geoscience/Sovrikova2.pdf (Дата обращения 17.02.2026).

УДК 528.4

МЕТОДЫ КАДАСТРОВЫХ СЪЕМОК В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Быков А.А.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, antonspb@gmail.com

Научный руководитель: Скачкова М.Е.
к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Проведен анализ применяемых в современной системе кадастровой деятельности методов выполнения кадастровой съемки земельных участков и иных объектов недвижимости. Определены нерешенные проблемы кадастровой деятельности. На основе изучения инновационного и практического опыта раскрыта актуальность применения беспилотных летательных аппаратов для целей выполнения кадастровых работ на значительных по площади территориях. Сформулированы цель и задачи будущего исследования.

Ключевые слова: кадастр, геодезия, земельный участок, спутниковые измерения, фотограмметрический метод, межевание, кадастровые работы.

В настоящее время в России процедура определения координат поворотных точек границ земельных участков, выполняемая в процессе кадастровой съемки, основана, главным образом, на применении метода спутниковых геодезических измерений, что эффективно в условиях работ с единичными земельными участками, но не при проведении кадастровых работ в отношении значительных по площади территорий. В связи с этим целью данного исследования является оценка результатов практического применения различных технологий кадастровой съемки для обоснования наиболее перспективных направлений совершенствования этого процесса. Для достижения указанной цели в работе использованы теоретические методы исследования, включая анализ, синтез, аналогий и другие. Результаты обобщены и представлены в формализованном виде.

Исследованием технологий, с помощью которых, можно получить удовлетворяющие точности координаты объектов недвижимости для кадастровых целей, занимаются исследователи разных стран. Одним из применяемых методов является геодезический метод, например, во Вьетнаме наиболее популярным является тахеометрический. Truong Q.H. применил его для кадастрового картографирования Кат-Тринь коммуны, округа Фу-Кат, провинции Бинь-Динь, результатом чего стали схема геодезической сети с 425 точками и кадастровая карта на площадь 4865,20 га [6]. Анализ применения метода спутниковых геодезических измерений провела Ходенева В., которая доказала, что использование ГНСС-оборудования сокращает время на межевание земельного участка с нескольких дней до нескольких часов, более высокая точность позволяет на 50 % избежать конфликтов между правообладателями земель, а экономическая эффективность проявляется в снижении затрат [1]. Практические работы по использованию ГНСС аппаратуры для межевания проводятся уже достаточно давно и, по мнению Логинова С.А., подтвердили свою эффективность по сравнению с традиционной геодезической съемкой [2]. Итальянскими исследователями Dardanelli G. и Maltese A. проведен анализ точности позиционирования 60 кадастровых отметок (обследование выполнялось ГНСС NRTK с методом бокового смещения), расположенных в Палермо (Италия), по отношению к официальным картам, составленным кадастровым бюро и местной службой картографии, и к картам Google Earth. Результаты показывают сантиметровую точность, как в плане, так и по высоте, в то время как точность, полученная с помощью геопривязки, показывает различия порядка 0,4-0,8 м [3]. Применение картометрического метода вызывает дискуссии в связи

с получением неоднозначных результатов точности. Так, Tauchman M. и Janata T., в результате тестирования картометрического метода на выбранных кадастровых районах в Чехии получили разную степень точности кадастровых карт, в некоторых районах высокую, в других, особенно в периферийных районах или в отношении линейных участков, наоборот [4]. Аэрофотограмметрия в кадастровых съемках является давно известной темой. K. Weismann в 1971 году в своей статье описывал развитие фотограмметрии в швейцарском кадастре, согласовывая друг с другом наземные и фотограмметрические измерения [9]. В 1983 году I.P. Williamson публикует статью, освещая использование методов наземной и фотограмметрической съемки для кадастра [10]. Позже O. Demir, B. Uzun, и M. Çete, (2008 год) показали использование на примере Турции графических, фотограмметрических, ортогональных и тахеометрических методов измерения границ земельных участков [11]. В этих публикациях освещалась классическая аэрофотограмметрия, которая больше подходит для создания топографические карт, чем для кадастровых съемок. К такому же выводу пришли многие исследователи, поскольку по объективным результатам фотограмметрический метод не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кадастровым данным. Однако применение фотограмметрического метода в кадастре до сих пор является актуальной темой. Учеными из Тайваня S.H. Chio и K.W. Hou подтверждена возможность использования наземного сканера LiDAR, системы LiDAR на базе транспортного средства для детальной городской кадастровой съемки [7]. Подобную практику реализовали и малазийские авторы F.A. Zakaria, M.H. Mohd Yatim и др., углубившись в потенциальные различия в точности измерений площади при сравнении традиционных методов тахеометрии с наземным лазерным сканированием в условиях Малайзии [8]. В последние годы наметилась новая тенденция получения данных для кадастра, с использованием аэрофотоснимков, сделанных с помощью БПЛА. Такая техника называется БПЛА фотограмметрией. Как выше было отмечено, аэрофотограмметрия использовалась в прошлом для кадастровых обследований, но их точность не удовлетворяла требованиям. Это связано с тем, что использовались самолеты, а высота их полета была слишком высокой, но если используется БПЛА, можно осуществлять съемку с меньшей высоты и захватывать больше деталей [12]. По сравнению с ранее применяемыми пилотируемыми летательными аппаратами сегодня использование БПЛА обладает большими преимуществами, среди которых небольшие габариты, низкая стоимость самих БПЛА и работ, выполняемых с их применением, по сравнению с использованием пилотируемой авиации, достаточно высокая маневренность, возможность их применения на больших территориях и в сложных условиях и т.д. В работе Mantey S. и Tagoe N.D. были сравнены координаты граничных точек участков на территории Горного университета (Гана), которые получены с помощью БПЛА и GNSS для подготовки кадастровых планов. Их различия находятся в пределах допуска, установленного Отделом геодезии и картографии (SMD) Земельной комиссии Ганы [5]. В 2025 году потенциал фотограмметрического метода на основе БПЛА или БАС для использования в задачах кадастровой съемки был изучен в рамках исследовательского сотрудничества с Университетом Хафенсити в Гамбурге и Государственным управлением геодезии и геоинформации земли Шлезвиг-Гольштейн в Эльмсхорне, Германия. Несмотря на признанные преимущества этого метода съемки в различных геодезических аспектах, среди немецких кадастровых органов сохраняются сомнения из-за узкого охвата предписанных рекомендаций. Поэтому исследователи Kersten T.P. , Preuß F., Teten D. И Lindstaedt M. провели практические испытания и сравнили использование БПЛА с классической съемкой зданий с использованием тахеометра. Ими сделан вывод о нецелесообразности метода в условиях съемки одного здания, но при этом об эффективности при съемке комплекса зданий или территорий застройки [13].

На основе проведенного анализа можно заключить: одной из наиболее актуальных проблем последнего десятилетия, которая замедляет процесс выполнения кадастровых

работ, является отсутствие единой электронной картографической основы; даже использование современного оборудования для кадастровой съемки не исключает ошибок в координатах характерных точек границ недвижимости, несоответствие их действующим требованиям точности, пересечение границ смежных участков; почти во всех странах мира для кадастровых съемок до сих пор используются традиционные методы и метод спутниковых геодезических измерений или их комбинации, но тестирование применения новых фотограмметрических методов стало одной из актуальных тем научных исследований; отсутствие четкой унифицированной технологии кадастровой съемки с применением БПЛА приводит к удорожанию работ на значительных по площади территориях. Применение классической аэрофотограмметрии больше подходит для топографических, чем для кадастровых съемок, в то время как БПЛА фотограмметрия, сможет обеспечить более высокую необходимую для кадастра точность. Несмотря на имеющиеся научные разработки, проблема использования БПЛА при проведении кадастровых работ комплексно не решена, поэтому возникает необходимость разработки указанной технологии для применения на значительных по площади территориях.

Список литературы

1. Ходенева, В. Методы и технологии межевания земельных участков / В. Ходенева // Научный аспект. – 2024. – Т. 67, № 5. – С. 9084-9106.
2. Логинов, С.А. Исследование точности Государственной геодезической сети на территории Московской области с использованием Спутниковой системы (проект Москва) / С.А. Логинов, В.В. Бойков, В.П. Рогозин, М.А. Монахова // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 23-28.
3. Dardanelli, G. On the Accuracy of Cadastral Marks: Statistical Analyses to Assess the Congruence among GNSS-Based Positioning and Official Maps // G. Dardanelli, A. Maltese // Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – 4086. – DOI: https://doi.org/10.3390/rs14164086.
4. Tauchman, M. Positional accuracy of cadastral maps digitized from the stable cadastre system / M. Tauchman, T. Janata // Stavební obzor – Civil Engineering Journal. – 2024. – Vol. 33. – No. 2. – P. 153–167. – DOI: 10.14311/CEJ.2024.02.0011.
5. Mantey, S. Suitability of Unmanned Aerial Vehicles for Cadastral Surveys / S. Mantey, N.D. Tagoe // Ghana Mining Journal. – 2019. – Vol. 19. – No. 1. – P. 1 – 8. – DOI: 10.4314/gm.v19i1.1.
6. Truong, Q.H. Techniques of Surveying and Cadastral Mapping in Vietnam / Q.H. Truong, Ma Cai Xue, He Li Yuan // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2015. – Vol. 7, No. 2. – 1ISSN 2250-3153.
7. Chio, S.-H.; Hou, K.-W. Application of a Hand-Held LiDAR Scanner for the Urban Cadastral Detail Survey in Digitized Cadastral Area of Taiwan Urban City. Remote Sens. 2021, 13, 4981. https://doi.org/10.3390/rs13244981.
8. Zakaria, F.A. Utilizing Terrestrial Laser Scanning Dataset for Cadastral Surveying / F.A. Zakaria, M.H. Mohd Yatim, M.F. Mohd Ariff, A.F. Razali, L.C. Tan, H. Abdul Hamid // Journal of Advanced Geospatial Science and Technology. – 2024. – Vol. 4. – No. 2. – P. 205-230. – DOI: 10.11113/jagst.v4n2.79.
9. Weismann, K., 1971, Photogrammetry applied to cadastral survey in Switzerland, The Photogrammetric Record, Vol. 7(37), pp. 5–15
10. Williamson, I.P., 1983, Cadastral survey techniques in developing countries – with particular reference to Thailand, Australian surveyor, Vol. 31(7), pp. 496–512.
11. Demir, O., Uzun, B., Çete, M., 2008, Turkish cadastral system, Survey Review, Vol. 40(307), pp. 54–66
12. Kysel, P. Cadastral Survey of a Fishpond Using UAV Photogrammetry Cadastral Survey of a Fishpond Using UAV Photogrammetry / P. Kysel, L. Hudecova // Conference: Cadastral Survey of a Fishpond Using UAV Photogrammetry. – 2021.
13. Kersten, T.P. UAV/UAS Photogrammetry for Use in Cadastral Surveying, Int. Arch. Photogramm / T.P. Kersten, F. Preuß, D. Teten, M. Lindstaedt // Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-M-6-2025. – 2025. – P. 169–175. – DOI: https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-6-2025-169-2025.

УДК 332.368

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Воронецкая В.В.
аспирант кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, s245055@stud.spmi.ru

Научный руководитель: Быкова Е.Н.
д.э.н., заведующий кафедры землеустройства и кадастров, профессор,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Решение проблемы негативного влияния крупных полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) на среду обитания человека входит в ряд приоритетных задач для России. Негативное влияние полигонов ТКО приводит к загрязнениям атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод, распространению неприятного запаха, а также к загрязнениям прилегающих земель. Целью исследования является определение перечня характерных показателей химического загрязнения почв селитебных территорий в зоне влияния полигонов ТКО и обоснование методики пробоотбора почв для их оценки. Наиболее опасными и вероятными почвенными загрязнителями определены тяжелые металлы: Cu, Ni, Zn, Co, Pb, Sn, Sb, Cd, As, Hg. В работе рассмотрено негативное влияние на примере трех полигонов ТКО, расположенных в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, и обосновано применение различных методик пробоотбора почв: метод координатной сетки, радиально-лучевой и выборочный методы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, среда обитания, убытки, оценка, почвенные пробы, фильтрат, свалочный газ, экология, пробоотбор.

Введение. Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО), являясь экологически опасными объектами, включены в программу по ликвидации накопленного вреда в рамках национального проекта России «Экологическое благополучие». Негативному влиянию полигонов ТКО на состояние сопредельных сред: атмосферного воздуха, почв, грунтовых и подземных вод и т.д. посвящены многочисленные исследования. Целью исследования является определение характерных показателей химического загрязнения почв селитебных территорий в зоне влияния полигонов ТКО, а также обоснование методики пробоотбора почв для их оценки.

Методы. Проведен анализ нормативно-правовых актов, методических указаний и научных статей по вопросу определения наиболее вероятных показателей, характеризующих химическое загрязнение почв [1, 2, 3]. Использованы теоретические методы обобщения, систематизации, абстрагирования и метод выдвижения гипотез. Влияние негативных факторов и методы пробоотбора почв рассматриваются на примере трех полигонов ТКО: ПТО-3 «Новоселки» в г. Санкт-Петербург, «Новый Свет-ЭКО» в Гатчинском районе Ленинградской области и «Северная Самарка» во Всеволожском районе Ленинградской области.

Результаты. Основными показателями химического загрязнения почв в результате исследования определены тяжелые металлы: Cu, Ni, Zn, Co, Pb, Sn, Sb, Cd, Cr, Ag, Mn, Hg [1, 4, 5]. Выделены наиболее значимые экологические факторы в зависимости от вида разрешенного использования земель, расположенных вблизи полигона ТКО. Так, для земель сельскохозяйственного назначения особо значим фактор загрязнения почв, для земель, предназначенных для размещения многоквартирных домов, определяющим будет присутствие неприятного запаха и загрязнение атмосферного воздуха, а для земель индивидуальной жилой застройки и садово-огородных земель, – все указанные выше

факторы. Для проведения пробоотбора почв в зоне влияния полигона «Новый Свет-ЭКО» обоснован метод координатной сетки, для полигона «Северная Самарка» – радиально-лучевой метод, а для ПТО-3 «Новоселки» – выборочный метод [6, 7].

Обсуждение. Для определения характерных показателей химического загрязнения почв использованы различные нормативные источники: данные по классам опасности химических веществ, попадающих в почвы от выбросов, отбросов и отходов; перечень химических элементов, накопление которых возможно в почве в зонах влияния ТКО; перечень химических веществ, на которые установлены нормативы ПДК и допустимые уровни содержания по показателям вредности. Кроме того, учитывались показатели, обнаруженные в почвах вблизи полигонов ТКО другими исследователями. Выбор метода пробоотбора с помощью координатной сетки связан с присутствием вокруг территории исследования большого количества различных промышленных объектов, помимо полигона ТКО; радиально-лучевой метод выбран в случае преобладания негативного влияния только полигона ТКО; выборочный метод используется при проведении мониторинга закрытого полигона на стадии рекультивации.

Заключение. Полигоны ТКО, как объекты накопленного вреда, представляют угрозу загрязнения окружающей среды даже после закрытия и рекультивации. Факторы негативного воздействия варьируются в зависимости от близости расположения селитебных территорий, наличия других объектов инфраструктуры, особенностей рельефа, наличия растительности и т.д. В связи с чем, для оценки загрязнения почв могут быть использованы разные методы пробоотбора. Результаты дельнейших исследований могут быть использованы для развития системы индивидуальной оценки объектов недвижимости, для разработки методики оценки убытков правообладателей таких объектов [8, 9], а также для определения размеров санитарно-защитных зон. Для подтверждения выдвинутой гипотезы планируется проведение лабораторных исследований отобранных почвенных проб.

Список литературы

1. Жаббаров З.А., Атоева Г.Р., Сайитов С.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами вокруг полигона твердых бытовых отходов города Ташкента // Научное обозрение. Биологические науки. – 2021. – № 2. – С. 17-23. – EDN VWWQBA.
2. Бузина И.Н., Пузик В.К. Состояние почв и оценка окружающей среды вокруг полигона твердых бытовых отходов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 102-106. EDN ZGCHQD.
3. Пашкевич М.А., Бек Дж., Матвеева В.А., Алексеенко А.В. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 125-130. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125.
4. Цехмистер, Е.Н. Эколого-геохимическая оценка поверхностных грунтов рекультивационного покрытия полигонов тко и прилегающих территорий (г. Санкт-Петербург) // Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений : Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 24 марта 2020 года. Том Выпуск 22. – Москва: РУДН, 2020. – С. 164-170. EDN HZCRTF.
5. Ашихмина Т.В., Каверина Н.В., Куприенко П.С. Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла // Региональные геосистемы. – 2020. – № 44(3). – С. 343–358. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358.
6. Быкова Е.Н., Баникевич Т.Д. Обоснование способа отбора почвенных проб для оценки их качества при проведении кадастровой оценки земельных участков на территории Санкт-Петербурга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2024. – Т. 68. – № 3. – С. 83–98. DOI: 10.30533/GiA-2024-025.
7. Тихонова А.А., Иванцова Е.А., Половинкина Ю.С. и др. Формирование модели отбора проб на основе разноуровневой триангуляционной сети для организации мониторинга городских почв // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 3. – С. 6–13.
8. Быкова Е.Н. Государственное регулирование негативных инфраструктурных экстерналий в системе земельных отношений // Вопросы экономики. – 2024. – № 2. – С. 125-144. DOI 10.32609/0042-8736-2024-2-125-144.
9. Bykowa E.; Voronetskaya V.A Compensation Strategy for the Negative Impacts of Infrastructure Facilities on Land Use // *Sci.* 2025. № 7. С. 95. https://doi.org/10.3390/sci7030095.

УДК 332.622

ПЛАТФОРМА РЫНОЧНОЙ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ

Воронова А.И.
магистрант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия, voronova.anastasiya99@yandex.ru

Научный руководитель: Волкова Я.А.
кандидат технических наук, и. о. заведующего кафедрой геодезии, землеустройства и кадастров, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Кадастровая стоимость является базой для определения налога на имущество в отношении большинства видов объектов недвижимости. Именно поэтому соразмерность налогового бремени находится в зоне интересов как государства, так и правообладателей недвижимого имущества, так как, в случае наличия возражений, последние имеют право на оспаривание кадастровой стоимости. Процедура оспаривания кадастровой стоимости характеризуется длительностью и высокими финансовыми расходами, вследствие чего предварительно необходима оценка экономической целесообразности таких мер – именно эту задачу успешно решит разрабатываемая платформа, позволяющая провести рыночную экспресс-оценку объектов недвижимости.

Ключевые слова: кадастровая стоимость, налоговая база, оспаривание кадастровой стоимости, доходный подход, арендопригодная площадь, судебная практика, коммерческая недвижимость.

Введение. Согласно официальной статистике, представленной на сайте Росреестра, за период с 01.01.2025 по 30.09.2025 в судах на территории всей страны инициировано 2909 споров в отношении внесенной в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) кадастровой стоимости 4 386 объектов недвижимости. В результате вынесенных в судебном порядке решений, во-первых, зафиксировано установление кадастровой стоимости в размере рыночной стоимости объекта недвижимости; во-вторых, суммарное снижение величины кадастровой стоимости составило 33%. Эта статистика продолжает тенденцию оспаривания кадастровой стоимости в последние годы (Таблица 1) и свидетельствует о том, что результаты массовой кадастровой оценки имеют потенциал оспаривания.

Таблица 1

Судебная практика. Снижение результатов государственной кадастровой оценки на территории РФ

Снижение кадастровой стоимости	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
- в абсолютном выражении (млрд. руб)	228	249	191	121	150
- в %-тном выражении	52%	46%	39%	28%	32%

Основным документом для пересмотра результатов государственной кадастровой оценки является отчет о независимой рыночной оценке объекта недвижимости. При этом частой причиной отказа в установлении кадастровой стоимости объекта недвижимости в размере его рыночной стоимости становится некорректный подбор объектов-аналогов. Для сегмента коммерческой недвижимости решить указанную проблему предлагается созданием алгоритма автоматизированного подбора максимально схожих объектов-аналогов по характеристикам, учитываемым в индивидуальной оценке,

на базе платформы рыночной экспресс-оценки коммерческой недвижимости. Создание платформы представляет собой объективную необходимость, обусловленную современными потребностями субъектов малого и среднего бизнеса в инструментах по оптимизации расходов, в т.ч. возросшей с 01.01.2026 налоговой нагрузки.

Отмечается общая заинтересованность всех участников рынка, включая государство, в цифровизации процессов кадастровой и рыночной оценки недвижимости, что соответствует приоритетам реализуемого в 2025-2030 гг. национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства», в рамках которого оценка имущества выделена как приоритетный сектор [1]. Цель, преследуемая всеми заинтересованными сторонами, – в повышении прозрачности и точности результатов оценки.

На государственном уровне Компания «БФТ» по заказу публично-правовой компании «Роскадастр» и ПАО «Ростелеком» осуществляет разработку Национальной системы пространственных данных (НСПД). Параллельно, на российском рынке разрабатывается ряд стартап-проектов, осуществляющих оценку коммерческой недвижимости сравнительным подходом («Гисанда», «Nedvision.AI»). На международной арене лидерами среди онлайн-сервисов оценки недвижимости признаны платформы Zillow, Realtor.com [2], а также компании, использующие ИИ-алгоритмы – HouseCanary, CoreLogic [3].

Цель исследования – разработка платформы на территории Санкт-Петербурга с автоматизированным алгоритмом расчета рыночной стоимости коммерческой недвижимости доходным подходом, учитывающим процент арендопригодной площади доходного объекта, что является отличительной особенностью данной разработки.

Методы. Платформа, создаваемая в рамках студенческого стартап-проекта на базе Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, включает в себя методику отбора аналогов, разработанную к.т.н. А.А. Слуцким[1] на основе расстояния Махолонобиса, которое предусматривает измерение сходства между векторами случайных величин в многомерном пространстве. Положительный опыт применения данной меры расстояния изложен научным профессором, д.э.н., главным научным сотрудником Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского Малкиной М.Ю. [4]. Международные исследования также свидетельствуют, что расстояние Махолонобиса является универсальной мерой с прочной статистической основой [5].

В алгоритм расчетов платформы заложен доходный подход, как наиболее применяемый для оценки коммерческой недвижимости. Алгоритм платформы нацелен на сужение количества объектов выборки до количества наиболее схожих аналогов для последующего минимального применения корректировочных коэффициентов, которые снижают точность результата оценки [6]. Государственная кадастровая оценка объектов капитального строительства на территории Санкт-Петербурга осуществляется каждые два года, что обеспечивает стабильность целевого рынка платформы.

Результаты. За время работы над проектом проанализированы конкуренты, получены результаты конкурентов по расчету рыночной стоимости на примере конкретного объекта в Санкт-Петербурге.

В части разработки собственного продукта – создан программный интерфейс (набор API) (внешние источники данных о характеристиках объектов – сведения из ЕГРН, Региональной геоинформационной системы, некоммерческого веб-картографического проекта). Кроме того, протестирован алгоритм подбора объектов-аналогов для последующей автоматизации расчетов внутри платформы.

[1] https://rusvs.ru/analytics/338.shtml

Обсуждение. Автором проанализировано развитие государственной кадастровой оценки на территории Санкт-Петербурга с 01.01.2017 по настоящее время, собрана статистика досудебного[2] и судебного[3] оспаривания результатов Государственной кадастровой оценки на территории Санкт-Петербурга, выявлен потенциал оспаривания, что подтверждает необходимость объективной рыночной оценки, автоматизировав которую можно избежать субъективного подхода в подборе заведомо неудачных объектов-аналогов «под запрос» собственника, обратившегося в индивидуальную оценку. Объективная рыночная оценка также должна снять скептическое отношение суда к полученному результату оценки в рыночном отчете и, как следствие, снизить количество назначенных повторных экспертиз.

Заключение. Значимость создаваемой платформы с научной точки зрения – проанализировать результат автоматизированной рыночной оценки, в основу которой положен алгоритм, ранее не применяемый на практике. Собственник, основываясь на результате экспресс-оценки, сможет в короткие сроки, при необходимости, принять решение об инициировании процедуры оспаривания результатов государственной кадастровой оценки.

Благодарности: *выражаю благодарность своему научному руководителю Волковой Я.А. за ценные советы при разработке платформы и рекомендации по оформлению тезисов доклада.*

Список литературы

1. Иванюк И.А. Цифровизация оценочной деятельности в России: тенденции развития и перспективы на 2025-2030 годы / И.А. Иванюк, О.В. Котова, Н.Ю. Новикова // Актуальные проблемы менеджмента, экономики и экономической безопасности. Сборник материалов VII Международной научной конференции, Костанай, 5 ноября 2025 года. 2025. С. 46-49.
2. Баланов А.Н. Цифровизация в недвижимости. Управление, инвестиции и инновации: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2024. 364 с.
3. Лейфер Л.А. Цифровой ассистент оценщика – от сбора данных до валидации результатов оценки / Л.А. Лейфер, К.И. Савельев, А.С. Соловьева // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2025. Том 11. С. 34-39. DOI: 10.63257/2072-4098.2025.290.11.002.
4. Малкина М.Ю. Оценка устойчивого развития региональных экономик на основе расстояний Махалонобиса // Terra Economicus. 202. Т. 18. № 3. С. 140-159. DOI: 10.18522/2073-6606-2020-18-3-140-159.
5. Financial Applications of the Mahalanobis Distance / S. Stöckl, M. Hanke // Applied Economics and Finance. – 2014. – Vol. 1. – No. 2. – P. 78–84.
6. Баринов Н.П. Об оценке стоимости по одному аналогу и о необходимом числе аналогов в методе количественных корректировок / Н.П. Баринов, Д.Ю. Захматов // Вопросы оценки. 2022. № 3-4 (108). С. 7-13. URL: http://sroroo.ru/upload/iblock/ee9/VO_03_04_22-small.pdf.

[2] ст. 14, 20, 21, 22 Федерального закона от 03.07.2016 № 237-ФЗ «О государственной кадастровой оценке».

[3] ст. 22 Федерального закона от 03.07.2016 № 237-ФЗ «О государственной кадастровой оценке».

УДК 332.63

ОБОСНОВАНИЕ ФАКТОРОВ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ОФИСНОЙ НЕДВИЖИМОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА СО СТАТУСОМ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Григорьев К.В.
студент 2 курса специализированного высшего образования,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, s242783@stud.spmi.ru

Научный руководитель: Быкова Е.Н.
доктор экономических наук, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В настоящее время перед специалистами в сфере оценочной деятельности стоит задача наиболее объективно определить тот или иной вид стоимости, чаще всего – рыночную. Одними из наиболее распространенных можно выделить следующие проблемы: неразвитость рынка (отсутствие полной информации о потенциальном объекте-аналоге на сайтах агрегаторов недвижимости), выявление наиболее значимых элементов сравнения и социально-экономические условия России и региона объекта оценки. В рамках данного исследования разработано несколько моделей посредством использования экономико-математических методов. На основании статистических параметров отобрана мультипликативная модель определения удельного показателя рыночной стоимости (УПРС) офисных помещений в зависимости от следующих факторов, факторов: высота помещения, этаж расположения, общая площадь, влияние локальных центров, расстояние до центра города и категория охраны объектов культурного наследия (ОКН). Результаты данного исследования могут быть использованы в организациях, занимающихся индивидуальной и массовой оценкой.

Ключевые слова: офисная недвижимость, корреляционно-регрессионный анализ, рыночная стоимость, памятники истории и культуры, стоимостные факторы.

По состоянию на 2026 год, вопросы учёта наиболее полного перечня факторов, влияющих на стоимость объектов недвижимости, при выполнении массовой или индивидуальной оценки (ГКО) обусловлены социальной напряжённостью из-за стремления к наиболее справедливой стоимости того или иного объекта, необходимостью целостного понимания при принятии управленческих решений. Целью работы является изучение вопроса, связанного с исследованием влияния статуса ОКН на рыночную стоимость офисных помещений в Санкт-Петербурге. Элементы сравнения выявлены на основе анализа последнего отчета ГКО Санкт-Петербурга и Справочника оценщика и судебного эксперта под редакции Л.А. Лейфера (2025 год).

Работа основана на анализе российских и зарубежных трудов. Среди российских учёных можно выделить следующих представителей: Быкова Е.Н., Дьячкова И.С., Дудина В.Д., Сутягин В.Ю., Козин П.П. Аналогичным образом среди зарубежных учёных можно отметить П. Джупка, Амар Дж. Х.Н. и Тывимаа Т.

Выявление влияния ОКН на рыночную стоимость недвижимого имущества возможно через применением следующих методов: теория нечетких множеств (Дьячкова И.С.), метод статистического (регрессионного) моделирования (Григорьев К.В.) и экспертные методы (метод анализа иерархий) (Быкова Е.Н.) [1, 2, 3]. Сутягин В.Ю. считает, что необходимо учитывать статус ОКН при определении стоимости объекта недвижимого имущества. [4]. Козин П. П. обосновал применение справочника КО-Инвест «Объекты архитектурного наследия» при расчёте стоимости объектов недвижимого имущества при проведении массовой оценки посредством использования затратного подхода [5]. Вышеперечисленные зарубежные ученые также занимаются вопросами максимально корректного учёта всех факторов, оказывающих влияние на стоимость недвижимого имущества, в том числе со статусом ОКН [6,7,8]. При написании данной работы

были использованы такие методы, как сравнительный анализ, статистическое моделирование и описание. В качестве данных использована информация о продажах офисной недвижимости за 2025 год, а именно 1 100 офисных помещений с помощью следующих сервисов объявлений: «ЦИАН», «Авито» и «Яндекс Недвижимость». Первоначально проведена предварительная обработка данных, затем – корреляционный анализ. Для решения проблемы перевода качественных характеристик в количественные использована бинарная система (1 – да;0 – нет), в том числе для такого фактора, как «Категория историко-культурного назначения» [9].

Впоследствии выявлены наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на итоговую стоимость офисных объектов. В регрессионную модель включены следующие факторы: высота помещения; этаж расположения; общая площадь; тип входа; расстояние до ближайшей станции метрополитена; расстояние до центра города; категория историко-культурного назначения.

Проведен сравнительный анализ параметров регрессионных моделей, полученных в результате применения экономико-математических методов, в зависимости от критериев качества, который показал, что наиболее значимой и надежной регрессионной моделью для офисной недвижимости Санкт-Петербурга является мультипликативная модель. Следовательно, если проанализировать коэффициент мультипликативной регрессии, то стоимость офисных помещений Санкт-Петербурга со статусом ОКН увеличивается на 9,6% относительно аналогичного помещения без вышеуказанного статуса. Данные выводы не противоречат результатам зарубежных исследований, направленных на изучение влияния статуса ОКН на стоимость недвижимого имущества, а именно коммерческих помещений (+14%) [10]. Таким образом, данное исследование является дополнением к ряду исследований российских и зарубежных учёных и отражает закономерности рыночного ценообразования офисной недвижимости в Санкт-Петербурге.

Список литературы

1. Быкова, Е.Н. Государственное регулирование негативных инфраструктурных экстерналий в системе земельных отношений / Е.Н. Быкова // Вопросы экономики. – 2024. – № 2. – С. 125-144. – DOI 10.32609/0042-8736-2024-2-125-144. – EDN VGYTIG.
2. Дьячкова И.С. Применение теории нечетких множеств для разработки методики оценки влияния зон охраны объектов культурного наследия на стоимость земель коммерческого назначения // Инженерный вестник Дона. 2023. Т.10. № 106. С. 450-465.
3. Быкова Е.Н., Дьячкова И.С., Григорьев К.В. Рыночное ценообразование объектов коммерческого назначения в условиях наличия объектов культурного наследия (на примере города Пскова) // Геодезия и картография. – 2025. – Т. 86, № 4. – С. 29-39. – DOI 10.22389/0016-7126-2025-1018-4-29-39. – EDN ABGTAS.
4. Сутягин В.Ю. Учет статуса объекта культурного наследия при оценке стоимости недвижимости // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2018. Т. 20. № 2.С. 93–103. DOI: 10.15688/jvolsu3.2018.2.10.
5. Козин П.П. Учет статуса объекта культурного наследия в государственной кадастровой оценке // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2023. Т. 1. № 256. С. 8-11. DOI: 10.24412/2072-4098-2023-1256-8-11.
6. Džupka P., Gróf M.The influence of the new cultural infrastructure on residential property prices. Evidence from Košice ECoC 2013. 2020. Cities. № 110. P. 103047. DOI: 10.1016/j.cities.2020.103047.
7. Amar J.H.N. and Tyvimaa T. World heritage designation and residential property values: the case of Old Rauma, Finland, Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 2022, Vol. 14 No. 4, pp. 654–671. DOI: 10.1108/JCHMSD-07-2021-0121.
8. Bade D., Castillo J.G., Fernández M.A., Aguilar-Bohórquez J. The price premium of heritage in the housing market: Evidence from Auckland, New Zealand // Land Use Policy. 2020. Vol. 99. P. 105042. DOI: 10.2139/ssrn.3307221.
9. Баринов, Н.П. Применение регрессионного анализа в задачах индивидуальной и массовой оценки объектов недвижимости / Н.П. Баринов // Вопросы оценки. – 2022. – № 1(106). – С. 34-46. – EDN PCGUXU.
10. Salinger E., Shefer D., Mualam N. World heritage designation and property: the impact of preservation on the price of historic assets // International Journal of Strategic Property Management. 2022. № 26. P. 397–409. DOI: 10.3846/ijspm.2022.18156.

УДК 622.1:622.83:528.85

ИНТЕГРАЦИЯ НАЗЕМНОЙ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И СПУТНИКОВОЙ INSAR ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИЙ ОТКОСОВ КАРЬЕРА

Гузенко А.Д.
студент III курса специалитета,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия, alexguzenko228@gmail.com

Научный руководитель: Гарифулина И.Ю.
к.т.н., доцент, зав. каф. ГиГД,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия

Аннотация. В работе представлена методология интегрированного мониторинга деформаций откосов карьеров на основе совместного использования мультивременной спутниковой радарной интерферометрии PS-InSAR и наземных радарных систем. Цель исследования – разработка комплексного подхода, объединяющего широкомасштабный спутниковый обзор с высокоточным локальным контролем для повышения безопасности горных работ. Применение программного комплекса ENVI/SARscape позволило создать интегрированные карты деформаций с улучшенным пространственно-временным разрешением. Результаты демонстрируют эффективность синергетического подхода для раннего обнаружения опасных смещений и оптимизации превентивных мероприятий.

Ключевые слова: радарная интерферометрия, PS-InSAR, наземный радар, мониторинг деформаций, откосы карьеров, интеграция данных, ENVI/SARscape.

Введение. Мониторинг деформаций откосов карьеров требует высокой точности и пространственно-временного охвата, что в классических подходах обеспечивается не всегда. Спутниковая радарная интерферометрия PS-InSAR позволяет отслеживать поверхностные смещения с периодичностью 6–12 дней, однако геометрия обзора спутника снижает возможность анализа локальных процессов. Наземная радарная интерферометрия (GB-InSAR) обеспечивает непрерывное измерение с частотой порядка минут, что позволяет фиксировать быстрые аномалии, недоступные спутниковым наблюдениям. Целью данного исследования является разработка интегрированной методологии совместного использования этих технологий для эффективного мониторинга и оценки деформаций откосов карьеров.

Методы. Исследование базируется на анализе теоретических основ радарной интерферометрии и принципов формирования интерференционных карт деформаций путем анализа фазовых сдвигов между последовательными радарными изображениями. Обработка спутниковых InSAR-данных выполнялась в программном комплексе ENVI с модулем SARscape, включая этапы предварительной фокусировки, фильтрации шумов, формирования интерферограмм и фазового развертывания. Для согласования данных применялась геопространственная нормализация с пересчетом координат в единую систему и статистическое взвешенное усреднение для объединения разномасштабных измерений [1-4].

Результаты. Интеграция данных спутникового PS-InSAR и наземной радарной интерферометрии позволила создать мультиуровневую модель деформаций, где спутниковые данные задают широкомасштабный тренд, а наземные радары выявляют локальные детали с субмиллиметровой точностью (±0,1 мм). В ходе исследования к интегрированным данным были применены методы обратной скорости (inverse velocity) и анализ градиента уклона, что позволило существенно повысить точность оценки времени возможного обрушения откосов. На примере анализа реальных карьерных объектов доказано, что спутниковые снимки (Sentinel-1) способны фиксировать ускорение деформаций

за несколько месяцев до критического события, компенсируя ограничения наземных радаров (например, наличие «слепых зон» из-за сложного рельефа) [4-6]. Разработанные алгоритмы кросс-корреляции обеспечили эффективное объединение разновременных и разномасштабных рядов в единую непрерывную карту смещений. Практическое внедрение подобного интегрированного подхода демонстрирует повышение точности прогноза обвалов свыше 97% и способствует сокращению количества аварийных инцидентов на 40%

Обсуждение. Совместное использование спутниковой InSAR и наземных радарных систем создает синергетический эффект: широкое покрытие и регулярность спутникового мониторинга компенсируют ограничения локального охвата наземных радаров, а высокое временное разрешение и точность локальных измерений достаточны для детальной оценки динамики деформаций. Анализ кейс-стади крупных горнодобывающих предприятий подтвердил, что интегрированный подход способствует своевременному оповещению о потенциальных авариях и улучшению планирования профилактических мероприятий, снижая вероятность ложных срабатываний [6-10].

Заключение. Разработанная методология интеграции наземной радарной интерферометрии и спутникового InSAR является эффективным инструментом для комплексной оценки деформаций откосов карьеров. Комплексный мониторинг обеспечивает существенное повышение качества контроля, своевременное предупреждение аварийных процессов и оптимизацию управления безопасностью горных работ. Перспективы развития связаны с внедрением искусственного интеллекта для автоматизации обработки данных и переходом к интеллектуальным автоматизированным системам мониторинга.

Список литературы

1. Юшманов, Ю.П. Золотоносный штокверк месторождения Наталка в ротационной структуре сдвигового дуплекса Тенькинского разлома Центральной Колымы // Региональные проблемы. – 2020. – № 1. – С. 19–27.
2. Шаворин, В.А. Современные методы наземной интерферометрии при мониторинге прибортовых массивов на открытых горных работах / В.А. Шаворин, А.Е. Кулешов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 22–28.
3. Клебанов, А.Ф. Контроль устойчивости бортов карьера с помощью радарной интерферометрии / А.Ф. Клебанов // Eurasian Science Journal. – 2020. – № 4. – 12 с.
4. Мотало, Р.В. Обзор методов и средств радиолокационного зондирования атмосферы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 358–364.
5. Рсалдин, Е.Е. Новые современные способы наблюдения за устойчивостью бортов, откосов карьера // Вестник науки. – 2021. – № 5-1 (38). – С. 23–28.
6. Новоженин, С.Ю. Мониторинг бортов карьера методом радарной интерферометрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 10. – С. 97–111.
7. Трубина, Л.К. Обзор современных радиолокаторов с синтезированной апертурой с целью их применения для мониторинга угольных карьеров / Л.К. Трубина, Г.А. Мусина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 136–141.
8. Тюленева, Т.А. Проблемы и перспективы цифровизации горнодобывающей промышленности (в контексте мониторинга объектов) / Т.А. Тюленева // Вестник Сургутского государственного университета. – 2020. – № 4 (30). – С. 20–29.
9. Широкова, Н.Е. Методы корректировки и анализа радиолокационных параметров конвективных облаков в задачах активных воздействий : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 25.00.30 / Н.Е. Широкова. – Нальчик, 2010. – 22 с.
10. Величко, И.М. Сравнение лазерного сканирования и радарной интерферометрии для мониторинга деформаций // Науки о Земле и недропользование. – 2025. – № 3. – С. 10–15.

УДК 622.1:622.83:528.85.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ РАЗРУШЕНИЙ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ INSAR И НАЗЕМНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Долбин И.Д.
студент III курса специалитета,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия, dolbinivan42@gmail.com

Научный руководитель: Арно В.В.
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», Магадан, Россия.

Аннотация. В работе рассматривается комплексный подход к прогнозированию катастрофических разрушений склонов на основе интеграции данных спутниковой (InSAR) и наземной (GB-InSAR) радиолокационной интерферометрии. Проведен анализ теоретических основ и ограничений обоих методов, выделены специфические предвестники оползневых процессов. Предложенные методики объединения разномасштабных данных и использования статистических моделей временных рядов (ARIMA) позволяют существенно повысить точность и надежность выявления деформаций на ранних стадиях. Результаты исследования способствуют созданию эффективных систем раннего предупреждения и снижению рисков аварийных ситуаций.

Ключевые слова: радиолокационная интерферометрия, InSAR, GB-InSAR, деформация склонов, прогнозирование оползней, мониторинг, предвестники разрушений.

Введение. Методы радиолокационной интерферометрии с синтезированной апертурой (InSAR и GB-InSAR) позволяют получать высокоточные данные о смещениях грунта, что критически важно для мониторинга динамики деформаций склонов и прогнозирования оползней. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности в зонах риска природных оползней с применением современных технологий дистанционного зондирования. Цель работы – разработка комплексного подхода к прогнозированию катастрофических разрушений склонов с учетом особенностей интерпретации деформаций и ограничений спутниковых и наземных методов.

Методы. Исследование базируется на многоступенчатой обработке радиолокационных данных, включая выделение устойчивых рассеивателей, построение интерферограмм, фазовую развертку и фильтрацию шумов. Для временного анализа смещений использована статистическая модель ARIMA с предварительным вейвлет-преобразованием и кубической сплайн-интерполяцией. Интеграция данных достигается путем совмещения широкомасштабного спутникового обзора InSAR с высокочастотным локальным сканированием GB-InSAR, что позволяет минимизировать ошибки, вызванные сложной топографией и атмосферными помехами [1-3].

Результаты. Выделены специфические признаки предвестников оползней: устойчивое нарастание скоростей смещения, изменение векторов деформаций и их корреляция с климатическими факторами (осадками и влажностью). Доказано, что применение статистической модели ARIMA на начальной линейной стадии деформационного процесса (при угле касательной к кривой смещения не более 80°) обеспечивает высокую точность краткосрочного прогноза на ближайшие 24 часа с ошибкой прогнозирования не более 3% [4-5]. Для повышения стабильности модели исходные данные предварительно подвергаются вейвлет-преобразованию и кубической сплайн-интерполяции, что компенсирует нерегулярность частоты съёмки. При переходе оползня в стадию ускорения (нелинейная динамика) обоснована необходимость использования гибридных методик, объединяющих классическую ARIMA с нейросетевыми алгоритмами (например, LSTM). Объединение данных спутниковых и наземных платформ позволило сформировать трехмерные

карты смещений с высокой детализацией, компенсировав такие пространственные ограничения, как теневые зоны и эффекты наложения (layover) на сложных склонах [6-7].

Обсуждение. Разработанный комплексный подход решает проблему неопределенностей, возникающих при изолированном использовании одной технологии. Спутниковый мониторинг эффективен для выявления зон потенциальной угрозы на больших площадях, тогда как GB-InSAR обеспечивает оперативный контроль ключевых участков в режиме реального времени. Применение локальных моделей рассеяния и алгоритмов локализации аномалий значительно повышает чувствительность системы к реальной геомеханической нестабильности на фоне сезонных колебаний и снижает риск ложных срабатываний [1, 8-10].

Заключение. Интеграция данных InSAR и GB-InSAR является высокоэффективным инструментом для прогнозирования катастрофических разрушений склонов. Разработанные методики анализа временных рядов и адаптации технологий к российским климатическим условиям создают основу для внедрения надежных систем раннего предупреждения оползневых процессов. Дальнейшее развитие направления связано с применением гибридных нейросетевых моделей для долгосрочного прогнозирования нелинейных деформаций.

Список литературы

1. Юшманов, Ю.П. Золотоносный штокверк месторождения Наталка в ротационной структуре сдвигового дуплекса Тенькинского разлома Центральной Колымы // Региональные проблемы. – 2020. – № 1. – С. 19–27.
2. Шаворин, В.А. Современные методы наземной интерферометрии при мониторинге прибортовых массивов на открытых горных работах / В.А. Шаворин, А.Е. Кулешов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 22–28.
3. Клебанов, А.Ф. Контроль устойчивости бортов карьера с помощью радарной интерферометрии / А.Ф. Клебанов // Eurasian Science Journal. – 2020. – № 4. – 12 с.
4. Мотало, Р.В. Обзор методов и средств радиолокационного зондирования атмосферы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 358–364.
5. Рсалдин, Е.Е. Новые современные способы наблюдения за устойчивостью бортов, откосов карьера // Вестник науки. – 2021. – № 5-1 (38). – С. 23–28.
6. Новоженин, С.Ю. Мониторинг бортов карьера методом радарной интерферометрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 10. – С. 97–111.
7. Трубина, Л.К. Обзор современных радиолокаторов с синтезированной апертурой с целью их применения для мониторинга угольных карьеров / Л.К. Трубина, Г.А. Мусина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 136–141.
8. Тюленева, Т.А. Проблемы и перспективы цифровизации горнодобывающей промышленности (в контексте мониторинга объектов) / Т.А. Тюленева // Вестник Сургутского государственного университета. – 2020. – № 4 (30). – С. 20–29.
9. Широкова, Н.Е. Методы корректировки и анализа радиолокационных параметров конвективных облаков в задачах активных воздействий : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 25.00.30 / Н.Е. Широкова. – Нальчик, 2010. – 22 с.
10. Величко, И.М. Сравнение лазерного сканирования и радарной интерферометрии для мониторинга деформаций // Науки о Земле и недропользование. – 2025. – № 3. – С. 10–15.

УДК 69.001.5

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА

Жильцов Д.Р.
студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, dnlzhltsv@vk.com

Научный руководитель: Дьячкова И.С.
к.т.н., доцент кафедры землеустройства и кадастров, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, dyachkova_is@pers.spmi.ru

Аннотация. В статье проведён анализ создания информационной модели земельного участка в отечественных программных продуктах Renga и NanoCAD. На примере реального участка в Санкт-Петербурге выявлены особенности, которыми должна обладать информационная модель. Установлено, что лишь NanoCAD обладает базовым набором инструментов, но и он не обеспечивает в полной мере всех требуемых функций для кадастровых и землеустроительных задач.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, BIM-технологии, строительная индустрия, жизненный цикл объекта, 3D кадастр

Введение. В условиях цифрового развития строительной отрасли и перехода на отечественное программное обеспечение технологии информационного моделирования (ТИМ) активно внедряются в процессы проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства и инженерных сетей. Однако подавляющее большинство научных работ и практических руководств рассматривают ТИМ применительно к зданиям и сооружениям. Земельный участок как самостоятельный объект информационного моделирования, обладающий собственной геометрией, правовыми ограничениями, подземными коммуникациями и градостроительными регламентами, остаётся за рамками изучения.

Как представлено в таблице 1, для объектов капитального строительства (ОКС) в ТИМ-продуктах реализованы такие ключевые функции, как параметризация элементов, автоматическое выявление пересечений и расчёт смет. Аналогичный набор инструментов требуется и для информационной модели земельного участка – работа с рельефом, обременениями и территориальными расчётами, – но отечественное ПО пока не предоставляет его в полном объёме.

Таблица 1

Необходимый функционал для объектов капитального строительства и земельного участка

№	ТИМ для ОКС	ТИМ для земельного участка
1	Создание геометрии здания из типовых элементов (стены, перекрытия)	Создание геометрии участка: границы, рельеф, подземные коммуникации
2	Параметризация объектов: изменение размеров, материалов, свойств	Параметризация участка: уклоны, кратчайшие пути, инсоляция и затемнение
3	Автоматическое выявление неверных пересечений	Выявление нестыковок обременений
4	Автоматическое формирование спецификаций и ведомостей	Автоматический расчёт характеристик участка
5	Автоматический расчёт сметы на основе элементов здания	Расчёт стоимости участка, затраты на подготовку территории

Информационная модель земельного участка позволяет объединить в едином цифровом пространстве геометрию (границы, рельеф), юридические ограничения (сервитуты, охранные зоны) и инженерные данные (коммуникации), создавая основу для эффективного территориального планирования.

ТИМ развивается, и данная концепция включила в себя экономическую и правовую составляющие [1]. Информационная модель представляет собой цельную систему данных, где каждый элемент обладает свойствами и атрибутами. Изменение одного параметра влечет за собой автоматическое обновление связанных [2].

Городские земельные ресурсы в современных условиях выступают не только пространственным базисом для размещения объектов капитального строительства, но и объектом инвестиционно-строительной деятельности [3]. Ключевым документом, интегрирующим сведения из ЕГРН, правил землепользования и застройки (ПЗЗ), а также документов территориального планирования, является градостроительный план земельного участка (ГПЗУ).

Однако практическая реализация концепции трехмерного ГПЗУ сопряжена с проблемой выбора программного обеспечения, обладающего необходимым инструментарием для 3D-моделирования, адаптированного к российским нормативам.

В этой связи требуется объективный и структурированный анализ современного отечественного ПО.

Методы. Исследование базировалось на сравнительном анализе функциональных возможностей программных платформ Renga и nanoCAD применительно к задачам визуализации и обработки цифровых моделей земельных участков. Важным критерием выступало соответствие ПО нормам российского законодательства.

В качестве базового объекта использовалась 3D-модель земельного участка с кадастровым номером 78:36:0005403:75 (г. Санкт-Петербург, Арктическая ул., участок 23а). Исходные координаты поворотных точек границ (только X и Y) получены с портала РГИС. Координаты Z задавались исходя из предположения о наличии неровностей рельефа с наивысшей и наименьшей точками.

Первичное моделирование выполнено в среде nanoCAD BIM Строительство с использованием модуля «Топоплан». На первом этапе создан двухмерный контур участка (рис. 1). Затем на основе 50 точек, выбранных в пределах границ, построена объемная модель, включающая: границы участка, триангуляционную сеть TIN, горизонтали рельефа, объекты капитального строительства. Для обозначения высот рельефа добавлена цветовая текстура (рис. 2). Сравнение платформ осуществлялось путем последовательного выполнения стандартных операций с готовой моделью в Renga и nanoCAD.

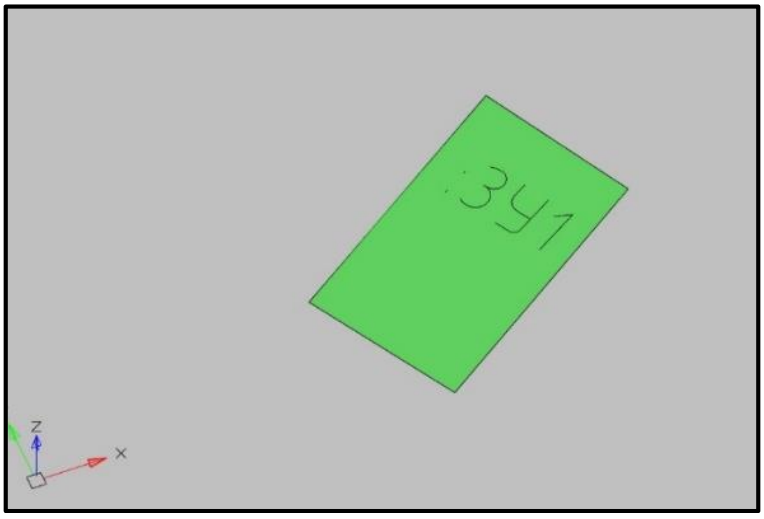


Рис. 1. 2D земельный участок (*создано авторами*)

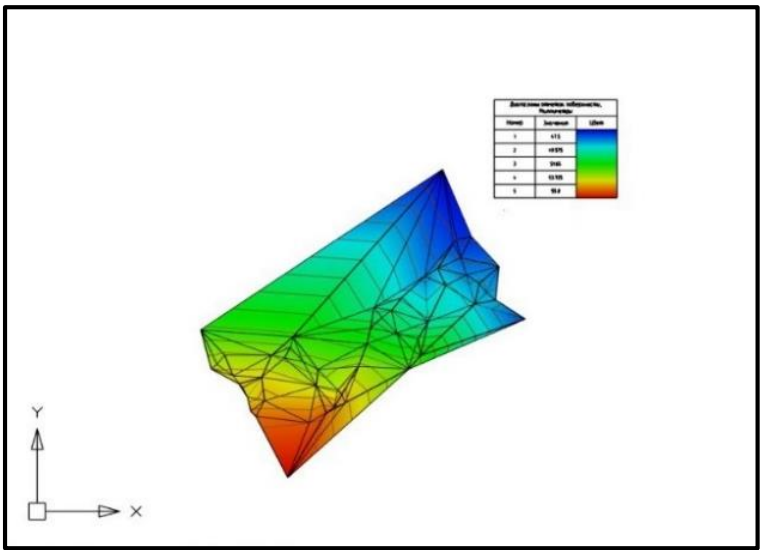


Рис. 2. 3D земельный участок, имеющий ЦМР (создано авторами)

Программный комплекс nanoCAD с модулем «Строительство» (рассматривается также в работе [4]) позволяет решать комплекс задач по проектированию земляных работ на стройплощадке. Интерфейс программы интуитивно понятный, во многом унаследован от базовой версии nanoCAD, что упрощает освоение. Основной плюс модуля – автоматизация расчетов.

В процессе работы выявлено, что другая российская программа Renga не подходит для землеустроительных и кадастровых работ. Высказано предположение, что в данной программе все же лучше создавать информационные модели (ИМ) ОКС, а затем переносить в более удобную программу для создания ИМ ЗУ (например, NanoCAD).

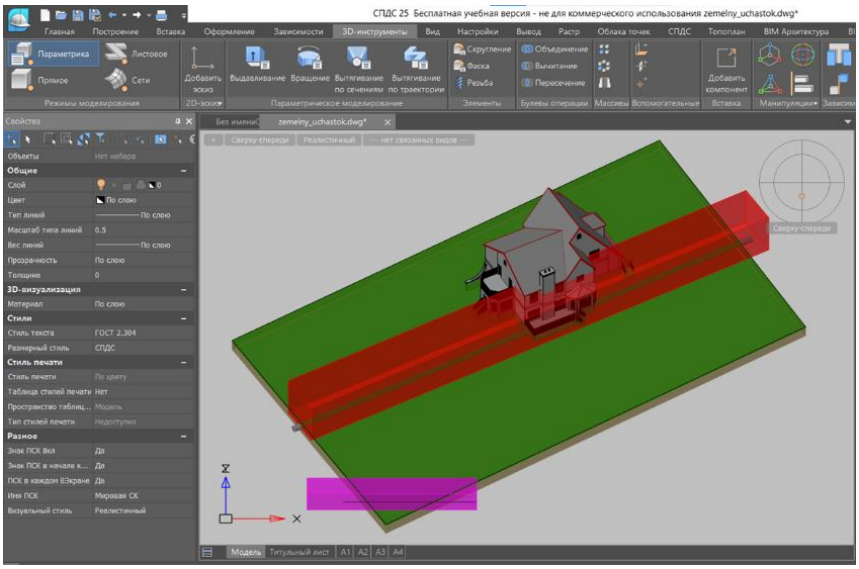


Рис. 3. Прототип информационной модели земельного участка
(фиолетовым – охранная зона электросетей, красным – охранная зона канализационных сетей)
(*создано авторами*)

Результаты. В целом, для создания любой информационной модели необходимо первым делом обозначить цель моделирования. Для землеустройства это может быть: рельеф, коммуникации, обременения и др. В результате был создан реальный прототип информационной модели земельного участка, содержащий информацию по обременениям (рис. 3).

Обсуждение. В ходе исследования выяснено и подтверждено, что модуль Nano-CAD BIM представляет собой эффективное отечественное решение для создания точной цифровой модели земельного участка, проектирования его вертикальной планировки и автоматизированного расчета объемов земляных работ [5].

Таким образом, необходимо внедрять использование трехмерного моделирования градостроительных условий и ограничений, поскольку такая модель может существенно облегчить восприятие градостроительной информации и понимание возможных вариантов использования земельных участков [6,7].

Заключение. В ходе исследования подтверждено, что земельный участок требует специфического набора инструментов (рельеф, обременения, генплан), который отсутствует в универсальных BIM-системах, ориентированных на здания. Отечественное ПО находится на стадии формирования полноценной поддержки информационного моделирования земельных участков.

Список литературы

1. Сунцов А.С., Симченко О.Л., Толкачев Ю.А. [и др.] Анализ зрелости BIM-решений как инструмента обеспечения жизненного цикла здания // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11, № 3. С. 41-53. DOI 10.15593/2224-9826/2020.3.04. EDN MIQPTL.
2. Вербицкий В.А. Анализ программных комплексов и опыта внедрения BIM-технологий // International Journal of Advanced Studies. 2019. Т. 9, № 2. С. 14-28. DOI 10.12731/2227-930X-2019-1-14-28. EDN LKKGGU.
3. Скачкова, М.Е. Отражение информации о градостроительных условиях и ограничениях с использованием трехмерного моделирования / М.Е. Скачкова, К.А. Чудова // Неделя науки СПбПУ : Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – С. 301-303. – EDN YTELMD.
4. Фахрутдинов А.Ю., Фетисов Л.В. Сравнение отечественного программно-го обеспечения по ТИМ-проектированию Nanocad «Инженерный BIM» и Model Studio CS // Наука и образование сегодня. 2024. № 2(79). С. 11-13. EDN JHAWKO.
5. Жильцов, Д.Р. Проблемы и особенности ТИМ объектов капитального строительства на современном этапе / Д.Р. Жильцов // Моя специальность : Тезисы докладов конкурса научных работ обучающихся, Санкт-Петербург, 15–17 октября 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2026. – С. 94-95. – EDN CIGELG.
6. Скачкова М.Е., Чудова К.А. Трехмерное моделирование градостроительных условий и ограничений земельного участка // Природообустройство. 2019. № 3. С. 39-47. EDN LSPTKY.
7. Акатьев К.Е., Скачкова М.Е., Дьячкова И.С. Концепция информационного моделирования исторических зданий // Вестник МИИГАиК : Сборник научных статей 79-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках Международной Студенческой Недели Науки СНН-2024, Москва, 08–12 апреля 2024 года. Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2024. С. 4-14. EDN RYUMHJ.

УДК 332.622

ВЛИЯНИЕ БЛИЗОСТИ К МЕТРО НА РЫНОЧНУЮ СТОИМОСТЬ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Игнатова А.М.
студент гр. ГК-23,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, ignatova2005nas@gmail.com

Научный руководитель: Дьячкова И.С.
кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Данная работа посвящена анализу влияния доступности станций Петербургского метрополитена на стоимость офисных помещений. Актуальность темы исследования обусловлена растущим интересом компаний и государственных органов к коммерческой недвижимости, а также недостаточной информацией о влиянии пешеходной доступности метро на ценообразование таких объектов. Результаты исследования показали, что стоимость офисной недвижимости заметно изменяется при увеличении временных затрат на передвижение людей до ближайшей станции метрополитена. Полученные данные подчеркивают важность транспортной доступности как критерия при формировании стоимости коммерческой недвижимости и могут быть полезны для инвесторов, градостроителей и оценщиков.

Ключевые слова: метрополитен, метод парных продаж, корректировка, коммерческие помещения, рынок недвижимости.

Введение. Транспортная доступность является одной из ключевых факторов, оказывающих влияние на стоимость недвижимости, особенно в Санкт-Петербурге. Ранее проведенные исследования указывают на то, что покупатели и арендаторы не намерены тратить свое время на дорогу, поэтому наличие транспортной инфраструктуры, в том числе станций метрополитена, в первую очередь влияет на выбор того или иного объекта недвижимости [1]. В северной столице открытие новой станции метро является перспективным решением для повышения привлекательности района, однако это способствует росту цен на жилые и нежилые помещения.

Важнейшими составляющими хозяйственной деятельности в современном мире являются сделки с коммерческими помещениями [2, 3]. По итогам 2025 года в Санкт-Петербурге было продано около 56% объектов недвижимости офисного назначения от общего объема сделок с ними. Большое число продаж связано с увеличением спроса на офисные помещения у органов государственной власти. Офисные помещения довольно востребованы на рынке недвижимости, благодаря росту и развитию разного рода компаний. Кроме того, они позволяют увеличивать налоговые поступления в бюджет города и играют важную роль в создании инвестиционной привлекательности территории. Вместе с тем появляются новые рабочие места для граждан, что напрямую влияет на экономическую ситуацию административно-территориального образования [4, 5, 6]. Как правило, на формирование стоимости коммерческой недвижимости влияют такие факторы, как: общая площадь, тип недвижимости, состояние помещений, отделка, наличие парковки, коммуникаций и другие [7, 8]. В условиях растущего спроса на офисные помещения в Санкт-Петербурге и влияния транспортной доступности на стоимость иных объектов недвижимости, существует необходимость в глубоком понимании того, как именно близость к станциям метрополитена влияет на ценообразование объектов исследования.

Благодаря тенденции к цифровизации, такие платформы, как Циан, Авито и другие, предоставляют пользователям возможность не только быстро находить информацию о недвижимости, но и визуализировать объекты на картах. Это значительно упрощает анализ местоположения и удаленности помещений от объектов транспортной инфраструктуры [9].

Целью данного исследования является анализ влияния доступности станций метрополитена на стоимость офисных помещений в Санкт-Петербурге. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: собрать и систематизировать данные об офисных помещениях, выставленных на продажу, с учетом их удаленности от ближайшей станции метрополитена; применить метод парных продаж для определения стоимости объекта оценки; установить закономерность изменения стоимости офисной недвижимости.

Методы. В данном исследовании использованы такие методы, как сравнение, обобщение и описание информации. В ходе работы осуществлялся анализ рыночной стоимости коммерческих помещений в различных районах города. В качестве исходных материалов использованы актуальные данные портала Циан об офисных помещениях.

Результаты. В ходе исследования произведен сбор информации об офисных помещениях, выставленных на продажу на портале Циан. Для анализа влияния удаленности станций метро на формирование стоимости офисного помещения отобраны объект оценки и 24 объекта-аналога, расположенных на различных расстояниях от ближайшей станции метрополитена: в пределах 5 минут, 5-10 минут, 10-15 минут и более 15 минут пешей ходьбы.

Для определения стоимости оцениваемого объекта использован метод парных продаж [10]. В отличающиеся факторы сравниваемых объектов внесены соответствующие коэффициентные корректировки для учета отличий в характеристиках, согласно справочнику оценщика 2025 года. В результате оценки получены следующие показатели стоимости оцениваемого офисного помещения, которые учитывают временные затраты на передвижение граждан от самого объекта до ближайшей станции метро: 64 364 203 руб. (5 мин), 32 318 210 руб. (5-10 мин), 23 305 187 руб. (10-15 мин), 21 912 301 руб. (более 15 мин).

Таким образом, было установлено, что стоимость офисных помещений значительно варьируется в зависимости от их расположения относительно станций метро. В частности, стоимость недвижимости уменьшается на 49,8% при ее расположении в 5-10 минутах от станции, на 63,8% – в пределах 10-15 минут и на 66,0% – при удаленности более 15 минут.

Обсуждение. Итак, проведенное исследование показывает, как изменяются стоимостные характеристики коммерческих помещений офисного назначения. Результаты указывают на резкое снижение стоимости в пределах 10 минутной пешей ходьбы. Далее, при некоторой удаленности объекта от стации метро, уменьшение стоимости происходит постепенно. Представление того, каким образом обеспеченность территории метрополитеном влияет на стоимость недвижимости, может пригодится в дальнейшем планировании города, а также при осуществлении оценки коммерческих помещений.

Заключение. Коммерческая недвижимость вносит свой вклад в экономическую составляющую территории, увеличивая инвестиционную привлекательность района и долю рабочих мест. В заключение, полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что близость к метро непосредственно влияет на стоимостную составляющую офисной недвижимости. Чем ближе объект расположен к станции, тем выше его цена.

Список литературы

1. Кузнецова, Е.Е. Оценка влияния развития транспортной инфраструктуры на рыночную стоимость недвижимости в Санкт-Петербурге / Е.Е. Кузнецова // Образцовый маршрут : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 октября 2024 года. Москва: Перо, 2024. С. 130-136. EDN KLPFJS.
2. Поромбрика, А.С. Правовые проблемы при покупке и продаже коммерческой недвижимости / А.С. Поромбрика // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 8-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, в 4 томах, Курск, 20–21 марта 2025 года. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2025. С. 269-271. EDN DDGLFV.
3. Некрасова, М.В. Экономический анализ рынка недвижимости коммерческих помещений города Ижевска за первый квартал 2022 года / М.В. Некрасова, Д.С. Лаврентьева // Научные труды студентов Ижевской ГСХА : Сборник статей / Отв. за выпуск Н.М. Итешина. Том 1 (14). Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. С. 1586-1591. EDN DIRORT.
4. Аверина, В.В. Обоснование влияния территориального расположения коммерческих помещений в городе на их кадастровую стоимость / В.В. Аверина // Исследования молодых ученых : Материалы LXXXII Международной научной конференции, Казань, 20–23 мая 2024 года. Казань: ООО «Издательство Молодой ученый», 2024. С. 1-4. EDN PGHDZZ.
5. Рыбнов, Д.С. Развитие офисной недвижимости: экономический потенциал Москвы / Д.С. Рыбнов, З.А. Зудилов // Вестник Академии знаний. 2025. № 3(68). С. 371-375. EDN MTBXUH.
6. Бердикеева, А.Б. Рынок коммерческой недвижимости в Казахстане: анализ трендов и ограничений / А.Б. Бердикеева // Перспективы развития научных изысканий: теория, методология, практика : Сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, Анапа, 30 мая 2025 года. Анапа: ООО «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2025. С. 5-9. EDN JGNNIX.
7. Новикова, А.Ф. Земельная составляющая при определении кадастровой стоимости нежилого помещения для коммерческого использования / А.Ф. Новикова // Молодой ученый. 2024. № 19(518). С. 59-64». EDN LPEYJJ.
8. Nechkina, A.V. Market Value Assessment of Commercial Real Estate / A. V. Nechkina // The Internet-mobile economy : COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES BY RESEARCH AND TEACHING STAFF, GRADUATE STUDENTS, UNDERGRADUATES AND STUDENTS. Moscow : Ippolitov Publishing House, 2025. P. 201-203. EDN MCVUSN.
9. Никулова, Е.А. Аренда жилых и коммерческих помещений через цифровые платформы: проблемы правоприменения / Е.А. Никулова, О.Г. Степаненко // Будущее науки – 2025 : сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции : в 5 т., Курск, 17–18 апреля 2025 года. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. С. 374-378. EDN MQTREI.
10. Быкова, Е.Н. Оценка влияния объектов культурного наследия на стоимость объектов торгового назначения в Пскове / Е.Н. Быкова, К.В. Григорьев // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий : сборник статей IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–07 февраля 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. С. 132-136. EDN KJAULM.

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ БПЛА И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Казанцева В.В.[1], Ярцева В.Ф.[2]
[1] преподаватель, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, v.kazantceva@ktu.edu.kz
[2] старший преподаватель, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан.

Научный руководитель: Ожигин Д.С.
PhD, ассоциированный профессор, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан.

Аннотация. В работе рассмотрен анализ устойчивости породных отвалов как важного элемента горнотехнической инфраструктуры открытых горных работ. Актуальность исследования обусловлена необходимостью своевременного выявления деформационных процессов, способных влиять на безопасность эксплуатации карьеров. Исследование выполнено на основе интеграции разновременных данных аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов, маркшейдерских наблюдений и геомеханического моделирования. В результате сопоставления цифровых моделей рельефа выявлены пространственные изменения геометрии отвальных массивов, которые сопоставлены с результатами геомеханических расчетов устойчивости откосов. Полученные результаты подтверждают эффективность комплексного подхода для мониторинга состояния породных отвалов и повышения безопасности горных работ.

Ключевые слова: породные отвалы, устойчивость откосов, мониторинг деформаций, аэрофотосъёмка, беспилотные летательные аппараты, цифровая модель рельефа, геомеханическое моделирование, коэффициент запаса устойчивости, пространственно- временной анализ, открытые горные работы.

Введение. Породные отвалы являются важным элементом горнотехнической инфраструктуры открытых горных работ, при этом их устойчивость напрямую влияет на безопасность эксплуатации карьеров и прилегающих территорий [1,2]. В условиях длительной эксплуатации отвальных массивов происходят деформационные процессы, обусловленные особенностями геологического строения основания, физико- механическими свойствами пород и технологией отвалообразования, что требует регулярного мониторинга их состояния [1]. Целью настоящего исследования является анализ устойчивости породных отвалов на основе интеграции разновременных данных аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов, маркшейдерских наблюдений и геомеханического моделирования.

Методы. Исследование выполнено на основе анализа разновременных геопространственных данных, полученных в результате аэрофотосъёмки породных отвалов с использованием беспилотных летательных аппаратов, а также маркшейдерских измерений [3,4]. По материалам съёмки были сформированы цифровые модели рельефа и ортофотопланы, которые использовались для пространственного сопоставления поверхностей отвальных массивов и выявления их изменений во времени [5–7]. Для оценки устойчивости отвалов выполнено геомеханическое моделирование расчетных сечений с определением коэффициентов запаса устойчивости (КЗУ) и уточнением прочностных характеристик пород методом обратного расчёта [8].

Результаты. В результате сопоставления разновременных цифровых моделей рельефа установлены пространственные изменения геометрии породных отвалов, включая смещения бровок откосов и перераспределение отвального материала [4]. Для одного

из породных отвалов выявлены признаки деформационных процессов, в том числе подработка нижнего яруса и локальное обрушение уступа, зафиксированные при анализе поперечных сечений и маркшейдерских наблюдений. Расчёты коэффициентов запаса устойчивости показали наличие участков с предельным состоянием массива, где значения КЗУ приближаются к критическим, что свидетельствует о необходимости усиленного мониторинга данных зон [8].

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что применение разновременных данных аэрофотосъёмки в сочетании с геомеханическим моделированием позволяет эффективно выявлять изменения геометрии отвальных массивов и фиксировать начальные стадии деформационных процессов [8,10]. Пространственно-временное сопоставление цифровых моделей рельефа обеспечивает более объективную оценку динамики развития отвала по сравнению с использованием отдельных маркшейдерских съемок [3,9]. Интеграция данных дистанционного мониторинга и расчётов устойчивости позволяет своевременно выявлять потенциально опасные участки и повышает обоснованность инженерных решений при эксплуатации отвалов.

Заключение. Проведённое исследование подтвердило эффективность интеграции данных аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов, маркшейдерских наблюдений и геомеханического моделирования для анализа состояния породных отвалов. Использование разновременных цифровых моделей рельефа позволило выявить деформации отвального массива и определить участки с предельными состоянием. Полученные результаты могут быть использованы при организации систем мониторинга устойчивости породных отвалов и при принятии инженерных решений, направленных на повышение безопасности ведения горных работ.

Благодарности: *Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН №AP22788508).*

Список литературы

1. Dong L., Zhang Y., Wang W., Zhang L. Stability analysis and failure mechanism of open-pit mine slopes based on monitoring data and numerical simulation // Sustainability. 2021. Vol. 13, No. 6. DOI: 10.3390/su13063236.

2. Stead D., Wolter A. A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 146. P. 1–23. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.03.002.

3. Guo Q., Li W., Wu Y., Chen Z. Deformation monitoring of open-pit mine slopes using UAV photogrammetry and multi-temporal point cloud analysis // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. DOI: 10.3390/rs14051134.

4. Zhou W., Li J., Wang Y., Chen Y. UAV-based multi-temporal monitoring of waste dump deformation in open-pit mining areas // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. DOI: 10.3390/rs15082045.

5. James M.R., Robson S., D'Oleire-Oltmanns S., Niethammer U. Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment // Geomorphology. 2017. Vol. 280. P. 51–66. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.11.021.

6. Kromer R., Walton G., Gray B., Lato M., Hutchinson D. Structure from motion photogrammetry for rock slope monitoring // Landslides. 2017. Vol. 14. P. 831–843. DOI: 10.1007/s10346-016-0762-9.

7. Mikhail E., Bethel J., McGlone J. Introduction to Modern Photogrammetry. Hoboken: Wiley, 2020. 479 p.

8. Chen Y., Zhou W., Li J., Liu C. Integrated UAV monitoring and numerical modelling for slope stability analysis in open-pit mines // Engineering Geology. 2023. Vol. 319. DOI: 10.1016/j.enggeo.2023.107081.

9. Lato M., Hutchinson D.J., Diederichs M.S., Harrap R., Edwards T. Rock slope hazard assessment using LiDAR and photogrammetry techniques // Engineering Geology. 2019. Vol. 249. P. 1 –14. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.12.002.

10. Niethammer U., Rothmund S., Schwaderer U., Zeman J., Joswig M. Open-pit mine slope monitoring using UAV-based photogrammetry and radar interferometry // Engineering Geology. 2018. Vol. 245. P. 188 –197. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.012.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ КАРТЫ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Камаев И.Р.[1], Прокофьев А.В.[2]
[1] курсант, ВКА им. А.Ф.Можайского,
Санкт-Петербург, Россия, ul.kamaev@mail.ru
[2] начальник кафедры, ВКА им. А.Ф.Можайского,
Санкт-Петербург, Россия, prokofjev_alexandr@mail.ru

Научный руководитель: Прокофьев А.В.
к.т.н., доцент, ВКА им. А.Ф.Можайского,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Актуальность аключается в необходимости создания специальных топографических (цифровых, электронных) карт, на которых наиболее детально показываются отдельные особенности местности, необходимые для планирования и организации устранения стихийных бедствий. В данной статье представлено теоретическое обоснование методики построения одной из самых востребованных специальных карт зон затопления различных участков местности. Новая методика позволяет более точно определить зону затопления в случае прорыва дамбы, что позволит подготовиться к чрезвычайным ситуациям, связанными с затоплениями.

Ключевые слова: 5 нормальные высоты, ортометрические высоты, динамические высоты, геоинформационные системы, зона затопления, специальные карты.

В ряду стихийных бедствий, особенно в последние годы, наводнения занимают одно из лидирующих мест по числу их повторов, охвату территорий, а также по суммарному среднегодовому экономическому ущербу, который они приносят. Наиболее эффективным способом борьбы с высокими половодьями и паводками является перераспределение стока водохранилищами, что позволяет на территориях ниже плотин полностью или частично избежать чрезвычайных ситуаций и бедствий, связанных с наводнениями, и значительно снизить затраты на строительство хозяйственных объектов. Спасая обширные территории от наводнений, гидроузлы сами могут стать источником катастрофических затоплений на территориях нижнего бьефа в случае аварии дамб (плотин) и образования волны прорыва. Поэтому актуальность работы заключается в необходимости создания специальных топографических (цифровых, электронных) карт, на которых наиболее детально показываются отдельные особенности местности, необходимые для планирования и организации устранения стихийных бедствий.

Одной из основных задач геодезической подготовки района является создание специальных карт, на которых наиболее детально показываются отдельные особенности местности, необходимые органам местного самоуправления. К таким специальным картам относят: карты геодезических данных, карты горных перевалов, карты зон затопления и другие. Карты зон затопления строятся на основе гидрологических данных, топографических исследований и математических моделей. На картах зон затопления должно быть отображено, в каких конкретно местах существует угроза затопления. Это включает в себя обозначение границ зон затопления, а также информацию о вероятности затопления, уровнях воды и других опасных явлений, связанных с наводнениями.

В данной работе представлено теоретическое обоснование методики построения одной из самых востребованных специальных карт зон затопления участков местности.

В настоящие время специальные карты в зонах затопления составляются с использованием нормальных или ортометрических высот, с помощью которых отображается рельеф на топографических картах. Однако такой подход является не верным. Специальные карты зон затопления необходимо составлять с использованием системы динамических высот, которые будут постоянными для заданного уровня.

В настоящее время для отображения рельефа применяются две основные системы геопотенциальных высот. Это система ортометрических высот, которая получила распространение в странах Западной Европы и Америки, и система нормальных высот, которая применяется в нашей стране и ряде других государств.

В этих высотах уровень задаётся геопотенциальной величиной $W_0 - W_M$, которая обрабатывается либо в действительном, либо в нормальном гравитационном поле. Однако при перемещении точки по любой уровненной поверхности действительного потенциала силы тяжести Земли будет постоянно изменяться значение $g_{\text{ср}}$. Иначе говоря, для точек, принадлежащих одной уровенной поверхности (одному уровню), значения ортометрических высот будут различными. Этот же вывод целиком и полностью распространяется и на нормальные высоты, так как величина $\gamma_{\text{ср}}$ вычисляется и приводится в среднюю точку нормали с использованием редукции в свободном воздухе, т.е. значение $\gamma_{\text{ср}}$ зависит от геодезических широт точек уровенной поверхности. Таким образом, ни ортометрические, ни нормальные высоты, отображаемые на топографических картах, нельзя применять при создании оригиналов карт зон затоплений. Необходимо обеспечить, чтобы в локальном районе, для которого создаётся карта зон затопления, один и тот же уровень получил бы одинаковое значение высоты.

Эту задачу можно решить с использованием так называемых динамических высот, уравнение которых имеет вид.

$$\text{Н}_M^d = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{\gamma_{B=const}} H_M^\gamma. \quad (1)$$

В приведённом уравнении (1) $\gamma_{B=const}$ представляет собой среднее значение нормальной силы тяжести на средней параллели в локальном районе создания специальной карты. При таком подходе геопотенциальная величина $(W_0 - W_M)$ будет нормироваться к фиксированному значению нормальной силы тяжести, что и обеспечит единство значений высот точек, принадлежащих одной уровенной поверхности.

Значение $\boldsymbol{\gamma}_{\text{ср}}$ в уравнении (1) вычисляется по формуле,

$$\gamma_{\text{ср}} = \gamma_0 - 0.1543\text{Н}_M^\gamma, \quad (2)$$

в которой значение нормальной силы тяжести на поверхности уровенного эллипсоида в точке с геодезической широтой В находится по формуле Гельмерта:

$$\gamma_0 = 978.030(1 + 0.005302 \sin B^2 - 0.000007 \sin 2B^2), \quad (3)$$

В результате, полученных данных площадь затопленной территории, при использовании системы динамических высот, уменьшилась на 16%., поэтому для составления специальных карт зон затоплений недопустимо использовать систему нормальных высот так как полученные результаты не будут соответствовать действительности. Система динамических высот обеспечивает более достоверный результат. Для наглядности разницы зон затопления, с учётом динамических высот, представлена карта в геоинформационной системе.

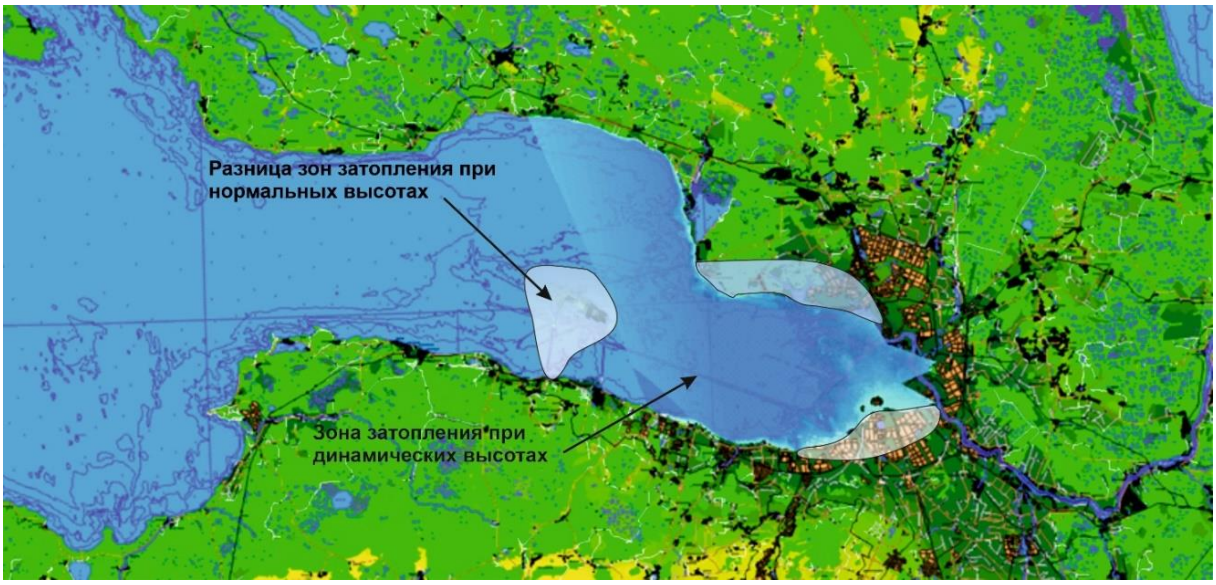


Рис. 1. Разница зон затопления

Заключение. Использование только нормальных высот для прогнозирования разливов воды является грубым упрощением, которое приводит к значительной недооценке рисков. Современные методы моделирования, учитывающие динамические высоты, являются необходимым стандартом для достоверной оценки зон затопления, эффективного планирования защитных мероприятий и обеспечения безопасности населения.

Список литературы

1. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. ГОСТ 32453-2017.
2. Астапович А.В. Учебник теория математической обработки измерений А.В. Астапович – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. – 194 с.5.
3. Большаков В.Д. Справочник геодезиста / В.Д. Большаков, Г.П. Левчук. – М.: Недра, 1975. – 1056 с.
4. Воробьёва А.А. Дистанционное зондирование Земли: учебное пособие / А.А. Воробьёва. – СПб.: Университет ИТМО, 2012. – 168 с.
5. Пальчевский Е.В., Антонов В.В, Родионова Л.Е., Кромина К.А, Фахруллина А.Р. Моделирование зон затопления на основе прогнозирования временных рядов и ГИС-технологий / Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 2024.
6. Симагин И.М., Л.В. Полуян. Моделирование зон возможных затоплений при авариях на гидротехнических сооружениях / И.М. Симагин, Л.В. Полуян. Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, 2018.
7. Хромых В.В. Цифровые модели рельефа / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.

УДК 551.438.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ РЕЛЬЕФА В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

Капинус Э.Ю.[1], Мамонтова Д.И.[2]
[1] студент, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия, edik2712200319@mail.ru
[2] студент, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия, tsssdasaa@mail.ru

Научный руководитель: Голубев Ф.М.
кандидат технических наук, доцент, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия

Аннотация. Рассмотрена устойчивость склонов в районах со сложным рельефом и неоднородными грунтами Донбасса. По методу Маслова Н.Н. проанализировано влияние свойств грунтов и морфологии склонов на коэффициент устойчивости, выявлены потенциально опасные участки. Подчёркнута необходимость комплексного подхода при прогнозировании оседаний в условиях плотной застройки.

Ключевые слова: грунт, склон, коэффициент запаса устойчивости, рельеф, крутизна, внутреннее трение.

На участках со сложным рельефом оценка устойчивости склонов особенно важна, так как различия в плотности, сцеплении и угле внутреннего трения грунта создают неравномерное сопротивление сдвигу.

Методы предельного равновесия учитывают напряжённое состояние грунта только в момент достижения предельного состояния. Количественной мерой устойчивости в этих методах служит коэффициент запаса устойчивости $k_{уст}$ (КЗУ) – отношение суммарных удерживающих сил (моментов) к сдвигающим. Он позволяет выявлять критические участки и подбирать подходящий метод расчёта. При $k_{уст} > 1$ склон считается стабильным, а при $k_{уст} \approx 1$ соответствует предельному равновесию, то есть состоянию, характерному для начала или завершения оползневого смещения.

В грунтовом массиве под действием силы тяжести породы стремятся смещаться вниз по склону. По Маслову Н. Н. устойчивость склона определяется соотношением сопротивления грунта сдвигу и касательных напряжений. Им также предложен метод устойчивого откоса, в котором КЗУ для связных и несвязных грунтов вычисляется по следующим формулам:

$$k_{\text{уст (несвяз.)}} = \frac{tg\varphi}{tg\alpha} \quad (1)$$

$$k_{\text{уст (связ.)}} = \frac{tg\Psi}{tg\alpha} \quad (2)$$

$$tg\Psi = tg\varphi + \frac{C}{\rho_o} = tg\varphi + \frac{C}{\gamma h}, \quad (3)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта; α – угол крутизны склона; Ψ – угол сопротивления грунта сдвигу; ρ_o – вертикальная естественная (природная) нагрузка; С – удельное сцепление, т/м2; γ – объёмная масса, т/м3; h – высота склона, м [1].

Согласно проведенным исследованиям, была выявлена зависимость КЗУ от типа грунта. Анализ проводился для грунтов, наиболее распространённых на территории Донбасса: суглинков, супесей и глин, представлен на рис. 1. В качестве исследуемых параметров

были выбраны средние значения углов внутреннего трения, удельного сцепления и объёмной массы грунтов (рис. 2). В качестве рассматриваемых параметров были выбраны углы крутизны рельефа α = 7-12° и высота склона h = 50 м.

Анализ удельного сцепления и объёмной массы в совокупности с углами внутреннего трения позволяет выявить закономерность, определяющую поведение КЗУ при различной крутизне склона и типе грунта – чем ниже угол внутреннего трения, тем заметнее падает устойчивость. В диапазоне крутизны в 11-12° склоны, содержащие глины и суглинки, приближаются к состоянию предельного равновесия, за которым могут последовать сдвиговые деформации [2].

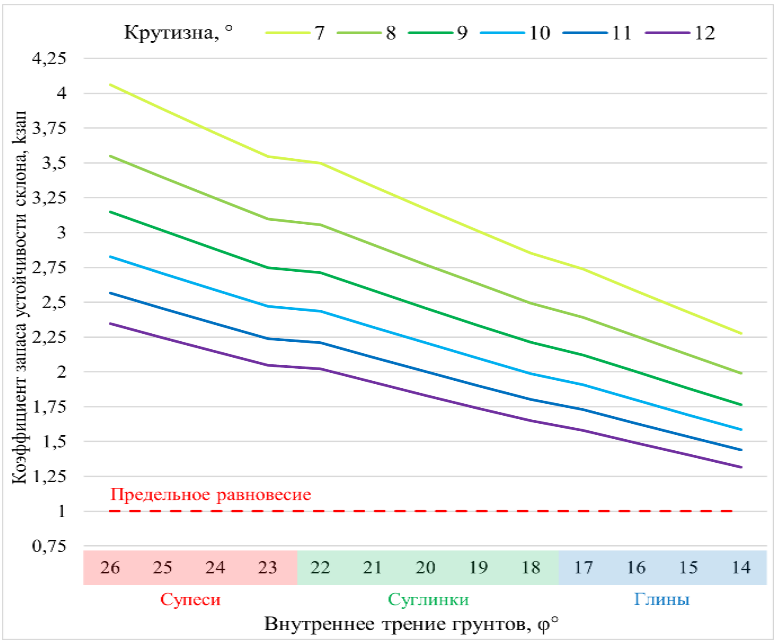


Рис. 1. График изменения КЗУ склона при изменении крутизны и внутреннего трения грунтов

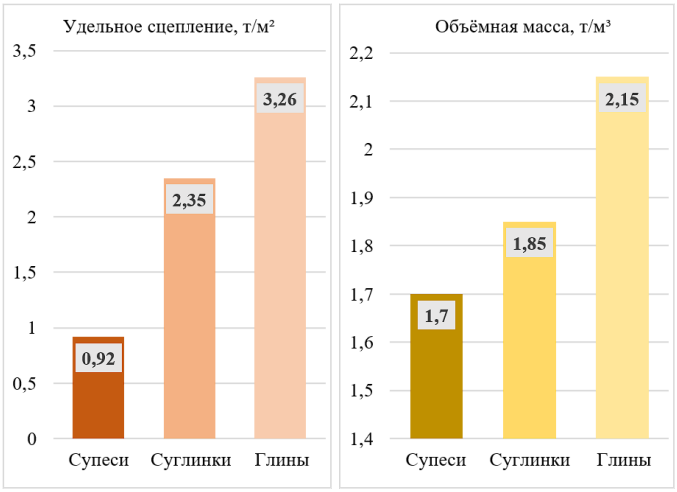


Рис. 2. Зависимость параметров удельного сцепления и объёмной массы рассматриваемых грунтов [2]

Многолетняя угледобыча наложила глубокий отпечаток на геоморфологию Донбасса, существенно изменив как поверхностный рельеф, так и внутреннее строение массива. Там, где природная неоднородность грунтов усугубляется техногенными нагрузками, складывается особая непредсказуемая геотехническая среда: подработанные зоны постепенно теряют несущую способность, что выражается в оседании поверхности, раскрытии трещин и прогрессирующих деформациях сооружений.

На территории Донбасса характерной зоной проявления деформаций земной поверхности является участок центральной части г. Донецка (рис. 3). Ворошиловский район города находится в зоне влияния горных выработок, отработанных по более чем 8 пластам шахт им. Горького и им. Калинина с перепадом высот почти в 50 м, имеет территории жилой застройки с ярко выраженными деформациями строений (рис. 4).

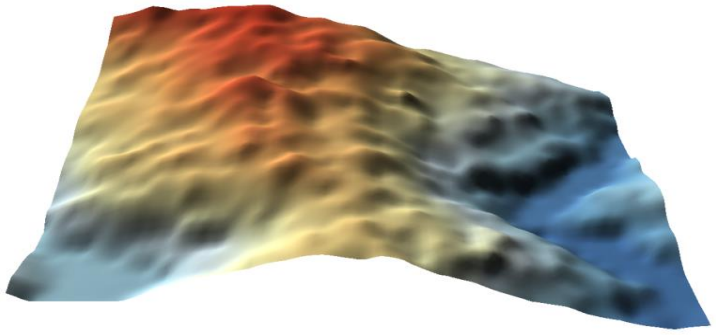


Рис. 3. Цифровая модель рельефа Ворошиловского района



Рис. 4. Повреждения жилой застройки Ворошиловского района из-за сдвижений земной поверхности

Здания на склонах и участках со сложными геологическими условиями требуют особого внимания: здесь возрастает риск оползневых смещений, а давление неустойчивых грунтов и разрыхление основания создают угрозу конструкциям. Видимые повреждения могут проявляться спустя годы после окончания горных работ, затрудняя своевременное выявление опасных зон.

Таким образом, была проанализирована зависимость прочности склонов от физико-механических свойств грунтов. Неоднородное грунтовое строение и техногенное воздействие делает склоны Донбасса зонами повышенного геотехнического риска, требующими мониторинга, особенно там, где на склонах расположены муниципальные и жилые здания и сооружения, подверженные влиянию подземных горных работ [3, 4].

Список литературы

1. Маслов, Н.Н. Прикладная механика грунтов / Н.Н. Маслов. – Москва: Издательство Минмашстроя СССР, 1949. – 328 с.
2. П 01-72. Методические рекомендации по определению динамических свойств грунтов, скальных пород и местных стройматериалов. – Введ. 01.10.1972. – Ленинград: «Энергия», 1972. – 36 с.
3. «Разработка геомеханических основ защиты объектов поверхности в условиях сложной структуры рельефа подрабатываемых территорий и исследование формирования зон интенсивных деформаций горного массива» : отчёт о НИР / руководитель Н. Н. Грищенков ; Минобрнауки РФ, ФГБНУ «РАНИМИ». – Донецк, 2023. – 169 с. – Рег. № НИОКТР 123092600006-9.
4. Муллер, Р.А. Влияние горных выработок на деформацию земной поверхности / Р.А. Муллер. – Москва: Углетехиздат, 1958. – 76 с.

УДК 528.428

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

Кондратьева Е.Р.*, Обряжаева В.А., Ращупкин Р.В.
студенты, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия
** kondrt.liza@mail.ru*

Научный руководитель: Волкова Я.А.
канд. техн. наук, и. о. заведующего кафедрой, доцент, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Фонд архитектурного наследия Российской Федерации насчитывает свыше 150 тыс. памятников, нуждающихся в системном мониторинге и своевременной реставрации. В работе рассматривается проблема внедрения высокоточных методов цифровой фиксации в практику обследования исторических зданий. Выполнен анализ современных подходов к документированию архитектурных объектов: проанализированы возможности лазерного сканирования и фотограмметрии, выявлены их достоинства и ограничения. Обоснована перспективность комбинированного применения указанных методов, позволяющего получать достоверные трехмерные модели, сочетающие геометрическую точность и реалистичную текстуру. Результаты исследования могут найти применение при проведении реставрационных работ и формировании цифровых архивов культурного наследия.

Ключевые слова: объект культурного наследия, облака точек, наземное лазерное сканирование, фотограмметрия, цифровая информационная модель.

Введение. Целью научного исследования является разработка технологии по геодезическому сопровождению реставрационных работ. Ключевая задача заключается в проведении обработки и оценке точности полученных результатов наземного лазерного сканирования (НЛС) и фотограмметрии, анализе эффективность технологии выполнения работ по НЛС в сочетании с фотограмметрическим методом для задач сохранения объектов культурного наследия [5].

Методы. В основу работы положен комбинированный метод, объединяющий наземное лазерное сканирование[1] и фотограмметрию[2] [1, 6]. Объектом исследования служила входная группа СПбГАСУ – выявленный объект культурного наследия [3].

Лазерное сканирование[3] выполнено с помощью прибора VEGA VLS-1500. Сканер устанавливался на штатив с горизонтированием, велась фотофиксация для последующей колоризации облака точек. Первоначально закладывалось четыре точки стояния, однако в ходе обработки оказалось достаточно двух. Основными помехами стали бликующие стеклянные поверхности и динамика действующего входа [2].

Камеральная обработка данных лазерного сканирования включала импорт файлов в ПО AcuteLass, автоматическую регистрацию облаков («сшивку») с формированием отчёта о качестве и последующую выгрузку в формате «.e57». В NanoCAD «Облако точек» выполнен импорт, колоризация, удаление шумов и построение срезов по лестнице и помещению [8].

---

[1] ГОСТ Р 8.794-2012. «Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Сканеры лазерные наземные. Методика поверки» (принят и введен в действие Приказом Росстандарта от 27.11.2012 N 1240-ст).

[2] ГОСТ Р 51833-2001. «Государственный стандарт Российской Федерации. Фотограмметрия. Термины и определения» (утв. и введен Постановлением Госстандарта России от 10.12.2001 N 523-ст).

[3] ГОСТ Р 72225-2025. «Национальный стандарт Российской Федерации. Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования» (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 05.08.2025 N 840-ст).

Фотограмметрическая съёмка проводилась камерой Nikon с использованием четырёх кодированных марок, расстояния между которыми измерялись тахеометром Sokkia IM-105. Снимки[4] выполнялись под углами 90° и 45° к нормали с перекрытием 60–80% [4, 7]. В Agisoft Metashape выполнены выравнивание снимков, построение плотного облака, масштабирование по тахеометрическим данным и оптимизация камер [4].

На основе плотного облака построена полигональная модель с высоким разрешением и наложением текстур [1,6].

Результаты. В ходе выполнения исследования выполнено геодезическое обеспечение реставрационных работ на объекте культурного наследия, расположенном в главном корпусе СПбГАСУ, являющемся объектом культурного наследия.

Обсуждение. Выполненное исследование подтверждает тезис о расширении роли геодезического обеспечения в современной реставрационной практике. Традиционно геодезические работы рассматривались как вспомогательный этап, предшествующий проектированию. Однако результаты настоящей работы демонстрируют, что высокоточная пространственная фиксация становится самостоятельным исследовательским инструментом [2, 5].

Полученные результаты вписываются в современное научное направление, связанное с внедрением высокоточных методов измерений в практику сохранения культурного наследия.

В ходе работы выявлены определенные ограничения применяемой технологии. Обработка больших массивов данных требует значительных вычислительных на этапах регистрации сканов и фильтрации шумов.

Заключение. Рассмотрена методика геодезического обеспечения реставрационных работ, основывающаяся на комбинировании наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии. Подтверждена эффективность предложенного подхода, обеспечивающего получение геометрически достоверных и визуально полных пространственных данных об объекте культурного наследия.

Полученные результаты вписываются в современное научное направление, связанное с внедрением высокоточных методов измерений в практику сохранения культурного наследия.

Направления будущих исследований видятся в широком применении геодезических методов в реставрационных работах.

Список литературы

1. Шарафутдинова А.А., Брынь М.Я. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 57–67. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67. – EDN UONPQL.

2. Анна Юрьевна Майничева, Евгения Александровна Груздева, Елена Юрьевна Орлова МЕТОДИКА ОБМЕРОВ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ) // Вестн. Том. гос. ун-та. Культурология и искусствоведение. 2023. №51. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obmerov-zdaniy-metodom-lazernogo-skanirovaniya-na-primer… (дата обращения: 21.03.2026).

[4] ГОСТ Р 58854-2020. «Национальный стандарт Российской Федерации. Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий.» (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2020 г. № 204-ст).

3. Гришин В.В., Новиков И.А. Оптимизация обработки больших массивов данных лазерного сканирования // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2024. № 2. С. 67–75.

4. М.В. Ольшанская ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ЭФФЕКТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЕКТАМИ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ // Вестник Академии знаний. 2025. №3 (68). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-podhody-k-effektivnomu-upravleniyu-obektami-kultur… (дата обращения: 21.03.2026).

5. Гиря Лидия Владимировна, Трофимов Георгий Павлович ОБСЛЕДОВАНИЕ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЁХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ // Вестник ТГАСУ. 2022. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obsledovanie-pamyatnikov-arhitektury-s-ispolzovaniem-sovremennyh-… (дата обращения: 21.03.2026).

6. Гура Д.А. Анализ эффективности современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 132–142. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142

7. Жидяев, С.С. Комплексное исследование точности и надежности различных методов наземного лазерного сканирования и обработки полученных данных / С.С. Жидяев, П.В. Молоков // Вестник МИИГАиК : Сборник научных статей 79-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках Международной Студенческой Недели Науки СНН-2024, Москва, 08–12 апреля 2024 года. – Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2024. – С. 115-127. – EDN UMDWUW.

8. Башимов А.Ш., Чарыев Б. ОТРАЖЕНИЕ ПРОШЛОГО В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ: ФОТОГРАММЕТРИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЕЙ // Инновационная наука. 2023. №12-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otrazhenie-proshlogo-v-trehmernom-prostranstve-fotogrammetriya-ka… (дата обращения: 25.03.2026).

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Кубайдуллина У.А., Байгали Р.К.
преподаватель, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан

Научный руководитель: Мустафин М.Г.
д.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается методика мониторинга деформаций земной поверхности на рудных месторождениях с использованием данных аэрофотосъёмки, выполненной с применением беспилотных летательных аппаратов. На основе разновременных съёмок сформированы геопространственные данные и цифровые модели местности, приведённые к единой системе координат и пространственному разрешению. Вертикальные смещения определены путём поэлементного вычитания значений пикселей карт высот, полученных для различных эпох наблюдений. Горизонтальные смещения рассчитаны на основе сопоставления характерных точек, выделенных на теневых изображениях цифровых моделей местности. Применение предложенного подхода позволяет выявлять и анализировать зоны деформационной активности в пределах рудных месторождений.

Ключевые слова: БПЛА, маркшейдерия, мониторинг деформаций, фотограмметрия, геопространственные данные.

Введение. Мониторинг деформаций земной поверхности на рудных месторождениях является одной из ключевых задач маркшейдерско-геодезического обеспечения горных работ. В условиях интенсивной техногенной нагрузки, обусловленной как открытым, так и подземным способом разработки, возникают деформационные процессы, проявляющиеся в виде осадок, просадок, сдвижений и локальных нарушений рельефа [1-2]. Своевременное выявление и количественная оценка таких изменений необходимы для обеспечения промышленной безопасности, устойчивости бортов карьеров и рационального планирования горных работ. Традиционные наземные методы мониторинга, включая тахеометрические и нивелирные измерения, обладают высокой точностью, однако характеризуются ограниченной пространственной дискретностью и значительными трудозатратами при обследовании протяжённых или труднодоступных участков. В связи с этим всё более широкое применение получают методы дистанционного зондирования Земли, в частности аэрофотосъёмка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Применение БПЛА позволяет оперативно получать детализированные данные о поверхности месторождений, формировать цифровые модели местности и проводить многовременной анализ деформаций. Целью данного исследования является обоснование применения БПЛА для мониторинга деформаций земной поверхности на рудных месторождениях на основе сравнения разновременных карт высот с целью определения вертикальных и горизонтальных смещений.

Методы. Исходными данными для мониторинга деформаций служат результаты многократных аэрофотосъёмок одного и того же участка месторождения, выполненныхс использованием БПЛА [3-5]. Съёмка осуществляется по заранее заданному полётному заданию с обеспечением требуемого продольного и поперечного перекрытия снимков, что позволяет получить фотограмметрически корректные материалы для последующей обработки [6-7]. На этапе камеральной обработки аэрофотоснимков выполняется фотограмметрическая реконструкция сцены, включающая определение элементов внешнего ориентирования, построение плотного облака точек и формирование

цифровой модели местности (ЦММ). Геопространственная привязка данных обеспечивается за счёт использования опорных наземных марок и бортовых спутниковых навигационных измерений, что позволяет получить модели в единой системе координат [8-10]. Для анализа деформаций используются разновременные ЦММ одинакового пространственного разрешения и с идентичной геопространственной привязкой. Определение вертикальных смещений осуществляется путём прямого вычитания высотных значений соответствующих ячеек моделей. Такой подход позволяет получить карту вертикальных деформаций, отражающую осадки и подъёмы поверхности. Определение горизонтальных смещений основано на сравнении теневых изображений (hillshade), построенных по цифровым моделям местности. На данных изображениях автоматически выделяются и сопоставляются характерные точки с использованием алгоритмов компьютерного зрения. Для каждой пары соответствующих точек рассчитываются векторы смещения, характеризующие направление и величину горизонтального перемещения поверхности между моментами съёмки. Полученные векторы фильтруются с целью исключения шумных и аномальных значений.

Результаты. В результате обработки аэрофотосъёмок были сформированы высокодетализированные цифровые модели поверхности рудного месторождения, обладающие высокой пространственной разрешающей способностью. Разностный анализ карт высот позволил выявить участки с выраженными вертикальными деформациями, приуроченными к зонам ведения горных работ и техногенного воздействия. Анализ горизонтальных смещений показал наличие направленных перемещений поверхности, пространственно согласованных с конфигурацией горных выработок и элементами рельефа. Векторное представление смещений позволило наглядно отразить кинематические особенности деформационных процессов и выявить зоны повышенной активности. Фильтрация шумных значений привела к существенному повышению устойчивости результатов и позволила исключить локальные аномалии, обусловленные ошибками сопоставления или особенностями текстуры поверхности. Полученные данные подтвердили возможность применения БПЛА для комплексного анализа деформаций как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Обсуждение. Результаты исследования демонстрируют высокую информативность БПЛА как инструмента мониторинга деформаций земной поверхности на рудных месторождениях. В отличие от традиционных наземных измерений, аэрофотосъёмка обеспечивает сплошное покрытие территории и позволяет анализировать деформационные процессы в пространственном контексте. Сравнение карт высот является надёжным методом определения вертикальных смещений при условии одинакового разрешения моделей и корректной геопространственной привязки. В то же время анализ горизонтальных смещений на основе сопоставления характерных точек позволяет выявлять сдвижения, которые не всегда фиксируются при анализе только высотных изменений. Следует отметить, что точность определения смещений зависит от качества исходных данных, параметров съёмки и алгоритмов обработки. Поэтому важным этапом является фильтрация результатов и оценка их достоверности. Интеграция данных БПЛА с классическими маркшейдерскими измерениями может рассматриваться как перспективное направление для повышения надёжности мониторинга.

Заключение. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга деформаций земной поверхности на рудных месторождениях является эффективным и технологически обоснованным решением. Использование разновременных цифровых моделей местности позволяет выявлять и количественно оценивать как вертикальные, так и горизонтальные смещения поверхности. Методы сравнения карт высот и анализа векторных смещений обеспечивают комплексное представление о деформационных процессах и могут быть использованы для оперативного контроля состояния

горных объектов. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения БПЛА в систему маркшейдерского мониторинга рудных месторождений и создают основу для дальнейшего развития методов анализа деформаций на основе геопространственных данных.

Благодарности: *Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН №AP22788508).*

Список литературы

1. Mine subsidence monitoring integrating DS-InSAR with UAV photogrammetry products: case studies on Hebei and Inner Mongolia / J. Zhao, X. Yang, Z. Zhang, Y. Niu, Z. Zhao // Remote Sensing. – 2023. – V. 15(20). – P. 4998. DOI: 10.3390/rs15204998.

2. InSAR-based multi-source monitoring and modeling of multi-seam mining-induced deformation and hazard chain evolution in the loess gully region / Q. Zhang, Z. Guo, M. Wang, J. Mei, L. Liu, T. Ashraf, X. Wang // Remote Sensing. – 2025. – V. 17(24). – P. 3993. DOI: 10.3390/rs17243993.

3. Monitoring mining surface subsidence with multi-temporal three-dimensional unmanned aerial vehicle point cloud / X. Liu, W. Zhu, X. Lian, X. Xu // Remote Sensing. – 2023. – V. 15(2). – P. 374. DOI: 10.3390/rs15020374.

4. Surface subsidence monitoring induced by underground coal mining by combining DInSAR and UAV photogrammetry / Y. Zhang, X. Lian, L. Ge, X. Liu, Z. Du, W. Yang, Y. Wu, Y. Cai // Remote Sensing. – 2022. – V. 14(19). – P. 4711. DOI: 10.3390/rs14194711.

5. Construction of high-precision and complete images of a subsidence basin in sand dune mining areas by InSAR-UAV-LiDAR heterogeneous data integration / R. Wang, S. Huang, Y. He, K. Wu, Y. Gu, Q. He, H. Yan, J. Yang // Remote Sensing. – 2024. – V. 16(15). – P. 2752. DOI: 10.3390/rs16152752.

6. Integrated high-precision monitoring method for surface subsidence in mining areas using DInSAR, SBAS, and UAV technologies / M. Zhu, X. Yu, H. Tan, J. Yuan // Scientific Reports. – 2024. – V. 14. – P. 12445. DOI: 10.1038/s41598-024-63400-5.

7. Analysis of surface deformation and related factors over mining areas based on InSAR: A case study of Fengcheng mine / X. Wang, S. Chen, Y. Xia, Y. Niu, J. Gong, Y. Yang // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2024. – V. XLVIII-1. – P. 697−712. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-697-2024.

8. Research Progress and Prospect on Ecological Disturbance Monitoring in Mining Area / Y.J. Wang // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. – 2017. – V. 46. – P. 1705−1716.

9. Estimation of ground subsidence in the city of Morelia, Mexico using satellite interferometry (InSAR) / P. Lopez-Quiroz, S.H. Jaramillo, G. Suarez, O. Sanchez-Zamora // Geofísica Internacional. – 2018. – V. 57. – P. 39−58.

10. Tracking Deformation Processes at the Legnica−Glogow Copper District (Poland) by Satellite InSAR−I: Room and Pillar Mine District / B. Antonielli, A. Sciortino, S. Scancella, F. Bozzano, P. Mazzanti // Land. – 2021. – V. 10. – P. 653.

АНАЛИЗ И ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

Лавренчук Н.В.
студент, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия, lavrencuknikita97@gmail.com

Научный руководитель: Голубев Ф.М.
к.т.н., доцент, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия

Аннотация. В работе выполнен сравнительный анализ продолжительности активной фазы сдвижения земной поверхности – периода, за который она опускается до установленных значений. Расчеты выполнены по единым формулам нормативных документов с использованием двух различных источников исходных данных: общих рекомендаций и регионально адаптированных данных для условий Донбасса. В качестве эталона приняты данные натурных наблюдений. Выполнены серийные расчеты при варьировании ключевых параметров: глубины (200–450 м), угла падения пласта (5–10°) и граничных углов (65–75°). Установлено, что выбор исходных данных может изменять результат в диапазоне от -32 % до +32 %. Показано, что использование региональных данных позволяет существенно снизить наиболее опасные ошибки, связанные с занижением прогноза, до 22 %.

Ключевые слова: сдвижение горных пород, продолжительность сдвижения, правила охраны, угол падения, граничные углы, Донецкий бассейн.

Введение. Обеспечение точности прогноза деформаций земной поверхности при подземной угледобыче является актуальной задачей маркшейдерского дела, особенно в условиях многократной подработки пластов Донбасса. В практике прогнозирования длительное время применяются два основных нормативных документа: «Правила охраны сооружений...» (ПБ 07-269-98) [1] и отраслевой стандарт «Правила подработки...» [2], разработанный специально для условий Донбасса на основе многолетних наблюдений. Важно отметить, что формулы для расчета продолжительности процесса сдвижения в обоих случаях идентичны и взяты из [1], а ключевые различия заключаются в значениях исходных параметров (углах сдвижения), подставляемых в эти формулы. Цель работы – количественно оценить, насколько сильно выбор того или иного источника исходных данных влияет на точность итогового прогноза продолжительности активной фазы сдвижения.

Методы. Расчет общей продолжительности процесса сдвижения (T, мес) выполнен по формулам «Правил охраны...» [1], которые учитывают глубину работ (H), скорость подвигания забоя (C) и углы, определяющие геометрию зоны сдвижения. В зависимости от направления подвигания очистного забоя продолжительность определяется по следующим зависимостям:

- при подвигании забоя по простиранию:

$$T_1 = k_T \frac{H}{C}\left(ctg\delta_0 + ctg\psi_3\right) \quad (1)$$

- при подвигании по падению:

$$T_2 = k_T \frac{H}{C}\left(\frac{\cos(\psi_3 + \alpha)}{\sin\psi_1} + \frac{\cos\beta_0}{\sin(\beta_0 + \alpha)}\right) \quad (2)$$

- при подвигании по восстанию:

$$T_3 = k_T \frac{H}{C}\left(\frac{\cos\gamma_0}{\sin(\gamma_0 - \alpha)} + \frac{\cos(\psi_2 - \alpha)}{\sin\psi_2}\right) \quad (3)$$

где δ_0, β_0, γ_0 – граничные углы в коренных породах, характеризующие общие размеры мульды сдвижения; ψ_1, ψ_2, ψ_3 – углы полных сдвижений, определяющие положение точек с максимальным оседанием; α – угол падения пласта; H – глубина горных работ; C – средняя скорость подвигания очистного забоя; k_T – эмпирический коэффициент.

Для анализа влияния горно-геологических условий были выбраны следующие диапазоны варьируемых параметров, характерные для шахт Донбасса: глубина H (200, 300, 450 м), угол падения α (5°, 8°, 10°) и граничные углы (65°, 70°, 75°). Для обеспечения сопоставимости результатов значения всех трех граничных углов (δ_0, β_0, γ_0) принимались равными и варьировались синхронно. Скорость подвигания забоя C принята постоянной (50 м/мес). Реализовано два способа задания исходных данных для углов полных сдвижений (ψ): **Способ 1** – по общим рекомендациям [1]; **Способ 2** – по региональным данным отраслевого стандарта [2]. Полученные для всех 27 сочетаний параметров результаты сопоставлялись с эталонными значениями из таблицы 5.2 [2], которая обобщает многолетние инструментальные наблюдения на шахтах Донбасса. Расчеты автоматизированы с помощью специализированного модуля на VBA.

Результаты. В ходе исследования установлены следующие закономерности. Качественно оба способа ведут себя схоже: наблюдается завышение прогнозной длительности для направления по восстанию (T_3) и занижение для направления по падению (T_2) с ростом угла падения (α) и глубины (H). Выявлена критическая зависимость результатов от величины граничных углов – их изменение с 65° до 75° может скорректировать итоговое значение на 20–25 %. Количественно определены диапазоны отклонений от эталонных данных. **Способ 1** (общие рекомендации [1]) показал разброс результатов от -32 % до +31 %. Наибольшую опасность представляет занижение прогноза до -32 % для T_2 на глубоких горизонтах (450 м) при угле падения 10° и граничных углах 75°. **Способ 2** (региональные данные [2]) характеризуется более узким диапазоном: от -22 % до +32 %. Достигнуто существенное снижение наиболее опасных отрицательных отклонений (занижения) с -32 % до -22 %.

Обсуждение. Сравнительный анализ показал, что выбор источника исходных данных имеет решающее значение для достоверности прогноза. Использование регионально адаптированных данных (Способ 2) позволяет существенно повысить точность прогноза, особенно на глубоких горизонтах (450 м), и снизить риск занижения длительности процесса, что могло бы привести к недостаточности защитных мероприятий. Это подтверждает необходимость учета региональных особенностей при использовании унифицированных расчетных зависимостей. Тем не менее, выявлены зоны повышенного риска, общие для обоих способов (завышение T_3 до 32 % при малых граничных углах 65–70°), что говорит о необходимости дальнейшей калибровки самих расчетных формул (1)–(3) для таких сочетаний параметров.

Заключение. В результате исследования количественно доказано, что исходные данные являются ключевым фактором, определяющим точность прогноза продолжительности сдвижения. Для условий Донбасса предпочтительным является использование Способа 2 [2], обеспечивающего меньший риск опасных ошибок и лучшую сходимость с натурными наблюдениями. Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение региональных параметров для глубоких горизонтов и совершенствование расчетных зависимостей для направлений по падению и восстанию при больших углах падения.

Благодарности: *Автор выражает благодарность научному руководителю доц. Голубеву Ф.М. за консультации и помощь в интерпретации результатов.*

Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: ПБ 07-269-98. – М.: Госгортехнадзор России, 1998. – 120 с.
2. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003 (НПАОН 10.0-1.01-03). – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 128 с.
3. Ларченко В.Г. Скорректированная методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 45–58.
4. Викторов С.Д., Гончаров С.А., Иофис М.А., Закалинский В.М. Механика сдвижения и разрушения горных пород / Отв. ред. К.Н. Трубецкой. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – 360 с.
5. Ларченко В.Г., Маталкина Ю.А., Шпакова А.О. Определение продолжительности процесса сдвижения подработанной толщи пород и земной поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 5–14.
6. Ларченко В.Г., Коваленко Е.В., Маталкина Ю.А. Исследование влияния глубины подработки на параметры процесса сдвижения земной поверхности // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2017. – Вып. 7 (50). – С. 53–57.
7. Голубев Ф.М., Репина К.В. Особенности влияния многократной подработки на продолжительность процесса сдвижения земной поверхности // Маркшейдерия и недропользование. – 2025. – Т. 25. – № 6. – С. 84–89.

УДК 332.63

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Лазарева А.А.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия, aleksandra05072002@mail.ru

Научный руководитель: Пирогова О.Е.
доктор экономических наук, доцент, профессор Высшей школы сервиса и торговли
Института промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представленное исследование посвящено анализу основных проблем существующей системы кадастровой оценки земельных участков, используемых для целей недропользования. Автор подчеркивает, что форсированное развитие добывающих отраслей диктует необходимость пересмотра традиционных моделей оценки, которые сегодня слабо учитывают специфику деградации почв и техногенную трансформацию рельефа. В работе обозначены фундаментальные противоречия существующей системы и предложены конкретные инструменты по внедрению ГИС-технологий и дифференцированных коэффициентов для повышения точности расчетов.

Ключевые слова: кадастровая оценка, земельные участки, недропользование, кадастровая стоимость, земельные ресурсы, землепользование.

Современная парадигма кадастрового учета требует перехода от статических методов к динамическому мониторингу с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и технологий машинного обучения. Внедрение автоматизированных алгоритмов анализа спутниковых снимков позволяет в реальном времени фиксировать фактические границы техногенного воздействия, которые зачастую выходят за рамки официально отведенных земельных отводов [7]. Подобная прозрачность данных не только минимизирует коррупционную составляющую при проведении массовой оценки, но и формирует базу для «справедливого» налогообложения, основанного на реальном экологическом следе предприятия, а не на устаревших архивных ведомостях.

Нельзя игнорировать и тот факт, что в условиях текущей волатильности рынков и изменения вектора экспортных потоков, кадастровая стоимость становится инструментом стратегического регулирования. Существует риск того, что чрезмерная фискальная нагрузка, обусловленная завышенной оценкой промышленных земель, может спровоцировать отток инвестиций из глубокой переработки в сторону менее капиталоемких добычных проектов [5]. Необходимо выработать механизм гибких коэффициентов, которые бы учитывали не только текущую рыночную стоимость земли, но и долгосрочные обязательства недропользователей по рекультивации территорий после завершения жизненного цикла месторождения, что превратит кадастровую оценку из инструмента изъятия прибыли в фактор устойчивого развития региона.

Эффективное управление земельным фондом сегодня невозможно представить без адекватной экономической базы, которой выступает государственная кадастровая оценка. Несмотря на наличие утвержденных методик, именно в сегменте недропользования наблюдается наиболее острый конфликт между фискальными интересами государства и реальной ценностью активов [1]. Участки, выделяемые под добычу и инфраструктуру, эксплуатируются в условиях экстремальной антропогенной нагрузки,

что априори выделяет их в категорию земель со специфическим жизненным циклом [2, 8].

Как правило, такие земли относятся к категории промышленности, однако их оценка зачастую проводится по инерции – без глубокого анализа реальной трансформации ландшафта. Разрушение рельефа, истощение почвенного слоя и общее экологическое обременение – это не просто сопутствующие эффекты, а мощные ценообразующие факторы [4, 5, 10]. Тем не менее, действующий инструментарий ГКО (государственной кадастровой оценки) продолжает опираться на принципы массовости и унификации. Это создает парадоксальную ситуацию: методика, удобная для администрирования, оказывается абсолютно нечувствительной к индивидуальным характеристикам месторождений [3, 6].

Основные проблемные узлы, ограничивающие объективность оценки в сфере недропользования, наглядно представлены ниже на рисунке 1.



Рис.1. Основные проблемы кадастровой оценки земельных участков, используемых для целей недропользования

Глядя на структуру проблем, отраженных на рисунке 1, становится очевидно: игнорирование стадии освоения месторождения – один из главных факторов искажения стоимости. Нельзя оценивать участок на этапе геологоразведки и в период глубокой рекультивации по одним и тем же шаблонам [7]. Справедливости ради стоит отметить, что корреляция между фактическим состоянием земель и их кадастровой стоимостью в текущих отчетах часто носит случайный характер, что неизбежно ведет к судебным спорам и пересмотру налоговой базы.

Для исправления ситуации недостаточно просто «подкрутить» коэффициенты. Необходим переход к динамической модели оценки. Во-первых, требуется жесткая дифференциация факторов с привязкой к интенсивности недропользования и уровню накопленного экологического ущерба. Во-вторых, «слепые зоны» в данных мониторинга должны закрываться внедрением ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования, что позволит видеть реальную картину техногенного воздействия в режиме онлайн, а не только на бумаге [9].

Подводя итог, следует признать: текущая модель кадастровой оценки земель недропользования требует глубокой ревизии. Переход от формализованного массового подхода к учету функциональной специфики и фактического экологического состояния – это не просто академическое пожелание, а необходимость для формирования справедливого рынка земельных ресурсов и экологической безопасности регионов.

Список литературы

1. Приказ Росреестра от 04.08.2021 № П/0336 (ред. от 15.09.2025) «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке» // СПС «КонсультантПлюс». – Режим доступа: https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosreestra-ot-04082021-n-p0336-ob-utverzhdenii-metodicheskikh/ (дата обращения: 01.03.2026).
2. Волович, Н.В. Методика оценки земельных участков, предоставленных для пользования недрами / Н.В. Волович // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2024. – № 10. – С. 23–33.
3. Быкова Е.Н., Хайкин М.М., Шабаева Ю.И., Белобородова М.Д. Развитие методологии экономической оценки земельных участков для добычи и переработки твердых полезных ископаемых // Записки Горного института. 2023. Т. 259. С. 52-67. DOI: 10.31897/PMI.2023.6.
4. Рынок недвижимости [Текст] : учебное пособие / О.Е. Пирогова ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – Курск: Университетская книга, 2018. – 132 с.: ил., табл.: 20 см.; ISBN 978-5-907138-45-2.
5. Гилева, Л.Н. Мониторинг земель как информационная основа управления использованием земельных ресурсов и объектов недвижимости: учебное пособие / Л.Н. Гилева. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – 128 с. – ISBN 978-5-9961-1776-5. – EDN VLCYKP.
6. Пирогова, О.Е. Разработка методики оценки наиболее эффективного использования земельного участка / О.Е. Пирогова, М.И. Файзуллин // Международный научный журнал. – 2022. – № 4(85). – С. 17-26. – DOI 10.34286/1995-4638-2022-85-4-17-26. – EDN PUSZJU.
7. Лифар, П.А. Методика и особенности оценки стоимости земельных участков / П.А. Лифар, С.А. Броницкая // Молодежь и наука. – 2025. – № 10. – EDN LOQWNU.
8. Инновационные технологии для устойчивого развития земельно-имущественного комплекса: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Улан-Удэ, 12 апреля 2023 года. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2023. – 228 с. – ISBN 978-5-8200-0535-0. – EDN SLUHSO.
9. Актуальные вопросы государственного управления земельными ресурсами / М.Л. Шер, Д.В. Дудник, Е.Л. Опрышко, Л.В. Миронов // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 11-2. – С. 362-368. – DOI 10.17513/vaael.1434. – EDN SSBEUU.
10. Visualization of 3D Property Data and Assessment of the Impact of Rendering Attributes / S. Seipel, M. Andrée, K. Larsson [et al.] // Journal of Geovisualization and Spatial Analysis. – 2020. – Vol. 4, No. 2. – P. 1-17. – DOI 10.1007/s41651-020-00063-6. – EDN XHLLHE.

УДК: 528.48:004.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ОБУСТРОЙСТВА МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Минченко Е.В.
аспирант, СГУГиТ, Новосибирск, Россия, *i.minchenko.e.v@gmail.com*

Научный руководитель: Уставич Г.А.
доктор технических наук, профессор, СГУГиТ, Новосибирск, Россия

Аннотация. Освоение минерально-сырьевой базы Арктической зоны требует обустройства месторождений – строительства промысловых трубопроводов, дорог и инфраструктуры. Однако, экстремальные природные условия и сложные мерзлотные процессы ограничивают применение традиционных методов. В работе предлагается сквозная методика, объединяющая адаптированные к северным условиям полевые работы, а также систему цветовой маркировки труб и создание интерактивных цифровых инженерно-топографических планов с гиперссылками на фотоматериалы. Такой подход позволяет перенести идентификацию объектов на полевой этап, сократить время камеральной обработки и повысить достоверность данных для проектирования, строительства и реконструкции объектов обустройства месторождений.

Ключевые слова: инженерно-геодезические изыскания, Крайний Север, вечная мерзлота, инженерные коммуникации, цветовая маркировка, цифровой топографический план, визуализация.

Введение. Обустройство месторождений в Арктической зоне РФ – строительство промысловых трубопроводов, дорог, ЛЭП, вахтовых поселков [1] требует достоверных топографо-геодезических данных. Однако стандартные методики изысканий в значительной степени не учитывают экстремальные природные факторы Крайнего Севера: вечную мерзлоту, низкие температуры (до минус 50°С) и сезонные ограничения [2]. Кроме того, высокая плотность наземных и надземных коммуникаций на промплощадках и наличие выведенных из эксплуатации сетей приводят к перегруженности топографических планов и ошибкам при их дешифрировании камеральной группой [3]. Целью работы является разработка методики производства инженерно-геодезических изысканий, адаптированной к специфике обустройства месторождений в условиях Крайнего Севера.

Методы. Методология исследования базируется на анализе климатических и мерзлотных факторов [4], влияющих на геодезические работы, и последующей разработке технологического решения, позволяющего перенести задачу идентификации коммуникаций с этапа камеральной обработки на полевой этап. Обязательным элементом технологического процесса на полевом этапе является фотофиксация маркированных узлов с привязкой к пикетам топографической съемки. На абрисе фиксируется номер пикета и соответствующего ему номера фотографии, что в дальнейшем позволяет однозначно идентифицировать и привязать снимок к цифровой модели местности (ЦММ) [5]. Камеральный этап предусматривает обработку данных в отечественном ПО (ТИМ КРЕДО, nanoCAD) с созданием многослойных цифровых инженерно-топографических планов (ЦТП) и интеграцией гиперссылок на фотоматериалы непосредственно в чертеж [6]. Также данная методика может быть реализована и при производстве исполнительных съемок на промплощадках.

Методика объединяет адаптированные к условиям Крайнего Севера полевые работы, систему унифицированной цветовой маркировки труб и создание интерактивного ЦТП с гиперссылками на фотоматериалы.

Результаты. Предложенная методика апробирована при изысканиях для реконструкции сетей водоснабжения в г. Норильске. Применение глубинных реперов исключило деформацию знаков из-за пучения грунтов. Цветовая маркировка в полевых условиях позволила однозначно идентифицировать тип сетей на этапе съемки, исключив необходимость их дешифрирования камеральной группой. Создание многослойных ЦТП с дополнительными подуровнями (например, «Водопровод», «Холодная», «Сталь», «150») обеспечило гибкость в работе с данными, а встроенные гиперссылки на фотографии сложных узлов (пересечений, запорной арматуры) предоставили проектировщикам «эффект присутствия» без выезда на объект.

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что внедрение технологии цветовой маркировки инженерных коммуникаций позволяет провести принципиальную реорганизацию процесса инженерно-геодезических изысканий, сместив ответственность за семантическую идентификацию на полевой этап. Это не только ускоряет процесс выполнения работ, но и практически исключает семантические ошибки при отображении коммуникаций на плане в условиях плотной застройки. Кроме того, интеграция визуализации в ЦТП создает качественно новый интерактивный продукт, востребованный на всех стадиях жизненного цикла объекта.

Заключение. Разработанная сквозная методика инженерно-геодезических изысканий для условий Крайнего Севера позволяет:

1) обеспечить безопасность и достоверность выполнения полевого этапа работ за счет адаптации к экстремальным условиям;

2) сократить время камеральной обработки на 30–40% и исключить семантические ошибки за счет внедрения цветовой маркировки;

3) создать интерактивный ЦТП, служащий достоверной основой для проектирования, строительства, реконструкции и последующей эксплуатации объектов обустройства месторождений.

Дальнейшие исследования будут направлены на автоматизацию распознавания маркировки и интеграцию данных в системы информационного моделирования.

Список литературы

1. Котляков В.М. Многолетняя мерзлота: Большая российская энциклопедия. Том «Россия». С. 63–65 // БРЭ. В 35 т. плюс том «Россия». – М.: Изд-во «Большая российская энциклопедия», 2004–2017. 27957 с.

2. Мустафин, М.Г. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение Арктической зоны Российской Федерации / М.Г. Мустафин, В.Н. Баландин, М.Я. Брынь [и др.]. – Текст: непосредственный // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 375–382. – DOI 10.31897/PMI.2018.4.375.

3. Мурзинцева, М.В. Этапы проектирования инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки / М. В. Мурзинцева, Е. В. Минченко, М. Н. Мурзинцев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 96-102. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-96-102.

4. Минченко, Е. В. Особенности инженерно-геодезических работ в условиях Крайнего Севера / Минченко Е.В., Рябова Н.М. – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 73-80. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-73-80.

5. Минченко, Е.В. Методика повышения информативности отображения коммуникаций на инженерно-топографических планах / Е.В. Минченко // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 15-22 (уточнить выходные данные, если статья уже опубликована, или оставить как в макете).

6. Минченко, Е.В. Технологическая схема составления цифровых топографических планов с элементами визуализации при проектировании инженерных коммуникаций / Е.В. Минченко, М.В. Мурзинцева, А.В. Овчинников // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1, № 1. – С. 87-94. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-1-87-94.

ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ ОСНОВЫ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗВИТОЙ СЕТЬЮ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Мурзинцева М.В.
аспирант, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия, murzmv@mail.ru

Научный руководитель: Уставич Г.А.
доктор технических наук, профессор, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия.

Аннотация. Рассматривается проблема объединения разнородных пространственных данных, получаемых в ходе проведения инженерно-геодезических изысканий на территориях с развитой сетью инженерных коммуникаций. Предложен подход к интеграции материалов наземной съемки, аэрофотосъемки, архивных топографических планов, фотопанорам и атрибутивной информации в единую цифровую среду на базе отечественной геоинформационной платформы GSEE. Описаны результаты апробации подхода, демонстрирующие формирование структурированной цифровой основы, пригодной для решения задач проектирования и эксплуатации инженерных сетей.

К**лючевые слова:** инженерно-геодезические изыскания, интеграция данных, пространственные данные, инженерные коммуникации, GSEE, цифровая основа, геоинформационная платформа.

Введение. Современные инженерно-геодезические изыскания для территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций (нефтепроводов, водопроводов, газопроводов, линий электропередачи) характеризуются значительным объемом разнородных исходных данных. В процессе выполнения работ формируются материалы различных типов: результаты тахеометрической съемки и спутниковых наблюдений, ортофотопланы с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), фотопанорамы 360°, атрибутивные таблицы и техническая документация [1]. Традиционный подход, предполагающий раздельное хранение и обработку этих данных в различных программных средах, приводит к информационной разрозненности, дублированию информации, затрудняет поиск и актуализацию сведений, а также повышает риск ошибок при проектировании [2].

Целью настоящей работы является разработка и апробация подхода к интеграции разнородных пространственных данных в единую цифровую среду для формирования структурированной цифровой основы территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций [3–5]. Под цифровой основой понимается совокупность согласованных пространственных данных (векторных, растровых, 3D) и связанной с ними семантической информации, представленных в единой системе координат и пригодных для решения прикладных задач.

Методы. В качестве базовой платформы для интеграции данных выбрана отечественная геоинформационная система GSEE (Geocad System Enterprise Edition), официально включенная в Реестр российского программного обеспечения [6].

Предложенный подход к интеграции включает следующие этапы.

1. Сбор и систематизация исходных данных, поступающих из различных источников [7]. Импорт данных в среду GSEE с сохранением их структуры и атрибутивной информации. Установление связей между объектами и семантическое наполнение.
2. Пространственный анализ и контроль качества созданной цифровой основы.
3. Формирование итогового интегрированного продукта для передачи заказчику или проектной организации.

Апробация подхода выполнялась на объектах с развитой сетью надземных и наземных коммуникаций, включая участки инженерных сетей территории Ханты-Мансийского автономного округа [5].

Результаты. В ходе апробации в платформу GSEE были интегрированы следующие типы данных по технологическим объектам предприятий нефтегазовой промышленности:

– ортофотопланы масштаба 1:500, полученные с БПЛА (формат GeoTIFF);

– данные наземного лазерного сканирования технологических площадок и эстакад (формат LAS с последующей обработкой);

– трехмерные фотореалистичные модели, построенные по материалам аэрофотосъемки;

– векторные цифровые модели местности по результатам инженерно-геодезических изысканий;

– фотопанорамы 360° узлов инженерных коммуникаций и технологических объектов;

– векторные 3D объекты, по данным лазерного сканирования, содержащие атрибутивные данные о характеристиках сетей (диаметр, материал, год прокладки), внесенные в таблицы базы данных, документы (фотофиксацию, исполнительные схемы).

Обсуждение. Предложенный подход к интеграции разнородных пространственных данных обеспечивает переход от разрозненных информационных массивов к единой структурированной цифровой основе территории. Ключевыми преимуществами являются.

1. Создание единого информационного пространства – все данные об объектах будут доступны в одной системе, с возможностью одновременного отображения и анализа.
2. Сохранение структурированности – при импорте из САПР сохраняется слоевая организация объектов, что позволяет продолжать работу в привычной логике.
3. Семантическое обогащение – объекты наделяются атрибутами и связываются с внешней документацией, превращая чертеж в информационную базу.
4. Повышение наглядности – совместное отображение ортофотопланов, 3D-моделей и фотопанорам обеспечивает лучшее понимание пространственной ситуации.
5. Интеграция с общедоступными картографическими сервисами (2ГИС, Яндекс.Карты и др.)
6. Использование слоев Национальной системы пространственных данных (НСПД) Роскадастра – границы участков, зоны ограничений.
7. Сокращение временных затрат – исключается необходимость поиска информации в различных источниках и системах.

Заключение. Разработан и апробирован подход к интеграции разнородных пространственных данных при создании цифровой основы территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций. Его применение на базе платформы GSEE позволяет:

– объединять в единой среде материалы наземной съемки, аэрофотосъемки, архивных планов, фотопанорам и атрибутивную информацию;

– формировать структурированную цифровую основу с сохранением слоевой организации и семантическим наполнением объектов;

– обеспечивать быстрый доступ ко всем данным об объекте через единый интерфейс.

Дальнейшие исследования направлены на развитие созданной цифровой основы до уровня цифрового двойника путем интеграции с телеметрией и внедрения алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического выявления дефектов и прогнозирования технического состояния объектов [8–10].

Благодарности: *автор выражает благодарность коллективу ООО «ГЕОКАД плюс» за предоставленные материалы и программное обеспечение.*

Список литературы

1. Мурзинцева М.В., Минченко Е.В., Мурзинцев М.Н. Этапы проектирования инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки //Интерэкспо ГЕОСибирь. XIX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» Новосибирск: СГУГиТ. – 2023. Т. 1. – С. 96–102. – DOI: 10.33764/2618-981X-2023-1-1-96-102.
2. Гатина Н.В., Козина М.В., Соина К.В., Аврунев Е.И., Пьянков С.В. // Проблемы информационного обеспечения инженерных коммуникаций в условиях цифровизации сферы земельно-имущественных отношений // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 117–127. – DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-6-117-128.
3. Мурзинцева М.В., Минченко Е.В., Терещенко В.Е., Мурзинцев М.Н. Совершенствование методики выполнения инженерно-геодезических изысканий для проектирования подземных коммуникаций // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 50–59. – DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-5-50-58.
4. Кондратьев А.А. // Цифровая трансформация в нефтегазовой сфере // Вестник науки. – 2023. – Т. 2. № 11 (68). – С. 804–821. – DOI: 10.24412/2712-8849-2023-1168-804-821.
5. Сулоева С.Б., Мартынатов В.С. Особенности цифровой трансформации предприятий нефтегазового комплекса // Организатор производства. – 2019. – Т. 27. № 2. – С. 27-38. – DOI: 10.25987/VSTU.2019.26.70.003.
6. Технологическая платформа GEOCAD SYSTEMS ENTERPRISE EDITION (GSEE) – Сайт компании ООО «ГЕОКАД плюс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geocad.ru/products/tekhnologicheskaya-platforma-geosad-system-enterprise-edition-gsee/ (Дата обращения 16.03.2026).
7. Минченко Е.В., Мурзинцева М.В. // Структурирование топографической информации для целей информационного моделирования при инженерно-геодезических изысканиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Новосибирск, 2024 г. –Т. 1. – С. 87–93.– DOI: 10.33764/2618-981X-2024-1-87-93.
8. Лисицкий Д.В., Осипов А.Г., Савиных В.Н. Цифровой двойник территории и методы геокогнитивного моделирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»– Новосибирск: СГУГиТ. – 2022. – Т. 1. – С. 206–212.– DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-206-212.
9. Fuller A., Fan Z., Day C., et al. // Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research // In: IEEE Access. 2020; 8: 108952-108971.
10. Быкова В.Н., Ким Е., Гаджиалиев М.Р., Мусиенко В.О., Оруджев А.О., Туровская Е.А. // Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2020. – Т. 1 (28) – С. 1–11. – DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2020-28.art8.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

Назарова А.А.
старший преподаватель ВШ ТСГиЗ ТОГУ, аспирант группы ЗКМ(а)-31, ФГБОУ ВО ТОГУ, Хабаровск, Россия, 010851@togudv.ru

Научный руководитель: Вдовенко А.В.
канд. техн. наук, доцент, зам. руководителя ВШ ТСГиЗ, ФГБОУ ВО ТОГУ, Хабаровск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены агроэкологические факторы, оказывающие влияние на сельскохозяйственное производство в Хабаровском крае в разрезе муниципальных образований. Период наблюдений: с 2008 по 2024 гг. Целью исследования является оценка агроэкологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на состояние производства сельскохозяйственной продукции в Хабаровском крае в разрезе муниципальных образований методами корреляционного анализа.
В работе проведена оценка более чем 40 различных агроэкологических факторов, оказывающих влияние на показатель «Продукция сельского хозяйства (в фактически действовавших ценах), тысяча рублей, в хозяйствах всех категорий (ВКХ) по муниципальным образованиям Хабаровского края», принятый в исследовании как индикативный (факторный). В результате оценки определены 25 показателей, оказывающих наиболее существенное влияние на результативный фактор.

Ключевые слова: коэффициент корреляции, агроэкологический фактор, сельскохозяйственное производство, Хабаровский край, статистический анализ, индикативный показатель, факторный показатель, муниципальное образование

Введение. При проведении исследования были изучены, рассмотрены и проанализированы фундаментальные и прикладные работы российских и зарубежных авторов. Такие ученые как Волков С.Н., Хлыстун В.Н., Комаров С.И., Мурашева А.А., Варламов А.А., Гальченко С.А., Сулин М.А. и другие, рассматривали вопросы, связанные с областью рационализации управления землями сельскохозяйственного назначения с целью повышения продовольственной безопасности страны [1]. В Дальневосточном федеральном округе вопросам агроэкологической оценки влияния фитосанитарных и почвенных факторов на системы земледелия посвящены работы таких исследователей как Асеева Т.А, Киселев Е.П., Тишкова А.Г, Золотарева Е.В., Синеговская В.Т. [2]. Научные работы, рассматривающие региональные особенности сельскохозяйственного производства в Хабаровском крае в разрезе муниципальных образований опубликованы Ким Л.В., Шелепой А.С., Хашиевым А.Б, Задорожнюк М.А. [3, 4].

Вопросы, рассматриваемые в рамках данной статьи практически не исследованы в настоящее время.

В работе использованы **методы**: аналитический, сравнительный, статистический, корреляционный.

Основная часть. В качестве индикатора агроэкологического состояния сельскохозяйственного производства в данном исследовании использован показатель «Продукция сельского хозяйства (в фактически действовавших ценах), тысяча рублей, в хозяйствах всех категорий по муниципальным образованиям Хабаровского края» [5].

В качестве объясняющих переменных рассматривается 40 показателей, собранных в единую базу данных за период с 2008 по 2024 гг., по муниципальным образованиям Хабаровского края. В результате анализа, все показатели были классифицированы и объединены в пять укрупненных групп.

Для оценки степени близости корреляционной связи между всеми показателями и индикативным (результативным) показателем агроэкологического состояния сельскохозяйственного производства применен парный корреляционный анализ с лагом 0, 1 и 2 года, в связи с необходимостью выявления факта запаздывания влияния факторов на результат, а также выявления сезонности колебаний.

Результаты. Выявлено, что экономические группы факторов оказывают наибольшее влияние (78%), далее следуют земельные (67%) и экологические (42%), при этом почвенные (20%) и климатические (3%) факторы оказывают наименьшее влияние на индикативный показатель в исследуемом периоде.

Таким образом, составлена система показателей, включающая 25 факторов, оказывающих влияние на индикативный показатель, из них 10 экономических с лагом 0 лет, 7 земельных с лагом 1 год, 3 экологических с лагом 2 года, 3 почвенных с лагом 2 года и 2 климатических с лагом 2 года.

Заключение. В результате проведенного исследования оценены агроэкологические факторы, оказывающих наибольшее влияние на состояние производства сельскохозяйственной продукции в Хабаровском крае в разрезе муниципальных образований. В дальнейшем планируется провести зонирование территории края в целях прогнозирования и планирования развития АПК региона и достижения продовольственной независимости.

Список литературы

1. Комаров С.И., Лепехин П.П., Широков Р.С. Информационная основа оценки ресурсного потенциала земель сельскохозяйственного назначения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2021. № 7. С. 510-517.
2. Асеева Т.А. Агроэкологические основы формирования урожайности зерновых культур и сои в адаптивно-ландшафтном земледелии Среднего Приамурья.. дис. доктора с.х. наук: 06.07.09- 2009 – 323 с. – URL: https://www.dissercat.com/content/agroekologicheskie-osnovy-formirovaniya-urozhainosti-zernovykh-kultur-i-soi-v-adaptivno-land (дата обращения: 19.12.2025)
3. Ким Л.В., Назарова А.А. Анализ земель аграрного сектора Хабаровского края в разрезе муниципальных образований // Международный научно-исследовательский журнал / № 2 2022 (116). Часть первая . Февраль . С. 80-83
4. Афанасьева Я.В., Золотарчук В.В. Исследование факторов инвестиционной активности в Хабаровском крае // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2017. Том 8. № 2. С. 87–94.
5. Вдовенко, А.В. Оценка влияния агроэкологических факторов на состояние сельскохозяйственного производства в Хабаровском крае / А.В. Вдовенко, А.А. Назарова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2026. – № 2(411). – С. 291-296. – DOI: 10.55186/25876740_2026_69_2_291. – EDN UBBXQJ.

УДК 528.4

СОЗДАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА МАСШТАБА 1:500 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Науменко А.А.
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия, ariadna.nk@mail.ru

Научный руководитель: Широков Р.С.
к.г.н., доцент, заведующий кафедры, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Аннотация. Освоение северных территорий невозможно без учета изменений в криолитозоне. Эти изменения вызывают деформации грунта, разрушение инфраструктуры и другие проблемы. Данная статья рассматривает особенности создания инженерно-топографических планов масштаба 1:500 для строительства в зоне распространения многолетнемерзлых пород (криолитозоне). Особое внимание уделено оптимизации геодезических и геокриологических данных для обеспечения надежности проектных решений в условиях чувствительной к техногенному воздействию вечной мерзлоты.

Ключевые слова: инженерно-топографический план, многолетнемерзлые породы, проектирование, криолитозона, геодезические изыскания, геологические исследования, мерзлотно-геологических условий, опорная геодезическая сеть.

Освоение северных территорий Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики, поскольку именно в криолитозоне сосредоточены основные запасы углеводородного сырья. Однако строительство в условиях распространения многолетнемерзлых пород (ММП) сопряжено с рядом специфических трудностей. Криолитозона – верхний слой земной коры, характеризующийся отрицательной температурой пород и наличием подземных льдов различного генезиса. Любое техногенное вмешательство (тепловыделение от зданий, нарушение растительного покрова, изменение гидрологического режима) может спровоцировать опасные геокриологические процессы: термокарст, морозное пучение, солифлюкцию и разрушение грунтов основания.

Ключевым документом, обеспечивающим безопасность строительства, является инженерно-топографический план. Согласно нормативным документам, топографические планы масштаба 1:500 предназначаются для составления исполнительного генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки, а также для решения вертикальной планировки и составления планов подземных сетей. В условиях криолитогенеза создание такого плана выходит за рамки обычной съемки рельефа и ситуации, превращаясь в комплексную задачу по фиксации мерзлотно-геологических условий.

Создание топографических планов масштаба 1:500 регламентируется «Основными положениями...», согласно которым средние погрешности в положении на плане точек подземных коммуникаций относительно ближайших пунктов съемочного обоснования не должны превышать 0,2 мм. В условиях мерзлоты эти требования сохраняются, однако значительно усложняется процесс их достижения из-за физико-географических факторов.

В зоне криолитогенеза ИТП масштаба 1:500 должен нести дополнительную нагрузку. Помимо горизонталей, зданий и коммуникаций, на него наносятся границы распространения ММП, участки с высокольдистыми грунтами, зоны развития термокарста, бугры пучения и наледи.

Подготовительный этап выполнения инженерных изысканий в условиях Крайнего Севера приобретает ключевое значение. До выезда на местность выполняется дешифрирование космоснимков, которое позволяет выделить ландшафтные зоны, предположить участки развития экзогенных процессов и спланировать маршруты с учетом проходимости территории.

Полевые работы (геодезическая съемка и инженерно-геологическое опробование) в криолитозоне проводятся преимущественно в зимний период, когда промерзшие болота и реки становятся доступными для техники. Однако низкие температуры вносят коррективы в методику измерений. В условиях выполнения инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий в районе Ямал-Ненецкого округа в области изучения г. Салехарда и окрестностей, необходимо учитывать: короткий световой день и ограниченную видимость, а также возможные сложности с закладкой реперов.

Короткий световой день требует применения высокоточного спутникового оборудования (GPS/ГЛОНАСС) в режиме реального времени (RTK), а сложности с закладкой реперов возникают в связи с тем, что глубинные реперы должны закладываться ниже слоя сезонного оттаивания, чтобы избежать их выпучивания из-за морозного пучения.

В условиях криолитогенеза инженерно-топографическая съемка должна сопровождаться геокриологической съемкой. Основной метод полевых исследований – комплексный, который включает в себя геодезическую съёмку и геофизические исследования. Геодезическая съемка выполняется тахеометрическим или спутниковым методом. Особое внимание уделяется съемке микрорельефа (бугры, западины, полигональные трещины), так как даже незначительные перепады высот могут указывать на наличие ледяных тел или термокарстовых просадок. В геофизических исследованиях используется метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), который позволяет выявить в грунтовой толще наличие и характер распространения льдистых грунтов и подземных льдов. Границы таких зон должны быть строго координированы.

Камеральный этап заключается в создании цифровой модели местности. Однако классические горизонтали, проведенные по отметкам земли, могут вводить в заблуждение в зоне распространения ММП. Поэтому в условиях криолитогенеза итоговый инженерно-топографический план масштаба 1:500 должен включать следующие элементы: ситуационный план с нанесением всех наземных и подземных сооружений, рельеф с высоко детализированным микрорельефом, карту инженерно-геологического районирования, где выделяются участки по типу грунтов, их льдистости и температуре, границы распространения сезонно-талого слоя (СТС) и его мощность, а также зоны действия опасных криогенных процессов.

Инженерно-топографического плана масштаба 1:500 имеет немало важное значение при проектировании, строительстве и реконструкции капитальных зданий и сооружений в условиях криолитогенеза. Для создания инженерно-топографического плана масштаба 1:500 для реконструкции водовода II-го подъема в г. Салехард была выполнена топографическая съёмка спутниковым методом в режиме RTK, на основе ГЛОНАСС/GPS от пункта ГГС Ангальский. Данный пункт использовался как исходный. Государственный геодезический пункт Ангальский является пунктом Астрономо-геодезической сети 1 класса (ГГС – 1 класса). Ведомость контрольных измерений на пунктах ГГС от референцной базовой станции, установленной на пункте ГГС Ангальский, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Ведомость контрольных измерений на пунктах ГГС

Наименование (контрольного) пункта	Класс, разряд	СКП		
		X, м	Y, м	H, м
Халашор	класс 3	-0.020	-0.09	0.016
Князевский	класс 2	0.127	0.107	0.106
Ванге-То	класс 1	0.052	-0.028	0.015

Топографическая основа была выполнена на основе полученных полевых измерений. После обработки полученных измерений, посредством исполнительных чертежей, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок, актуальных планов подземных коммуникаций, имеющихся у собственников (эксплуатирующих организаций), была нанесена густая сеть подземных коммуникаций на план. Часть инженерно-топографического плана масштаба 1:500 для целей строительства отображена на рисунке 1. Полный инженерно-топографический план размещен на листе формата А1.

Для объекта в г. Салехард на основе инженерно-топографического плана был выполнен профиль водовода, а также проект реконструкции (перемещение водовода со свай).

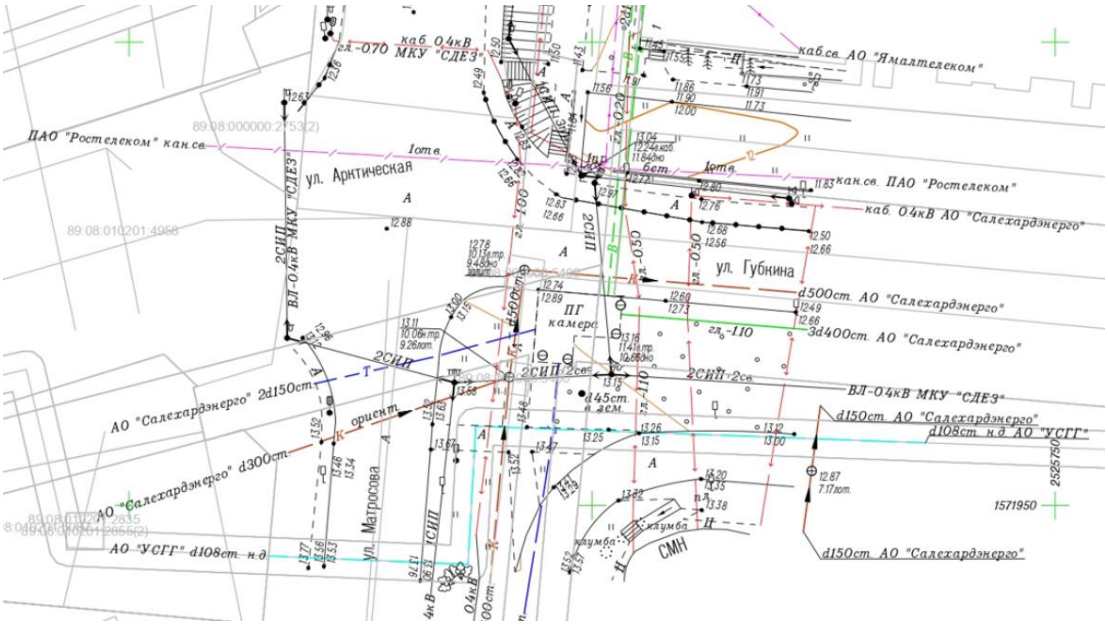


Рис. 1. Часть инженерно-топографического плана масштаба 1:500
для целей реконструкции водовода II-подъема (3d400ст.)

Главной проблемой топографо-геодезических работ в криолитозоне является нестабильность поверхности во времени. Если в классических условиях снятый рельеф остается неизменным годами, то на просадочных при оттаивании грунтах поверхность может меняться ежегодно. Поэтому в техническом проекте на изыскания в криолитозоне необходимо закладывать требования к созданию опорной геодезической сети, которая будет служить основой для последующего геотехнического мониторинга. Сам же инженерно-топографический план в таких условиях является не просто чертежом, а документом, фиксирующим начальное состояние крайне динамичной среды.

Таким образом создание инженерно-топографического плана масштаба 1:500 для целей строительства в условиях криолитогенеза представляет собой сложную наукоемкую задачу, выходящую за рамки традиционной геодезии. Высокая точность измерений (0,2 мм в масштабе плана) должна сочетаться с глубоким пониманием геокриологических процессов. Использование комплекса современных методов: спутниковой геодезии, геофизики, дистанционного зондирования и бурения, которое позволяет создать достоверную основу для проектирования. Наличие на таком плане информации не только о рельефе и коммуникациях, но и о состоянии многолетнемерзлых пород (льдистости, температуре, границах распространения) является обязательным условием для выбора принципа использования грунтов в качестве основания и предотвращения аварийных ситуаций в ходе строительства и эксплуатации объектов в Ямало-Ненецком округе, г. Салехард.

Список литературы

1. Инструкция по съемке и составлению планов подземных коммуникаций. – М.: Недра, 1978. – 48 с.
2. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – М.: ГУГК, 1970.
3. Конушина Е.Ю. Особенности проведения инженерно-геодезических изысканий в условиях распространения многолетнемерзлых пород (на примере полуострова Таймыр) // Московский экономический журнал. – 2023. – № 10.
4. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Часть I. Общие требования к производству работ. – М.: Госстрой России, 1997. – 62 с.
5. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М.: Стандартинформ, 2017. – 82 с.

КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ВОЕННО-НАУЧНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «НАСЛЕДИЕ ГЕНЕРАЛИССИМУСА СУВОРОВА А.В.» ПО РЕКЕ МСТА

Полукеев Г.К.
курсант, ВКА имени А.Ф. Можайского,
Санкт-Петербург, Россия, genna81022018@gmail.com

Научный руководитель: Прокофьев А.В.
к.т.н., начальник кафедры высшей геодезии,
ВКА имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и полевой апробации комплексированной методики создания высокоточных пространственных моделей местности. Исследование проведено в рамках экспедиции «Наследие Генералиссимуса Суворова» на реке Мста. Актуальность обусловлена необходимостью повышения скорости, качества и надежности специальных топографо-геодезических работ. Методика основана на синергетическом сочетании спутниковой геодезии (статический режим и RTK), аэрофотосъемки с БПЛА и традиционных методов. Результаты демонстрируют, что комплексный подход позволяет минимизировать «слепые зоны», сократить повторные выезды и повысить точность итоговой модели за счет взаимной валидации данных.

Ключевые слова: пространственная модель местности, комплексированная методика, геодезия, БПЛА, лазерное сканирование, GNSS, топографическая съемка.

Введение. Современные требования к геопространственным данным диктуют необходимость повышения точности, оперативности и согласованности при создании цифровых моделей территории. Существующие методы по отдельности имеют ограничения, что актуализирует задачу разработки интегрированных подходов. Целью работы является разработка и экспериментальная проверка научно-обоснованной комплексированной методики создания пространственных моделей. Гипотеза исследования: объединение разнородных источников данных и методов их обработки позволяет получить более точную и достоверную модель. Практическая апробация проведена на территории, связанной с историей А.В. Суворова.

Методы. В основу методики положен иерархический принцип комбинации технологий. На первом этапе создавалась высокоточная опорная геодезическая сеть методами статической GNSS-съемки. Далее выполнялось её сгущение и детальная съемка ситуации с использованием кинематики RTK. Для получения визуального контекста и сплошного покрытия проводилась аэрофотосъемка с БПЛА с последующей фотограмметрической обработкой. В качестве сравниваемых и дополняющих методов анализировались традиционная тахеометрическая съемка и наземное лазерное сканирование (НЛС). Оценка точности итоговой модели проводилась на основе расчета среднеквадратических ошибок (СКО) по контрольным точкам.

Результаты. Проведенный сравнительный анализ подтвердил комплементарность методов. Статическая GNSS-съемка обеспечила базовую планово-высотную основу с сантиметровой точностью. RTK-съемка позволила оперативно получить плотную сеть точек для моделирования рельефа. Данные БПЛА обеспечили детальное визуальное текстурирование и покрытие больших площадей. Установлено, что комбинация «статическая основа + RTK + БПЛА» является оптимальной для большинства задач по критерию «точность-оперативность-затраты». НЛС показал наивысшую детализацию, но его

применение наиболее затратно. Традиционные методы сохранили роль для создания съемочного обоснования и контроля.

Обсуждение. Разработанная методика реализует принцип перекрестной валидации, когда данные одного метода контролируют и уточняют данные другого. Такой комплексный подход не только повышает точность, но и расширяет круг решаемых задач – от исторической реконструкции и мониторинга до инженерных расчетов объемов. Результаты согласуются с мировым трендом на интеграцию геопространственных технологий.

Заключение. Цель работы достигнута: разработана и апробирована в полевых условиях комплексированная методика создания пространственных моделей.
Основные выводы:

1) Синергия GNSS, БПЛА и традиционных методов обеспечивает создание высокоточной, полной и достоверной модели;

2) Ключевым преимуществом является взаимное дополнение и контроль данных, что снижает неопределенность.

Практическая значимость методики заключается в повышении эффективности специальных топографо-геодезических работ для инженерных изысканий, мониторинга и историко-культурных исследований.

Перспективным направлением является дальнейшая автоматизация процесса интеграции данных и применение машинного обучения для их классификации.

Список литературы

1. Инструкция по топографической съемке, Росреестр, 2022.
2. Применение БПЛА в геодезии / Под ред. А. К. Захарова. – М.: ГеоСтар, 2021.
3. РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
4. РМГ 43-2021. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
5. ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений.
6. Описание типа средства измерений навигационного аппарата потребителя «Наперсток» (индекс 14Ц822).
7. Leick, A., Rapoport, L., Tatarnikov, D. GPS Satellite Surveying. 4th Edition. Wiley, 2015.
8. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. ГНСС – Global Navigation Satellite Systems. Springer, 2008.
9. Zandbergen, P.A. Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning. Transactions in GIS, 2017.
10. Montenbruck, O., & Steigenberger, P. Statistical Analysis of Multi-ГНСС Signal-in-Space Errors and User Positioning Performance. Journal of Geodesy, 2023.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТ НАВИГАЦИОННЫХ ИСЗ ПО БЕЗЗАПРОСНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Прокофьев А.В., Леонтьев П.А., Сироткин В.С.
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, России, sistema238@mail.ru

Научный руководитель: Прокофьев А.В.
к.т.н., доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе исследуется метод ослабленной динамики для высокоточного определения орбит навигационных спутников по беззапросным измерениям псевдодальностей. Актуальность обусловлена необходимостью повышения точности эфемерид глобальных навигационных систем для решения задач геодезии и геодинамики. На основе реальных данных восьми станций сбора информации выполнен сравнительный анализ динамического, кинематического методов и метода ослабленной динамики. Экспериментально определены оптимальные значения постоянных времени шумовых параметров модели, обеспечивающие минимальную ошибку оценивания. Применение метода ослабленной динамики позволило достичь высокой точности определения координат, что подтверждает его эффективность.

Ключевые слова: определение орбит, НИСЗ, беззапросные измерения, метод ослабленной динамики, фильтр Калмана, псевдодальность, тропосферная задержка.

Высокоточное определение орбит навигационных спутников является необходимым условием функционирования глобальных навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS) и решения задач геодезии, геодинамики и высокоточной навигации. Точность эфемерид, передаваемых в навигационном сообщении, ограничена погрешностями моделирования движения и составляет 3-20 метров [1, 2], тогда как современные научные и прикладные задачи требуют сантиметрового уровня точности. Наиболее экономичным источником данных для уточнения орбит служат беззапросные измерения псевдодальностей, выполняемые сетью наземных станций сбора информации [2]. Однако обработка таких измерений сопряжена с рядом трудностей: необходимостью учёта смещений шкал времени приёмников, влияния атмосферы и геодинамических факторов [4, 5]. Целью работы является сравнительный анализ методов обработки траекторных измерений и экспериментальное определение параметров фильтрации, обеспечивающих минимальную ошибку оценивания орбит.

В качестве алгоритмической основы использован рекуррентный фильтр Калмана с расширенным вектором состояния (метод ослабленной динамики) [4, 2]. Вектор оцениваемых параметров включал поправки к начальным условиям, коэффициенты полинома смещения шкалы времени спутника, поправки тропосферной задержки для каждой станции, а также параметры немоделируемых ускорений [2]. Для исключения смещений шкал времени станций применялась процедура перепривязки измерений к системной шкале времени [5]. Вычислительный эксперимент выполнялся на реальных данных восьми станций сбора информации (BILI, IRKJ, KIT3, NOVJ, NRIL, ARTU, ZECK, ZWEN) за 2025 год для спутника GPS PRN 1. Сравнительный анализ динамического, кинематического методов и метода ослабленной динамики проводился путём варьирования постоянных времени ковариационной матрицы шумов модели.

Динамический метод, основанный на предположении о неизменности параметров модели на всём интервале обработки, приводит к накоплению ошибки из-за несоответствия этого допущения реальным условиям движения спутника. Кинематический метод, напротив, позволяет снизить влияние ошибок моделирования, однако его точность ограничена влиянием неучтённых возмущений и геометрическим фактором [2, 3]. В ходе серии экспериментов по подбору параметров метода ослабленной динамики определены

рациональные значения постоянных времени шумовых параметров модели, позволяющие сбалансировать вклад динамической модели и измерений. Метод ослабленной динамики с подобранными параметрами демонстрирует наилучшие результаты среди рассмотренных подходов [4]. Дополнительный эксперимент с намеренным внесением значительных смещений в начальные условия показал способность алгоритма эффективно компенсировать такие ошибки в ходе обработки.

Полученные результаты подтверждают, что метод ослабленной динамики занимает промежуточное положение между динамическим и кинематическим подходами, обеспечивая оптимальный баланс между использованием модели движения и адаптацией к реальным измерениям [2, 4]. Экспериментально установленные значения постоянных времени отражают физическую природу оцениваемых параметров: тропосферные задержки изменяются в масштабе часа [2], смещение шкалы времени имеет преимущественно шумовой характер, а немоделируемые ускорения (обусловленные неточностями ориентации солнечных батарей, альбедо и др.) сохраняют постоянство на интервалах до нескольких часов [4, 5]. Наилучшая сходимость решения и устойчивость к ошибкам начальных условий делают метод ослабленной динамики предпочтительным для задач высокоточного определения орбит по беззапросным измерениям [5].

Проведённое исследование позволило обосновать эффективность метода ослабленной динамики для определения орбит навигационных спутников. Экспериментально определены оптимальные значения постоянных времени шумовых параметров модели, минимизирующие ошибку оценивания. Разработанный рекуррентный алгоритм на базе фильтра Калмана обеспечивает компенсацию ошибок начальных условий и устойчивое решение на интервалах обработки до нескольких часов [4]. Основными факторами, ограничивающими точность, являются отсутствие точных данных о координатах станций и калибровках приёмников [4, 5], что определяет направление дальнейших исследований.

Благодарности: *авторы выражают благодарность за предоставленные данные станций сбора информации.*

Список литературы

1. Красильщиков М.Н., Кружков Д.М., Пасынков В.В. О реализации информационной технологии уточнения эфемерид КА ГЛОНАСС на основе использования перспективных средств межспутниковых измерений // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 4. С. 50–58.
2. Кружков Д.М., Пасынков В.В. Отечественная глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: особенности создания, развития и использования. М.: Изд-во МАИ, 2022. 280 с.
3. Гришин В.А. Мультиразрешение в оптических навигационных системах космических аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 3. С. 105–113.
4. Афонин И.Л., Поляков А.Л., Тыщук Ю.Н., Головин В.В., Слёзкин Г.В. Метод определения параметров движения космических аппаратов по сверхдлиннобазовым радиоинтерферометрическим измерениям // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2023. Т. 15. № 4. С. 367–376.
5. Красильщиков М.Н., Кружков Д.М. К вопросу об автономном уточнении параметров вращения Земли на борту космического аппарата. Анализ возможностей разрабатываемой информационной технологии // Космические исследования. 2021. Т. 59. № 5. С. 357–365.

УДК 622.14:528.7:622.274

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОЧИСТНЫХ ПРОСТРАНСТВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕРЕВАЛЬНОЕ)

Ремизов Н.А.
студент III курса специалитета,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия, nikitaremizov28888@gmail.com

Научный руководитель: Ломакина Н.Е.
старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия.

Аннотация. В работе рассматривается применение технологии мобильного лазерного сканирования для мониторинга очистных пространств в условиях подземных горных выработок. На примере месторождения «Перевальное» проведен сравнительный анализ работы систем GO SLAM RS-100S и Void Scanner VS+. Разработана методика сбора и обработки данных, обеспечивающая высокую точность построения 3D-моделей. Доказано, что применение SLAM-технологий позволяет существенно сократить время съемок, нивелировать влияние высокой запыленности и загазованности, а также повысить безопасность маркшейдерских работ.

Ключевые слова: лазерное сканирование, SLAM-технологии, подземные горные работы, очистное пространство, облако точек, мониторинг, месторождение Перевальное.

Введение. Современная подземная разработка месторождений требует высокоточного контроля геометрических параметров очистных пространств. Традиционные методы маркшейдерской съемки имеют существенные ограничения в опасных и труднодоступных зонах. Технология трехмерного лазерного сканирования обеспечивает бесконтактное получение данных, сокращая время съемки и повышая безопасность персонала. Целью работы является анализ методов лазерного сканирования, разработка методики сбора данных и оценка эффективности применения мобильных сканеров для мониторинга выработок на месторождении «Перевальное».

Методы. В ходе исследования проведен сравнительный эксперимент с использованием мобильного лазерного сканера GO SLAM RS-100S и стационарной системы Void Scanner VS+. Сбор данных осуществлялся в горизонтальных и наклонных выработках, а также в очистной камере во время закладочных работ (бутобетон) при высокой запыленности. Для преобразования координат и минимизации погрешностей (дрифта) применялась привязка облака точек к опорным маркшейдерским реперам в начале и конце маршрута. Обработка, фильтрация шумов и геопривязка выполнялись в программном обеспечении GoSLAM Studio [1-4].

Результаты. Эксперимент при непрерывном сканировании маршрута протяженностью 380 м показал, что привязка облака точек только к трем начальным реперам дает погрешность по высоте до 0,78 м (а в наклонной выработке на 390 м – до 0,85 м в плане и 0,90 м по высоте). Двусторонняя привязка к шести реперам (в начале и в конце маршрута) полностью устраняет отклонения по плану и минимизирует высотные ошибки. Установлено, что максимальная практическая дальность эффективного сканирования для сканера GO SLAM RS-100S составила 102 м, однако для обеспечения плотности более 10 точек на 1 м² оптимальная длина ограничена 60 м (средняя погрешность 10-15 см)

(рис. 1). При сканировании камеры (рассечка 4.2 гор. 780) в условиях активных закладочных работ GO SLAM RS-100S сформировал четкое облако точек бутобетонной закладки, тогда как Void Scanner VS+ зафиксировал лишь шумовое скопление точек вокруг прибора из-за рассеяния лазера в пылевой среде. (рис. 2) [5-6].

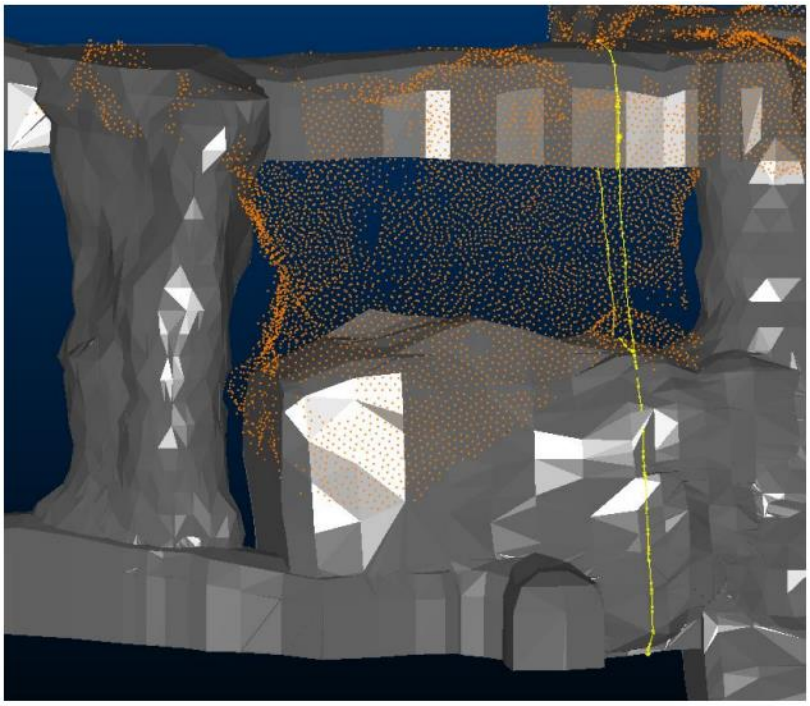


Рис. 1. Сканирование, выполненное Void Scanner VS+

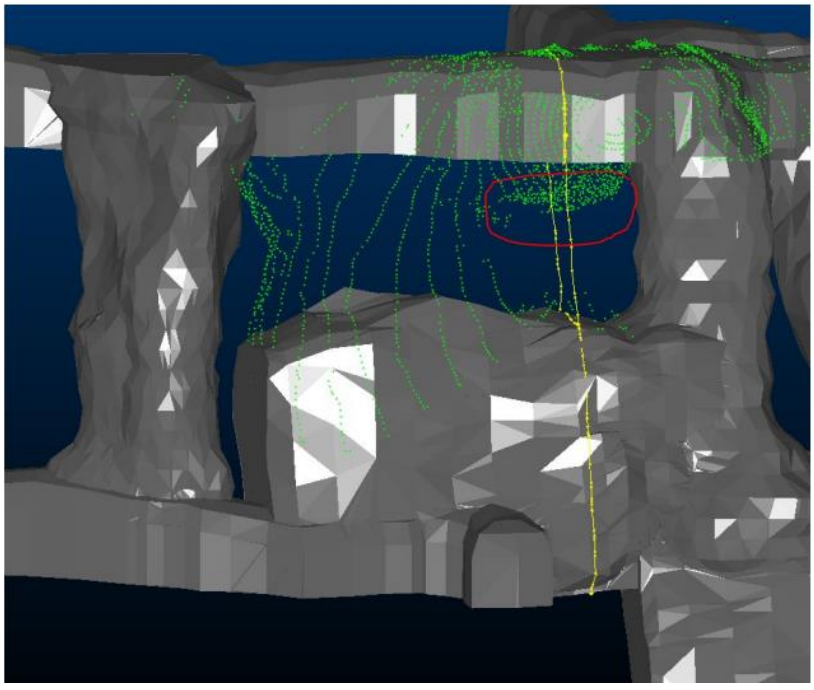


Рис. 2. Сканирование, выполненное GO SLAM

Обсуждение. Результаты подтверждают, что мобильные SLAM-сканеры обладают значительным преимуществом перед стационарными системами в агрессивных условиях подземного рудника (запыленность, ограниченность пространства, отсутствие

GPS). Применение алгоритмов фильтрации и правильной геопривязки позволяет компенсировать накопленные ошибки траектории и получать данные с точностью до 1 см. Внедрение подобных систем коренным образом меняет подход к мониторингу, переводя его в режим оперативного 3D-контроля.[7-9]

Заключение. Разработанная и апробированная методика использования мобильного лазерного сканера GO SLAM RS-100S доказала свою высокую эффективность, безопасность и точность [6,10]. Оборудование позволяет оперативно решать маркшейдерские задачи даже в экстремальных условиях. Перспективы развития связаны с интеграцией лазерных сканеров с роботизированными платформами (БПЛА) и внедрением алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического анализа дефектов горного массива.

Список литературы

1. Курбатова В.В. Аппроксимация методики наземной лазерно-сканирующей тахеометрии к съемке подземных выработок // Вектор ГеоНаук. 2018. Т. 1. № 3. С. 40-52.
2. Курбатова В.В. Валидность сканирующей тахеометрии в решении комплекса маркшейдерских задач // Вектор ГеоНаук. 2018. Т. 1. № 1. С. 8-23.
3. Brown, A., Williams, C. Advances in Scanner Technology for Geological Surveys in Mining Operations. //Journal of Geospatial Engineering. 2020. Vol. 15(1). P. 32-45.
4. Кузьмин Т.В., Васильев М.Д., Голубко Б.П. Наземное и мобильное лазерное сканирование в маркшейдерской съёмке при разработке месторождений открытым способом // Уральская горная школа-регионам : материалы международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2020. С. 241-242.
5. Алтынцев М.А. Применение технологии наземного лазерного сканирования для создания обмерных чертежей фасадов зданий // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. № 3. С. 5-18.
6. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Олейникова Е.А. Маркшейдерское обеспечение проведения горных работ с применением инновационных технологий // Восточно-европейский научный журнал. 2016. Т. 14. № 3. С. 60-65.
7. Алтынцев М.А., Карпик П.А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2020. Т. 25. № 2. С. 121-139.
8. Грищенкова Е.Н., Мустафин М.Г. Пространственная визуализация процесса сдвижения с помощью инструментальных средств 3ds Max // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 9. С. 36-41.
9. Овчаренко А.В., Удоратин В.В. Оперативное изучение подземных пустот с помощью лазерного 3D-сканирования // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2015. № 4 (244). С. 20-25.
10. Палатурян Р.А. Преимущества сканирующего тахеометра на практике // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2017. № 2. С. 230-233.

МЕТОДИКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ КАК СРЕДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Рождественский В.В.
курсант, ВКА им. А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, Россия

Научный руководитель: Астапович А.В.
к.т.н., доцент кафедры высшей геодезии, ВКА им. А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Разработана и апробирована научно обоснованная методика полевого метрологического освидетельствования малогабаритной навигационной аппаратуры потребителя (НАП). В отличие от лабораторной поверки, методика позволяет оценить суммарную эксплуатационную погрешность под влиянием реальных средовых факторов. На основе полного факторного плана (тип местности, длительность сеанса) установлена логарифмическая зависимость точности от времени; дисперсионный анализ подтвердил доминирующее влияние окружающей среды. Предложены практические рекомендации для пользователей.

Ключевые слова: метрологическое освидетельствование, малогабаритные НАП, полевая методика, ГНСС-позиционирование, факторный план, логарифмическая зависимость, тип местности, сходимость, дисперсионный анализ.

Введение. Массовое распространение малогабаритной навигационной аппаратуры потребителя (НАП) для задач геопространственного обеспечения (точное земледелие, «Умный город») создало противоречие: устройства формально не являются средствами измерений, но используются для получения количественных координатных данных. Существующая система поверки, ориентированная на лабораторные имитаторы ГНСС, оценивает лишь инструментальную составляющую погрешности, игнорируя ключевые средовые факторы (многолучевость, ионосферные возмущения, геометрию спутников). Цель работы – разработать и апробировать научно обоснованную методику полевого метрологического освидетельствования малогабаритной НАП, обеспечивающую оценку суммарной эксплуатационной погрешности.

Методы. Реализован полный факторный план (фактор А – тип местности: открытая, город, лес; фактор В – длительность сеанса: 1, 5, 15, 30, 60 мин) с пятикратными повторениями. Испытания проведены на полигоне с координатным эталоном – геодезическим GNSS-приемником (погрешность эталона ≤0,1 от ожидаемой погрешности НАП). Протокол включал центрирование, акклиматизацию (15-20 мин), регистрацию сырых координат с контролем DOP и числа спутников. Математическая обработка базировалась на расчете внутрисеансовой сходимости, систематического смещения, воспроизводимости, регрессионном и двухфакторном дисперсионном анализе; вычисления автоматизированы на Python.

Результаты. Для всей испытанной НАП (в том числе и смартфонов) установлена логарифмическая зависимость точности от длительности сеанса. Например, для смартфона в городской застройке дисперсионный анализ показал, что фактор «тип местности» вносит преобладающий вклад в общую вариативность, влияние фактора «длительность сеанса» также значимо. Точность одного из НАП в открытом поле составила 0,8 м, что на порядок лучше; в городских условиях погрешность приближается к паспортной.

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что реальные эксплуатационные характеристики малогабаритных НАП определяются преимущественно средовыми условиями, а не инструментальной погрешностью. Логарифмическая модель позволяет количественно планировать длительность статического сеанса

для достижения заданной точности. Предложенная методика, в отличие от лабораторной поверки, воспроизводима в полевых условиях и может служить основой для формирования отраслевых рекомендаций.

Заключение. Разработана и апробирована комплексная методика полевого метрологического освидетельствования малогабаритных НАП, включающая факторный план, эталонную базу, формализованный протокол и математический аппарат. Экспериментально доказана логарифмическая зависимость точности от времени и доминирующее влияние типа местности. На основе эмпирических данных сформирована матрица рекомендаций для пользователей. Перспективы дальнейших исследований – распространение методики на кинематические режимы, учет сервисов коррекции (PPP, RTK), адаптация под отраслевой стандарт.

Благодарности: *автор выражает благодарность научному руководителю, к.т.н., доценту Астаповичу А.В., к.т.н., доценту Прокофьеву А.В., коллективу преподавателей кафедры высшей геодезии ВКА им. А.Ф. Можайского.*

Список литературы

1. Garrido-Carretero M.S. et al. Accuracy assessment of low-cost GNSS receivers in RTK mode using the ISO-17123-8 standard // Measurement. 2019. Vol. 137. P. 168-178. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.01.045.2.
2. Hamza V., Stopar B., Sterle O. et al. Testing of Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers and Antennas for Geodetic Monitoring // Sensors. 2020. Vol. 20. No. 16. P. 4375. DOI: 10.3390/s20164375.
3. Hamza V., Stopar B., Sterle O. Performance testing of multi-frequency low-cost GNSS receivers and antennas // Sensors. 2021. Vol. 21. No. 6. P. 2029. DOI: 10.3390/s21062029.
4. Krietemeyer A., Schön S., Kersten T. et al. Evaluation of High-Quality Zenith Tropospheric Delay Estimates Using a Low-Cost Dual-Frequency Receiver and Relative Antenna Calibration // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. No. 9. P. 1393. DOI: 10.3390/RS12091393.
5. Hohensinn R., Steinbacher F., Schindler F. et al. Low-Cost GNSS Receivers and Real-Time PPP: Accuracy Assessment of u-blox ZED-F9P for Kinematic Monitoring Applications // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 20. P. 5100. DOI: 10.3390/rs14205100.
6. Janos D., Kuras P. Evaluation of Low-Cost GNSS Receiver under Difficult Conditions in RTK Network Mode // Sensors. 2021. Vol. 21. No. 16. P. 5552. DOI: 10.3390/s21165552.
7. Hamza V., Stopar B., Sterle O., Pavlovcic-Preseren P. Low-cost GNSS receivers' observations and positioning quality: a review // GPS Solutions. 2024. Vol. 28. No. 3. DOI: 10.1007/s10291-024-01686-8.
8. Stepniak K., Paziewski J., Dawidowicz K. et al. Using modern low-cost GNSS equipment in geodesy and climate applications // AGU Fall Meeting. Chicago, 2022. DOI: 10.1002/essoar.10512345.1.
9. Заец А.Ю., Калиниченко Е.В. Анализ современных методов и перспективы развития навигации подводных аппаратов // Системы управления, навигации и связи. 2023. № 4. С. 5–11. DOI: 10.26906/SUNZ.2023.4.005.
10. Холодюк А. Глобальные навигационные спутниковые системы и их роль в технологиях точного земледелия // Техника, энергетика, транспорт АПК. 2020. № 2(109). С. 71–87. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-8.
11. Гула В.С., Грига В.М. Анализ современного состояния сенсоров для инерциальной навигации беспилотных летательных аппаратов // Технологии и инжиниринг. 2024. № 4(21). С. 29–47. DOI: 10.30857/2786-5371.2024.4.3.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ УКЛОНЕНИЙ ОТВЕСНЫХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОГО И ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В ЛОКАЛЬНОМ РАЙОНЕ

Сак А.С.
курсант, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, Россия, sasha.sak10@gmail.com

Научный руководитель: Астапович А.В.
к.т.н., доцент кафедры высшей геодезии, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представлена методика определения составляющих уклонений отвесной линии (УОЛ) с суб-дуговой точностью, основанная на совместной обработке данных спутникового и высокоточного геометрического нивелирования. Разработаны и реализованы три способа вычисления: по параметрам локальной полиномиальной модели геоида, по системе уравнений для разностей высот и по измерениям в пересекающихся створах. Точность подтверждена стохастическим моделированием и натурным экспериментом, показавшим точность на уровне 0,5″–0,8″. Методика является технологичной альтернативой трудоемким астрономо-геодезическим работам, а также превосходит по детальности и точности в локальном масштабе глобальные гравитационные модели (EGM2008).

Ключевые слова: уклонение отвесной линии, геоид, квазигеоид, ГНСС, геометрическое нивелирование, аномалия высоты, локальная гравитационная модель.

Уклонения отвесной линии (УОЛ) являются фундаментальными характеристиками гравитационного поля Земли, необходимыми для решения широкого спектра задач геодезии и навигации: установления связей между различными системами координат, редуцирования геодезических измерений на поверхность референц-эллипсоида, построения высокоточных моделей геоида, а также для начальной выставки инерциальных навигационных систем [2, 3, 5, 6]. Для многих из этих приложений требуемая точность определения УОЛ достигает долей угловой секунды [6].

Современные глобальные модели гравитационного поля (EGM2008) обеспечивают определение УОЛ со средней точностью около **1″** [11]. Такая точность недостаточна в регионах со сложным рельефом. В таких регионах величины УОЛ могут достигать нескольких десятков секунд дуги, а их пространственные вариации имеют высокочастотный характер [7]. Существующие высокоточные астрономо-геодезические методы с применением зенитных телескопов отличается высокой стоимостью и сложностью реализации в полевых условиях.

Перспективным решением сложившийся ситуации является геометрический метод. Он основан на интеграции данных спутниковых измерений и высокоточного геометрического нивелирования. Однако отсутствие универсальных методик не позволяет в полной мере реализовать точность современных приборов. Целью данной работы является разработка и экспериментальная оценка методики определения составляющих уклонений отвесных линий, адаптированной к локальным особенностям гравитационного поля.

В основу предлагаемой методики положено фундаментальные соотношения физической геодезии, связывающие составляющие уклонения отвесной линии с пространственными производными аномалии высоты (высоты квазигеоида) ζ [6, 10]:

$$\xi = -\frac{\partial \zeta}{\partial B}, \eta = -\frac{\partial \zeta}{N \cos B \, \partial L} \quad (1)$$

А также формулы конечных приращений, связывающих разность высот геоида с уклонением отвесной линии:

$$\Delta\zeta_{1j} = -\frac{s_{1j}}{\rho''}\left(\xi\cos A_{1j} + \eta\sin A_{1j}\right); \quad (2)$$

И формула связи составляющих УОЛ с уклонением отвесной линии по направлению:

$$u_i = \xi\cos A_i + \eta\sin A_i \quad (3)$$

Для практической реализации вычислений разработаны три способа вычисления:

1. **Локальное моделирование:** аппроксимация поверхности квазигеоида плоскостью (модель 1-го порядка) или параболоидом (модель 2-го порядка) в пределах исследуемого района.
2. **Метод разностей:** формирование системы уравнений для независимых приращений аномалий высот между пунктами сети, связывающей разности $\Delta\zeta$ с искомыми составляющими уклонений отвесных линий.
3. **Створный метод:** линейная аппроксимация изменений аномалии высоты пунктов вдоль нескольких пересекающихся направлений (створов) с последующим определением векторов (ξ, η) из решения системы тригонометрических уравнений.

Во всех способах математическая обработка избыточных данных выполняется методом наименьших квадратов.

Для оценки потенциальной точности метода и сравнения способов определения УОЛ было выполнено стохастическое моделирование. В качестве основы использовалась детерминированная модель квазигеоида второго порядка, в зоне радиусом 1 км аппроксимируемая плоскостью. На высоты пунктов сети накладывались случайные погрешности, распределенные по нормальному закону: $\mathrm{m_H} = 4$ мм (спутниковое нивелирование), $\mathrm{m_{H\gamma}} = 0{,}3$ мм (геометрическое нивелирование).

Исследовались две схемы сети:

1. Схема А («Центральная система»): 9 пунктов, равномерно распределенных по границе квадратной зоны.
2. Схема Б («Пересекающиеся створы»): 2х7 пунктов, расположенных вдоль двух перпендикулярных линий.

Было проведено по 10 серий испытаний. В каждой серии выполнялось по 50 реализаций измерений. Полученные результаты показали, что при $m_H = 4$ мм (спутниковое нивелирование), $m_{H\gamma} = 0{,}3$ мм (геометрическое нивелирование) и оптимальной девятипунктной схеме точность определения северной и восточной составляющих уклонения отвесной линии достигает примерно 0,54 и 0,57 угловой секунды соответственно. Одновременно было установлено, что створная схема, близкая к той, которая планировалась для реализации в натурном эксперименте, несколько уступает оптимальной центральной конфигурации по точности, однако остается вполне работоспособной и обеспечивает уровень порядка 0,8 угловой секунды. Моделирование подтвердило принципиальную реализуемость методики и показало, что основным резервом повышения точности является не усложнение формул, а грамотная геометрия сети и повышение качества спутникового определения высот.

Работоспособность предложенного подхода была подтверждена в июле 2025 года в ходе натурного эксперимента, проведенного в Боровичском районе Новгородской области. Геометрическое нивелирование было выполнено цифровыми нивелирами Trimble DiNi 0.3 с использованием инварных штрихкодовых реек. Измерения осуществлялись в прямом и обратном направлениях одновременно двумя приборами, что гарантировало контроль на каждой станции и позволило достичь точности определения

превышений на уровне 0,3 мм/км с вероятностью 0,68. При этом, проведённый анализ показал, что вклад ошибок высокоточного геометрического нивелирования в определение высот квазигеоида сравнительно мал, тогда как лимитирующим фактором являются погрешности спутникового нивелирования. Именно поэтому спутниковое нивелирование было проведено особенно тщательно с использованием двухчастотных приемников ГАП-В в статическом режиме. Наблюдения выполнялись сеансами продолжительностью не менее 4–6 часов при количестве полезных спутников не менее шести и угле возвышения более 15°. При обработке фазовых измерений использовались высокоточные эфемериды.

Полученные результаты определения составляющих УОЛ продемонстрировали высокую согласованность. Расхождения между значениями, полученными по трём предлагаемым способам, и данными глобальной модели EGM2008 составили в среднем 0,5″–0,8″, что полностью соответствует результатам моделирования и подтверждает работоспособность предложенных способов.

Выводы:

1. Разработана комплексная методика высокоточного определения составляющих уклонений отвесной линии, основанная на интеграции данных ГНСС и геометрического нивелирования и включающая три взаимодополняющих способа.
2. Стохастическим моделированием доказано, что предлагаемый метод при использовании оптимальной схемы сети («центральная система» из 9 пунктов) способен обеспечить точность определения СУОЛ на уровне средних квадратических погрешностей 0,54″–0,57″, что удовлетворяет требованиям самых точных прикладных задач.
3. Практическая апробация методики в натурном эксперименте подтвердила ее работоспособность и корректность. Достигнутая точность определений (0,5″–0,8″) и их согласованность с данными глобальной модели EGM2008 доказывают эффективность предложенного подхода.
4. Методика является технологичной, реализуемой с использованием штанных средств измерений и представляет собой практическую альтернативу как недостаточно детальным глобальным моделям, так и чрезвычайно трудоемким классическим астрономо-геодезическим методам. Полученные результаты вносят вклад в решение актуальной проблемы построения высокоточных локальных моделей гравитационного поля Земли.

Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией методики в условиях ярко выраженного горного рельефа, интеграцией ее данных с гравиметрическими измерениями для учета сверхкоротковолновой составляющей аномалий, а также с разработкой автоматизированного программного комплекса для выполнения полного цикла обработки.

Подводя итог, можно утверждать, что разработанная методика является эффективным и технологичным инструментом для высокоточного геодезического обеспечения позиционных районов. Она позволяет определять уклонения отвесной линии с точностью, сопоставимой с классическими астрономо-геодезическими методами, но при этом реализуется штатными средствами геодезических измерений и требует значительно меньших временных затрат.

Благодарности: *Автор выражает глубокую признательность начальнику и профессорско-преподавательскому составу кафедры за ценные методические рекомендации, поддержку и помощь, оказанную в ходе проведения теоретических исследований и натурного эксперимента.*

Список литературы

1. Астапович А.В. Теория математической обработки геодезических измерений. Учебник. ВКА имени А.Ф. Можайского, 2024.
2. Карпик А.П., Канушин В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Косарев Н.С., Косарева А.М. Определение составляющих уклонения отвесной линии на территории Западной Сибири методом численного дифференцирования // Вестник СГУГиТ. 2018. Том 23, № 3.
3. Конешов В.Н., Евстифеев М.И., Челпанов И.Б., Яшникова О.М. Методы определения уклонений отвесной линии на подвижном основании // Гироскопия и навигация. 2016. № 3. С. 75-95.
4. Машимов М.М. Уравнивание геодезических сетей. М.: Недра, 1979. 367 с.
5. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли // Тр. ЦНИИГАиК. 1960. Вып. 131.
6. Мурзабеков М.М. Совершенствование метода измерений уклонений отвесной линии на основе перебазируемого зенитного телескопа // Дисс. … канд. техн. наук. Менделеево, 2020.
7. Ребриков С.А., Жидков А.А. Анализ точности определения уклонений отвесной линии по модели EGM2008 для территории России // Геодезия и картография. 2021. Т. 82, № 5. С. 15-24.
8. Соколов А.В., Краснов А.А., Кузьмина Н.В., Яшникова О.М. Пути решения проблемы уклонений отвесной линии как источника методических ошибок инерциальных навигационных систем // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления. Москва, 2019.
9. Яковлев Н.В. Высшая геодезия. М.: Недра, 1989. 445 с.
10. Яковлев А.И. Определение составляющих уклонения отвесной линии с использованием аппаратуры потребителей космических навигационных систем // Записки Горного института. 2004. Том 156. С. 238-241.
11. Яковлев А.И. О возможности определения уклонений отвесных линий с использованием аппаратуры потребителей космических навигационных систем // Научн.-техн. сборник ВИУ (филиал) / Военно-инжен. ун-т. СПб, 2000. С. 20-22.
12. Foroughi I., et al. Towards a 1-cm geoid model for the United States: status and challenges // Journal of Geodesy. 2023. Vol. 97, Article 3.
13. Hirt C., et al. Modern Determination of Vertical Deflections using Digital Zenith Cameras // Journal of Surveying Engineering. 2010. Vol. 136, No. 1. P. 1-12.
14. International Gravity Field Service (IGFS). IGFS Standards for Geoid Modeling. 2022. URL: https://igfs.topo.auth.gr/standards/.
15. Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2012. Vol. 117, B4.
16. Psychas D., et al. Assessment of various troposphere delay models for GNSS positioning in the mountainous region of Greece // Advances in Space Research. 2022. Vol. 69, Issue 1. P. 458-473.
17. Sansò F., Sideris M.G. (Eds.) Geoid Determination: Theory and Methods. 2nd ed. Springer, 2023.
18. Yang L., et al. High-resolution local quasigeoid modeling using fused heterogeneous data: a case study in Colorado // Survey Review. 2024. Vol. 56, Issue 394. P. 1-14.
19. Zumberge J.F., et al. Advances in GNSS data processing for high-precision geodetic applications // GPS Solutions. 2022. Vol. 26, Article 45.
20. Dumont T., et al. Assessment of recent global geopotential models using terrestrial gravity and GNSS-leveling data in rugged topography // Geophysical Journal International. 2024. Vol. 236, Issue 1. P. 678-695.

УДК 004:332.1:528

ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОДАННЫХ ДЛЯ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Синицына А.Л.[1], Малюженко А.А.[2], Чеботарь А.В.[3]
[1] докторант 1.6.20, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия, anna_sinitsyna@bk.ru
[2] начальник производственно-экономического управления ППК «Роскадастр» «Восточно-Сибирское АГП», Иркутск, Россия, malikrus@mail.ru
[3] главный маркшейдер-начальник службы главного маркшейдера ООО «Газпром добыча Иркутск», Иркутск, Россия, ChebotarAV@irkutsk-dobycha.gazprom.ru

Научный руководитель: Матерухин А.В.
д.т.н., профессор, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты совместной разработки методологии сбора, интеграции и анализа многоуровневой и разнородной геоинформации для решения задачи пространственного развития промышленных территорий на примере Иркутской области. Пилотной зоной апробации разработанной методологии выбрано Ковыктинское месторождение – крупнейшее в Восточной Сибири месторождение природного газа, интегрированное в систему магистрального газопровода «Сила Сибири-1».

Ключевые слова: геоинформатика, интеграция геоданных, пространственное развитие территорий, ортофотопланы, Ковыктинское месторождение, цифровое управление, Иркутская область, филиал ППК «Роскадастр» «Восточно-Сибирское АГП», цифровая оболочка мониторинга, «Сила Сибири», национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства».

Введение. В соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации до 2030 года с перспективой до 2036 года[1] пространственное развитие понимается как совершенствование системы расселения и территориальной организации экономики, в том числе за счет проведения эффективной государственной политики регионального развития, формирования новых центров экономического роста и развития инфраструктурного каркаса страны. Важнейшим инструментом достижения поставленных целей выступает национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства»[2]. Геоинформационные системы являются ключевым инструментом анализа и систематизации пространственной информации [1]. Проблемы эффективного управления для решения задач пространственного развития территорий на базе методологии сбора, интеграции и анализа многоуровневой и разнородной геоинформации являются актуальным направлением научных исследований [2-4]. В рамках данного проекта совместно с филиалом ППК «Роскадастр» «Восточно-Сибирское АГП» разработаны подходы интеграции геоданных для цифрового управления промышленными территориями Иркутской области. Пилотной зоной апробации выбрано Ковыктинское газоконденсатное месторождение[3].

Методы. Исследование базируется на теоретических положениях, разработанных в трудах российских специалистов в области геоинформатики (Карпик А.П., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Матерухин А.В.) и зарубежных ученых (Goodchild M.F.,

[1] Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с перспективой до 2036 года (Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2024 г. № 4159-р). URL: http://static.government.ru/media/files/

[2] URL: http://government.ru/rugovclassifier/923/about/ (дата обращения 25.03.2026).

[3] https://www.gazprom.ru/projects/kovyktinskoye/ (дата обращения 25.03.2026).

Shekhar S.). В основу подходов положены принципы пространственного моделирования в экономике (А.Г. Гранберг, Пол Кругман, Уильям Алонсо) [5-7]. Использованы данные дистанционного зондирования Земли, а также открытые данные ПАО «Газпром» по Ковыктинскому газоконденсатному месторождению.

Результаты. Создаваемая цифровая оболочка мониторинга эффективности функционирования пространств будет реализовывать базовые механизмы поддержки принятия решений: пространственный аудит, алгоритмы решения прикладных задач, имитационное моделирование. В ходе исследования проведен количественный анализ развития промышленных территорий Иркутской области за период 2021–2025 гг. на основе официальных данных Федеральной службы государственной статистики[4, 5, 6].

Обсуждение. Полученные результаты согласуются с современными тенденциями развития цифровых двойников территорий и концепцией создания единой цифровой платформы «Национальная система пространственных данных», реализуемой в рамках национального проекта «Цифровая экономика». Предложенная методология базируется на принципах совместимости пространственных данных, изложенных в ГОСТ Р 52571-2006[7].

Заключение. Создаваемая цифровая оболочка мониторинга эффективности функционирования пространств, апробируемая на Ковыктинском месторождении – пилотной зоне проекта – совместно с филиалом ППК «Роскадастр» «Восточно-Сибирское АГП», может быть тиражирована для других объектов нефтегазодобычи и промышленных территорий Российской Федерации.

Благодарности: *Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н., профессору Матерухину А.В. за ценные рекомендации.*

Список литературы

1. Кошкарев А.В. Картография и геоинформатика: пути взаимодействия // Известия АН СССР. Серия географическая. 1990. № 1. С. 32.
2. Существующие проблемы в области сбора, интеграции и анализа многоуровневых и разнородных пространственных данных для решения задач управления и развития территорий. Синицына А.Л., Степанченко А.Л., Кувекина О.А. В сборнике: Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы. Материалы IV международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 175-182.
3. El Monhim, B., et al. (2025). The role of geographic information systems (GIS) in decision-making for the localization of industrial areas and the evaluation of existing industrial areas (an applied study in the Nador province). E3S Web of Conferences, 607, 03004. DOI: 10.1051/e3sconf/202560703004
4. Ganzorig, N. E., et al. (2026). Assessing Suitable Sites for Heavy Industry Development Using GIS: A Case Study of the Gobi Region. Geographical Issues, 26(01), 113–130. DOI: 10.22353/gi.2026.26.07.
5. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 495 с.
6. Кругман П. Возрастающая отдача и экономическая география // Вопросы экономики. 2009. № 10. С. 56–78.
7. Алонсо У. Местоположение и землепользование: к общей теории земельной ренты. М.: Прогресс, 1973. 192 с.

[4] Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. Валовой региональный продукт в 2021 году. 22 марта 2023. URL: https://38.rosstat.gov.ru/new/document/201457 (дата обращения 25.03.2026).

[5] Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. Индекс промышленного производства по Иркутской области за январь-декабрь 2025 года. URL: https://38.rosstat.gov.ru/folder/169050 (дата обращения 25.03.2026).

[6] КонсультантПлюс. Показатели экономического развития Иркутской области на период до 2025 года (Приложение № 22 к Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_96571/ (дата обращения 25.03.2026).

[7] ГОСТ Р 52571-2006. Географические информационные системы. Совместимость пространственных данных. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2006. 12 с.

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ЗОН ВДОЛЬ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Слободкин С.М.
аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, stas.slobodkin@yandex.ru

Научный руководитель: Мустафин М.Г.
д.т.н., зав. каф. инженерной геодезии, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. Представлена методика выделения потенциально опасных зон вдоль трасс магистральных трубопроводов на основе данных радарной интерферометрии (InSAR), мультиспектральной съемки и геологических карт. Предлагаемый подход позволяет выполнять регулярное зонирование обширных территорий с применением методов машинного обучения для определения весов факторов и вычисления интегрального индекса степени опасности. Разработанный алгоритм обеспечивает ранжирование участков по степени риска развития деформационных процессов в системе «земная поверхность – трубопровод» для проведения дальнейших наблюдений в наиболее опасных зонах, что позволяет сократить временные и финансовые затраты.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, геодезический мониторинг, система «земная поверхность – трубопровод», деформационные процессы, радарная интерферометрия, InSAR, прогнозная модель, зонирование территорий.

Введение. Магистральные трубопроводы являются объектами повышенного внимания, так как по ним осуществляется транспортировка взрывоопасных и вредных продуктов, способных нанести значительный ущерб окружающей среде, инфраструктуре и людям в случае возникновения аварийных ситуаций [1]. Обеспечение надежности их эксплуатации требует постоянной оценки текущего состояния, а также прогнозирования его изменений. Для этих целей применяются различные современные методы мониторинга [2–4], однако из-за большой протяженности трасс трубопроводов, большая часть из них нецелесообразны с точки зрения временных и финансовых затрат. В связи с этим актуальным направлением выступает создание методик зонирования протяженных территорий [5,6], обеспечивающих высокий уровень автоматизации и регулярность обновления данных, что позволяет выявлять участки, наиболее подверженные деформационным процессам, для последующего детального обследования.

Методы. Предлагаемый подход строится на последовательной обработке разнородных пространственных данных: результатов интерферометрической обработки радиолокационных снимков [7,8], спектральных индексов [9] и геологических карт. На этапе анализа с применением методов машинного обучения определяются весовые коэффициенты каждого фактора, после чего вычисляется интегральный показатель индекса степени опасности каждой зоны. Итоговая классификация позволяет подразделить территории вдоль трасс трубопроводов на категории по степени риска для проведения дальнейших наблюдений в наиболее опасных зонах [10].

Результаты. Разработан алгоритм выделения опасных зон, включающий формирование базы данных из открытых источников, их пространственную интеграцию в ГИС и определение весов факторов с применением прогнозной модели. На основе собранных данных сформирована карта с определенными индексами степени опасности зон вдоль трасс трубопроводов. Сопоставление с данными наземных обследований подтвердило, что выделенные зоны соответствуют участкам с зафиксированными деформационными процессами в системе «земная поверхность – трубопровод».

Обсуждение. Использование данных дистанционного зондирования Земли позволяет охватывать значительные по площади территории с высокой периодичностью, что

критически важно для объектов в труднодоступных районах. Интеграция разнородных геопространственных данных повышает достоверность зонирования территорий за счет учета совокупности природных и техногенных факторов. Предлагаемый метод обеспечивает выделение наиболее опасных зон для проведения в их границах дальнейших наблюдений за участками магистральных трубопроводов.

Заключение. Предложена методика выделения потенциально опасных зон на обширных территориях вдоль трасс трубопроводов, основанная на объединении данных спутниковой интерферометрии (InSAR), мультиспектральной съемки и геологических сведений. Практическая значимость работы заключается в снижении ресурсоемкости последующих этапов мониторинга за счет предварительного выделения участков с высокой вероятностью развития деформационных процессов. Направлениями дальнейших исследований являются совершенствование прогнозной модели и верификация результатов зонирования с использованием результатов наземных наблюдений.

Благодарности: *автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Мустафину Мурату Газизовичу за ценные рекомендации и Кочегаровой Валерии Андреевне за постоянную поддержку.*

Список литературы

1. Жданеев О. В. Обеспечение технологического суверенитета отраслей ТЭК Российской Федерации // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 1061–1078. DOI: 10.31897/PMI.2022.107
2. Parlak B. O., Yavasoglu H. A. A Comprehensive Analysis of In-Line Inspection Tools and Technologies for Steel Oil and Gas Pipelines // Sustainability. 2023. vol. 15, no. 3. pp. 2783. DOI: doi.org/10.3390/su15032783
3. Chen P. и др. A Decade Review of the Art of Inspection and Monitoring Technologies for Long-Distance Oil and Gas Pipelines in Permafrost Areas // Energies. 2023. vol. 16, no. 4. pp. 1751. DOI: 10.3390/en16041751
4. Raffl L., Holst C. Extending geodetic networks for geo-monitoring by supervised point cloud matching // Journal of Applied Geodesy. 2025. vol. 19, no. 2. pp. 159–173. DOI: 10.1515/jag-2024-0011
5. Mustafin M. G., Slobodkin S. M. Methodology of Geodetic Observations for Forecasting of Potentially Hazardous Zones of Operating Main Pipelines // International Journal of Engineering. 2026. vol. 39, no. 7. pp. 1753–1761. DOI: 10.5829/ije.2026.39.07a.18
6. Zhou L. и др. Deformation monitoring of long-span railway bridges based on SBAS-InSAR technology // Geodesy and Geodynamics. 2024. vol. 15, no. 2. pp. 122–132. DOI: 10.1016/j.geog.2023.07.005
7. Li J. и др. Geological Hazard Risk Assessment Based on Time-Series InSAR Deformation: A Case Study of Xiaojin County, China // Applied Sciences. 2025. vol. 15, no. 8. pp. 4143. DOI: 10.3390/app15084143
8. Zhao C. и др. Formal Quantification of Spatially Differential Characteristics of PSI-Derived Vertical Surface Deformation Using Regular Triangle Network: A Case Study of Shixi in the Northwest Xuzhou Coalfield // Remote Sensing. 2025. vol. 17, no. 8. pp. 1388. DOI: 10.3390/rs17081388
9. Bill R. и др. Geospatial Information Research: State of the Art, Case Studies and Future Perspectives // Journal of Photogrammetry Remote Sensing and Geoinformation Science. 2022. vol. 90, no. 4. pp. 349–389. DOI: 10.1007/s41064-022-00217-9
10. Кузин А. А., Филиппов В. Г. Прогнозирование величин оползневых смещений на основе геодезических данных // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16, № 3. С. 1176–1191. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-1176-1191

УДК 332.1; 332.3

КЛЮЧЕВЫЕ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ В ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОМ ПОДХОДЕ РАЗВИТИЯ ВИНОГРАДАРСТВА И ВИНОДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ

Тимижев Т.М.
соискатель кафедры землеустройства,
Государственный университет по землеустройству,
Москва, Россия, timizhev_tembulat@mail.ru

Научный руководитель: Черкашина Е.В.
д.э.н, доцент, профессор кафедры землеустройства,
Государственный университет по землеустройству,
Москва, Россия, cherkashinaev@guz.ru

Аннотация. В статье обосновывается необходимость формирования виноградарско-винодельческих кластеров на основе программно-целевого подхода. Выявлены природно-сельскохозяйственные зоны Республики Северная Осетия-Алания, пригодные для промышленного виноградарства. Предложена система землеустроительных мероприятий, включающая формирование сырьевых зон перерабатывающих предприятий, устройство территории виноградников и создание питомников. Сформулированы принципы землеустройства кластеров. Разработанные положения использованы в проекте региональной программы развития виноградарства и виноделия на 2026–2033 годы.

Ключевые слова: виноградарство, виноделие, землеустройство, кластер, сырьевая зона, программно-целевой подход, рельеф, Северная Осетия-Алания.

За последние годы отрасли виноградарства и виноделия России вошли в число наиболее развивающихся, благодаря совершенствованию мер государственной поддержки. В федеральном проекте «Стимулирование развития виноградарства и виноделия» поставлена цель увеличить площади промышленных виноградников в стране со 113 тыс. га до 150 тыс. га к 2030 году. Республика Северная Осетия-Алания (далее – РСО-Алания), является одной из зарегистрированных виноградарско-винодельческих зон Российской Федерации, где имеются благоприятные климатические и экологические условия для возделывания винограда в промышленных масштабах. Однако земельный потенциал, еще полностью не реализован, по текущей инвентаризации земель в РСО–Алания около 8495 га пашни, каменистых земель со сложным овражным рельефом вовсе не используется или не используется по целевому назначению. Задача эффективного использования земель в хозяйствах виноградо-винодельческих зон одна из важнейших задач современности, которая должна решаться в том числе и посредством землеустройства [1, 2].

На наш взгляд, необходимо в комплексе рассматривать винодельческие заводы и виноградарские хозяйства как единый территориально-производственный кластер, где все звенья являются одной производственной цепью. В связи с чем, нами предлагается вовлечь в оборот неиспользуемые сельскохозяйственные угодья для развития виноградарства в республике и формирования виноградарско-винодельческих кластеров. Решение проблемы возможно только на основе программно-целевого метода, в котором предусмотрен комплекс землеустроительных мер. Программа запланированных мероприятий берет свое основание от двух направлений развития: это рациональное вовлечение земель в производственный процесс и снабжение его высокоэффективными средствами труда для сбора и переработки винограда.

Целью разработки республиканской целевой программы развития виноградарства и виноделия в Республике Северная Осетия-Алания на 2026-2033 годы является сохранение, расширение площадей и увеличение продуктивности виноградников для обеспечения промышленности высококачественным сырьем и увеличение объемов производства высококачественных вин.

Реализация поставленной цели потребует решения ряда задач: реконструировать существующие и создать новые хозяйства, выращивающие виноград, снабдить их передовой техникой и привлечь специалистов данной отрасли, осуществить комплекс организационно-технических и финансово-экономических мероприятий, обеспечивающих рост производства продукции, создать современную индустрию переработки на основе прогрессивных технологий и новой техники, наладить финансово-экономическую систему получения дотации и возврата в форме налоговых, акцизный отчислений в государственный бюджет.

Система мероприятий, предусмотренных Программой, представляет собой комплекс взаимосвязанных и последовательных землеустроительных, технических, технологических, организационных, хозяйственных мер, направленных на эффективное развитие виноградарства и виноделия в республике.

Так, в Программе предусматривается изучение состояния земель, планирование рационального и эффективного использования и охраны земель, пригодных для возделывания и переработки винограда в виноградарско-винодельческом комплексе республики [3, 4].

Анализ региона позволил выделить три основные природно-сельскохозяйственные зоны в РСО-Алания: равнинную, предгорную и горную, обладающие уникальными характеристиками, включая: специфику рельефа местности, температурный режим и уровень увлажнения, неоднородность почвенно-растительных комплексов. Таким образом, выявили пригодные для промышленного виноградарства ареалы, которые расположены в административных районах республики: Моздокский, Кировский, Правобережный и Ардонский, а также северные части Ирафского, Дигорского и Пригородного районов [5-6].

Исследования показали, что ранее формирование сырьевых зон, включающую плантацию виноградников (без питомников) и вопрос устройства территории виноградников решались в основном обособлено. Эпизодически в методиках упоминается о необходимости размещения перерабатывающих предприятий и виноградохранилищ при устройстве территорий виноградников и т.д. [9,10].

В современных условиях, становится очевидным, что для успешного развития отрасли необходимо формирование виноградарско-винодельческого кластера, центром которого должен быть винодельческий завод с сырьевой зоной, включающей систему землепользования, землевладений, возделывающих виноград.

Ключевым вопросом системы землеустройства данного формирования является устройство территории виноградников и связанных с ней средств производства, осуществляемых на основе землеустроительных схем и проектов в целях создания благоприятной экономической и экологической среды. Проект устройства территории виноградников включает следующие элементы: размещение сортов виноградных насаждений; размещение кварталов, клеток и бригадных участков; размещение подсобных хозяйственных центров, бригадных станов; размещение защитных лесных полос, дорожной сети и водных сооружений, оросительной сети; размещение и устройство территории виноградных питомников.

В условиях сложного рельефа местности с уклоном 7-12º, пересеченного балками, оврагами, водоразделами и т.п., рекомендуется ввести в систему проектных элементов одногектарные участки, делящие клетку на более мелкие части, что будет способствовать более эффективной организации работ по уходу за виноградником и сбору урожая. Для окультуривания каменистых земель со сложным рельефом необходимо применение специализированной техники.

Следует отметить, что при наличии склонов свыше 12° следует проводить их терасирование для посадки виноградников. После вступления лозы в период полного плодоношения, через три-четыре года неудобные, бросовые и ранее неиспользуемые земли превратятся в удобные и используемые в сельскохозяйственном производстве виноградные террасы (горизонтальные площадки) [7,8].

Организация виноградных питомников в республике позволит удовлетворить потребность в закладке саженцев собственным посадочным материалом.

Безусловно, все землеустроительные мероприятия должны проводиться с единой целью – повышение эффективности производства и переработки винограда. Основными принципами землеустройства виноградарско-винодельческого кластера должны быть: 1) Программно-целевой принцип – формирование кластера на основе государственной/региональной программы и утвержденного бизнес-плана землепользователя; 2) Принцип территориальной дифференциации – учет экологических, социальных, логистических и экономических условий конкретных территорий; 3) Логистический принцип – максимальная близость виноградников к винодельне (транспортировка ≤4 часов); 4) Принцип социальной доступности – близость массивов виноградников к населенным пунктам; 5) Принцип компактности землепользования – единство территории, правильная конфигурация участков; 6) Принцип системности – взаимосвязь и взаимодействие всех элементов проекта устройства территории; 7) Принцип сортового районирования – рациональная структура сортового состава насаждений; 8) Принцип технологичности – условия для эффективного использования механизации и ручного труда; 9) Принцип инфраструктурной целостности – рациональное размещение хозцентров, промышленных объектов, хранилищ.

Основной вывод исследования заключается в том, что система землеустроительных мероприятий виноградо-винодельческой зоны является важной и неотъемлемой частью в разработке республиканской целевой программы развития виноградарства и виноделия в Республике Северная Осетия-Алания на 2026-2033 годы, внедрение которой позволит повысить эффективное и рациональное управление земельными и другими (зависимыми от использования земли) ресурсами республики. При ее реализации, виноградарско-винодельческий комплекс – может стать одним из основных отраслей агропромышленного комплекса РСО-Алания и занимать значительную часть в его экономике.

Проект Программы вносит определенные концепты в теоретические основы данной области наук и создает основу для будущих исследований. Результаты исследования могут быть применены на практике в качестве рекомендаций по развитию виноградарства и виноделия в Северной Осетии-Алании.

Список литературы

1. Рогова Т.А. Анализ распределения земель сельскохозяйственного назначения в Моздокском районе РСО–Алания // Землеустройство и кадастры/ Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Горский государственный аграрный университет (Владикавказ), 2020. – С. 85-88.
2. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон № 101 от 24.07.2002 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37816/
3. Плиев Г.И. Эколого-Экономическое районирование Северной Осетии-Алании и управление процессами природопользования: диссертация канд.экон.наук: 11.00.02. М.,1998. С. 80-1106.
4. Природные ресурсы Республики Северная Осетия-Алания / К.Х. Бясов [и др.] // 2000. С 15-50.
5. Об утверждении территориального деления виноградопригодных земель РФ: Распоряжение Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3720-р – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400069376/
6. Об утверждении республиканской целевой программы «Развитие виноградарства и виноделия в Кабардино-Балкарской Республике на 2003-2010 годы» [Текст]: Закон Кабардино-Балкарской республики от 20 августа. 2003 г. № 75 РЗ // [Электронный ресурс] URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=-&nd=135013073&rdk=0.
7. Волков С.Н. Землеустроительное проектирование. Учебники и учебные пособия для студентов вузов. В 2-х т. т. 2/ С.Н. Волков. – М.: ГУЗ, 2020. – 560 с.
8. Сулин М.А. Современные проблемы землеустройства: монография / М.А. Сулин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 172 с.: ил. – Текст: непосредственный.
9. Основы землеустройства: учеб. пособие / О.П. Колпакова, С.А. Мамонтова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 144 с.
10. Черкашина, Е.В. Экономика и организация рационального использования и охраны земель эфиромасличной и лекарственной отрасли: Монография / Е.В. Черкашина. – М.: ГУЗ, 2013. – 284 с.

ОСОБЕННОСТИ КАДАСТРОВОГО УЧЁТА ОКН В РФ НА ПРИМЕРЕ АНСАМБЛЯ УСАДЬБЫ Г.И. ЛАВРОВА В Г. КУРСКЕ

Тютюнникова А.Д.
студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия, tyutyunnikovaanastas@yandex.ru

Научный руководитель: Новикова Т.М.
кандидат географических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности государственного кадастрового учета ОКН в Российской Федерации. На основе анализа сведений ЕГРН и материалов правоприменительной практики на примере ансамбля усадьбы потомственного почетного гражданина Г.И. Лаврова в г. Курске выявлены ключевые проблемы межведомственного взаимодействия при внесении охранного статуса в кадастровые сведения. Установлено, что запаздывание синхронизации данных между реестрами создает риски утраты историко-культурного наследия.

Ключевые слова: объект культурного наследия (ОКН), кадастровый учет (КУ), ЕГРН, ЕГРОКН, усадьба Лаврова, зоны охраны, межведомственное взаимодействие, ограничения использования, объект недвижимости (ОН).

Введение. Государственный кадастровый учёт объектов недвижимости, обладающих признаками объектов культурного наследия, представляет собой сложный междисциплинарный процесс, находящийся на стыке земельно-имущественных отношений и законодательства об охране памятников. Правовой режим таких объектов определяется как нормами Федерального закона № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости», так и специальными положениями Федерального закона № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия народов Российской Федерации»[1]. Это обуславливает наличие особых требований к описанию характеристик таких объектов, а также к установлению границ их территории и зон охраны. Актуальность данного исследования связана с необходимостью совершенствовать механизмы информационного обмена между Росреестром и органами охраны памятников, чтобы предотвратить утрату объектов историко-культурного наследия. Цель работы – выявить проблемные вопросы кадастрового учета объектов культурного наследия на примере ансамбля усадьбы Г.И. Лаврова в Курске.

Методы. Исследование проведено на основе анализа сведений Единого государственного реестра недвижимости (выписки на здание [6] и земельный участок [7]), изучения публикаций в средствах массовой информации, а также материалов правоприменительной практики, связанных с утратой элемента объекта культурного наследия в 2021 году. Дополнительно был проведён анализ нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы охраны объектов культурного наследия и их кадастрового учёта.

Результаты. Анализ кадастровых данных показал, что здание с кадастровым номером 46:29:102255:116 имеет статус «ранее учтенного» с 2011 года. В разделе 5.1 выписки содержится отметка о том, что объект является выявленным памятником культурного наследия – «Флигель» (вторая половина XIX века – 1910-е годы) и входит в состав ансамбля усадьбы. Земельный участок с кадастровым номером 46:29:102255:8 полностью расположен в границах территорий трёх объектов культурного наследия: главного усадебного дома, ансамбля усадьбы и флигеля. Указанное обстоятельство подтверждается

[1] Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 15.10.2025) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2002. № 26. Ст. 2519.

сведениями о зонах с реестровыми номерами 46:29-8.328, 46:29-8.329 и 46:29-8.330 от 14 июня 2023 года [6, 7].

Отдельного внимания заслуживает событие, произошедшее в Курске 15 апреля 2021 года, когда были снесены ворота городской усадьбы потомственного почетного гражданина Г.И. Лаврова. На момент сноса ворота уже обладали статусом выявленного объекта культурного наследия [3]. Собственник здания, купивший его 19 января 2021 года, впоследствии утверждал, что при совершении сделки администрация не уведомила его об охранном статусе объекта [3]. В марте того же года объект включили в перечень выявленных памятников, однако соответствующие сведения в ЕГРН внесены не были. К моменту прибытия на место председателя комитета по охране объектов культурного наследия Курской области ворота были уже снесены, подрядчик осуществлял уборку строительного мусора [4].

Обсуждение. Рассмотренный случай наглядно демонстрирует ключевую проблему кадастрового учёта объектов культурного наследия – несвоевременную либо неполную синхронизацию данных между ЕГРН и ЕГРОКН. В соответствии со статьёй 9 Федерального закона № 73-ФЗ, формирование и ведение реестра объектов культурного наследия осуществляется Министерством культуры Российской Федерации совместно с органами государственной власти субъектов Российской Федерации[2]. В соответствии со статьёй 9 Федерального закона № 73-ФЗ, формирование и ведение реестра объектов культурного наследия осуществляется Министерством культуры Российской Федерации совместно с органами государственной власти субъектов Российской Федерации[3].

Вместе с тем законодательство не устанавливает аналогичных по жёсткости сроков для направления сведений о включении объекта в реестр либо о придании ему статуса выявленного объекта культурного наследия. Более того, пункт 7 статьи 3.1 Федерального закона № 73-ФЗ прямо указывает, что сведения о границах территории объекта культурного наследия и об ограничениях использования недвижимости в указанных границах подлежат внесению в ЕГРН[4]. При этом отсутствие в ЕГРН таких сведений не освобождает от соблюдения установленных ограничений. Таким образом, возникает правовая коллизия: обязанность соблюдения охранного режима возникает с момента включения объекта в перечень выявленных, однако реальная возможность получения информации о данном статусе из общедоступных источников (выписок ЕГРН) появляется лишь после внесения соответствующих данных в реестр недвижимости.

В случае с усадьбой Лаврова временной разрыв составил несколько месяцев: объект был продан в январе, статус выявленного памятника присвоен в марте, снос осуществлён в апреле 2021 года. Собственник фактически не обладал актуальной информацией об охранном статусе приобретённого имущества, поскольку соответствующие сведения в ЕГРН на тот момент внесены не были.

Заключение. Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, действующий механизм межведомственного информационного взаимодействия при постановке на кадастровый учёт объектов культурного наследия требует совершенствования в части установления обязательных сроков направления сведений о включении объектов в перечень выявленных объектов культурного наследия в органы Росреестра. Во-вторых, целесообразно законодательно закрепить обязанность продавца

[2] Письмо Росреестра от 08.04.2025 № 01-3289-ТГ/25 «По вопросу снятия с государственного кадастрового учета объектов недвижимости, являющихся объектами культурного наследия, прекративших свое существование» (вместе с письмом Минкультуры РФ от 02.04.2025 № 5674-01.1-54@-ам).

[3] Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ (ред. от 28.12.2025) «О государственной регистрации недвижимости» // Собрание законодательства РФ. 2015. № 29. Ст. 4344.

[4] Комментарий к Федеральному закону от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» (постатейный) / под ред. А.Н. Борисова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юстицинформ, 2023. 456 с.

объектов недвижимости информировать покупателя о наличии статуса ОКН или о нахождении объекта в перечне выявленных, даже если соответствующие сведения еще не внесены в ЕГРН. В-третьих, необходимо обеспечить приоритетное внесение в ЕГРН сведений о границах территорий объектов культурного наследия и зонах их охраны для объектов, в отношении которых планируются сделки с недвижимостью. Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования его результатов при совершенствовании законодательства в сфере кадастрового учёта объектов культурного наследия разработке методических рекомендаций для органов охраны памятников и Росреестра.

Список литературы

1. Борисов А.Н. Комментарий к Федеральному закону от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» (постатейный). 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юстицинформ, 2023. 456 с.
2. Старова Е.В. К вопросу о практике компенсации потерь арендаторов земельных участков, включенных в границы зон с особыми условиями использования территорий // Право и экономика. 2025. № 2. С. 33-38.
3. KURSKCiTY: В Курске снесли ворота исторической усадьбы Лаврова на ул. Белинского. URL: https://kurskcity.ru/news/citynews/168514 (дата обращения: 05.03.2026).
4. KURSKCiTY: В Курске прокуратура расследует снос ворот на улице Белинского, 23. URL: https://kurskcity.ru/news/citynews/168705 (дата обращения: 05.03.2026).
5. ГТРК «Курск»: В Курске суд начал рассмотрение дела о сносе ворот на улице Белинского. URL: https://gtrkkursk.ru/news/16160-kurske-sud-nachal-rassmotrenie-dela-snose-vorot-ulice-belinskogo (дата обращения: 05.03.2026).
6. Выписка из Единого государственного реестра недвижимости об объекте недвижимости от 27.02.2026 № КУВИ-001/2026-26657208. Здание с кадастровым номером 46:29:102255:116.
7. Выписка из Единого государственного реестра недвижимости об объекте недвижимости от 27.02.2026 № КУВИ-001/2026-26612070. Земельный участок с кадастровым номером 46:29:102255:8.
8. Toolforge: Карточка объекта из ЕГРОКН. Ансамбль усадьбы потомственного почетного гражданина Г.И. Лаврова. URL: https://ru-monuments.toolforge.org/get_info.php?id=462321384320005 (дата обращения: 05.03.2026).
9. Malisheva E.V., Musyal A.V., Dolgopolova N.V., Novikova T.M., Pashkova M.I. Agricultural landscapes and financial factors affecting soil microzones in the kursk region// В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023). EDP Sciences, 2023. С. 01008.
10. Musyal A.V., Zhilyakov D.I., Dolgopolova N.V., Malysheva E.V., Novikova T.M. Of the quality of the results of the state assessment of soil and landscape objects// В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. X International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-X 2024). Les Ulis, 2024. С. 08002.

ПРИМЕНЕНИЕ КАДАСТРОВЫХ РАБОТ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПЕРЕСЕЛЕНИЯ ГРАЖДАН ИЗ АВАРИЙНОГО ЖИЛЬЯ

Хвостова О.А.
студентка, Юго-западный государственный университет, Курск, Россия, kowentril26@mail.ru

Научный руководитель: Новикова Т.М.
к.г.н., доцент, ученая степень, Юго-западный государственный университет, Курск, Россия.

Аннотация. Работа посвящена исследованию роли и значения кадастровых работ в реализации программ переселения граждан из аварийного жилищного фонда. Важность темы обусловлена масштабностью стоящей перед государством задачи по сносу аварийного жилья и необходимостью обеспечения юридической чистоты всех процедур, связанных с изъятием недвижимости для государственных и муниципальных нужд, предоставлением новых квартир и последующим сносом аварийных объектов.

Ключевые слова: жилищный фонд, государственной кадастровый учет, Росреестр, собственники, органы местного самоуправления, изъятие, регистрация прав.

Введение. В связи с износом жилищного фонда встает вопрос об переселении населения аварийного жилья. Такое жилье не является безопасным, сказывается на архитектурной составляющей города и затормаживает развитие используемой территории. Для жилищной политики решение вопроса об переселении является одним из приоритетных направлений, требующих финансовых, материальных и административных ресурсов.

Использование кадастровых работ в программах по переселению из аварийного жилья является связующим звеном между физическими характеристиками объекта и юридическим статусом.

Методы. Для проведения процедуры по переселению из аварийного жилья, требуется проведение большого количества работы. Так для начала собственники жилья или органы власти должны признать жилье аварийным [1]. Собирается комиссия, в которую входят представители пожарной службы, администрации, жилищного надзора, экологического контроля, регистрации и инвентаризации недвижимости, эксперты по оценке жилья. В дальнейшем, если доказано что жилье является аварийным, его включают в региональную программу. Впоследствии с наступлением очереди собственники получают уведомления об изъятии объекта капитального строительства и земельного участка [2]. В течении 90 дней со дня получения проекта соглашения жильцы подписывают их и направляют в орган местного самоуправления. Для собственников не согласных с условиями переселения, органы местного самоуправления направляют исковое заявление с требованием в судебном порядке изъять аварийное жилье с предоставлением компенсации. После этого происходит подпоясывание акта приема-передачи и регистрирования права в Росреестре.

В ходе проведения процедуры переселения, применяются следующие кадастровые работы:

1. Формирование и постановка на государственный кадастровый учет земельные участки под аварийными домами [3].

Постановка на государственный кадастровый учет является основополагающей процедурой. Отсутствие актуальных сведений по земельному участку, не позволяет провести дальнейшее изъятие недвижимого имущества. Важно учесть, что постановка на учет производится в том случае, когда земельный участок не имеет статуса ранее учтенного. Проверить статус можно на сайте «Национальная система пространственных данных»

и если земельный участок имеет статус ранее учтенный, то этот этап в программе пропускается [4].

2. Учет регистрации аварийного жилья в ЕГРН

С 2022 законодательно закреплено, что органы власти обязаны вносить в ЕГРН сведения о признании многоквартирного дома аварийным и требующего сноса. Несмотря на то, что данный вид работы не относится к кадастровой деятельности, акт, составляемый при этом, является документом, носящим реестровую информацию. В следствии чего в выписке из ЕГРН ставится отметка об аварийности жилья, что позволяет возможным покупателям знать, что жилье является аварийным [5].

3. Кадастровый учет всех помещений в аварийном жилье.

Для изъятия квартир у собственников, требуется чтобы каждая квартира в многоквартирном доме стаяла на учете и имела свой кадастровый номер. В постановлении об изъятии указывают не только адрес аварийного здания, но и кадастровые номера всех помещений, как жилых, так и нежилых. Следует учесть, что если помещения не числятся как ранее учтенные, то проводится работа по постановке на учет и техническая инвентаризация [6].

4. Подготовка документов для изъятия и регистрации перехода права.

Когда постановление об изъятии подготовлено, копия направляется Росреестр. Кадастровые инженеры на этом этапе требуются для подготовки документов, при составлении соглашения об изъятии, проведения прекращения государственной регистрации прав собственников и возникновения муниципальной собственности на изъятую недвижимость.

5. Государственный кадастровый учет нового жилья.

Завершающим этапом является постановка на учет нового жилья, которое получат собственники из аварийного жилья. Как и в аварийном жилье сам многоквартирный дом и помещения в нем встают на государственный кадастровый учет и получают свои кадастровые номера. После регистрации прав собственники получают выписку из ЕГРН с характеристиками своего объекта недвижимости. При этом земельный участок так же ставится на кадастровый учет [7].

6. Снятие с учета снесенных объектов.

Завершающий этап в работе с аварийным жильем является снятие его с кадастрового учета здания и земельного участка под ним. При этом земельный участок допустимо не снимать с учета, а поменять ему характеристики, в связи с освобождением от застройки [8].

Результаты. В ходе изучения данного вопроса были выявлен ряд проблем, которые решаются с помощью проведения кадастровых работ. Основные среди них это отсутствие сведений в ЕГРН про аварийное жилье или они могут быть не актуальные. Отсутствие сформированных земельных участок и помещений, что проводит к неверно сформированной и неактуальной информации об объектах недвижимости [9].

Обсуждение. В отличие от традиционного подхода, рассматривающего кадастр преимущественно как инструмент государственного кадастрового учета или регистрации прав, в социально значимых программах, такие как переселение из аварийного жилья, кадастровые работы приобретают характер инфраструктурного механизма, связывающего воедино органы местного самоуправления, органы кадастровой деятельности, а также самих граждан, находящихся в таких условиях [10].

Заключение. В контексте переселения из аварийного жилья, кадастровые работы выполняют основную функцию в учете и регистрации. Без правильно проведенного государственного кадастрового учета не получится провести данную процедуру. Так же благодаря кадастровой деятельности в реестрах имеется актуальная информация

про объекты недвижимости, значительно увеличивает темпы работы. При полной и актуальной информации сведениях ЕГРН в отношении аварийного жилья, программа по переселению граждан из него происходит быстрее и без судебных разбирательств.

Список литературы

1. Методическое пособие по содержанию и ремонту жилищного фонда. МДК 2-04.2004 (утв. Госстроем России) // М.: ФГУП ЦПП. – 2023.
2. Об утверждении региональной адресной Курской области по переселению граждан из аварийного жилищного фонда на 2025-2030 годы: Постановление Правительства Курской области. – 2025.
3. Прощалыгин Р.А., Игошкина М.Е. Некоторые аспекты реализации жилищной политики в рамках программы комплексного развития территории жилой застройки/ Р.А. Прощалыгин, М.Е. Игошкина // Семейное и жилищное право. – 2024. – № 6. – С. 40 – 43.
4. Национальная система пространственных данных. URL: https://nspd.gov.ru/map?thematic=PKK&zoom=19&coordinate_x=4025511.599109569&coordinate_y=6749589.815005389&baseLayerId=235&theme_id=1&is_copy_url=true&active_layers=36049%2C36048 (дата обращения 16.03.2026).
5. Шахова Е.С. К вопросу о формировании траектории развития отрасли жилищно-коммунального хозяйства в России: инновационные подходы к управлению жилищным фондом с прогнозом на период до 2035 г. / Е.С. Шахова // Семейное и жилищное право. – 2025. – № 2. – С. 45 – 48.
6. Шнейдерман Н.И., Гришанов В.И., Гузанова А.К., Ноздрина Н.Н. Проблемы ветхого и аварийного жилья в России/ Н.И. Шнейдерман, В.И. Гришанов, А.К. Гузанова, Н.Н. Ноздрина // Народонаселение. – 2024. – Том. 22. – № 4. – С. 18-35.
7. Авдеева С.Ю. Проблема воспроизводства жилищного фонда в России// Kant: Экономика и управление. – 2025. – № 1 (4). – С. 59-60.
8. Афанасьева, Ю.Л. Правовые проблемы переселения из ветхого и аварийного жилья / Ю.Л. Афанасьева // Правовые вопросы недвижимости. – 2024. – № 1. – С. 20-25.
9. Блех Е.М. Проблемы, связанные с ликвидацией аварийного жилищного фонда России// Строительство. Экономика и управление. – 2025. – № 2 (26). – С. 12-17.
10. Распоряжение Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р [ред. от 29.11.2023] «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года // Собрание законодательства РФ, 07.11.2022, № 45, ст. 7815.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Худяков Е.С.
студент 1-ого курса, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, hhoooo.oooodd@gmail.com

Научный руководитель: Яковлева Н.Д.
старший преподаватель кафедры «Инженерная геодезия», Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация. В статье рассматривается комплексный геодезический подход к созданию цифровых двойников подземных сооружений. Основное внимание уделено интеграции лазерного сканирования, трехмерного моделирования и алгоритмов расчета объемных характеристик. Предложен алгоритм формирования цифрового двойника, включающий этапы обработки облаков точек, построения TIN-модели и анализа отклонений. Приведена количественная оценка точности модели на основе показателя RMSE. Результаты показывают, что предложенный подход обеспечивает высокую точность (до 6 мм) и позволяет эффективно выявлять геометрические отклонения и деформации.

Ключевые слова: цифровой двойник, инженерная геодезия, лазерное сканирование, тоннели, 3D-модель, объемы, деформации.

Введение. Современное развитие инженерной геодезии характеризуется активным внедрением цифровых технологий пространственного анализа, позволяющих существенно повысить точность и информативность данных о сложных инженерных объектах [1, 2]. Особую актуальность данные технологии приобретают при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, где традиционные методы измерений ограничены условиями наблюдений и не обеспечивают полной пространственной информации.

Одним из наиболее перспективных направлений является создание цифровых двойников, представляющих собой интегрированные трехмерные модели объектов, объединяющие геометрические и эксплуатационные характеристики [3]. В отличие от классических методов, цифровые двойники обеспечивают возможность непрерывного мониторинга состояния сооружений и анализа их деформаций.

С математической точки зрения цифровой двойник может быть представлен как множество точек:

$$P = \{(x_i, y_i, z_i) \mid i = 1, 2, ..., n\}, \quad (1)$$

на основе которого формируется поверхность объекта и вычисляются его объемные характеристики:

$$V = \iiint_{\Omega} dV. \quad (2)$$

В отличие от существующих исследований [1-4], в данной работе предложен комплексный геодезический подход, основанный на интеграции лазерного сканирования, триангуляционного моделирования и алгоритмов анализа отклонений, что позволяет повысить точность оценки геометрических параметров подземных сооружений.

Методы. Формирование цифрового двойника начинается с создания опорной геодезической сети. Суммарная среднеквадратическая ошибка передачи координат определяется:

$$m = \sqrt{m_{пл}^2 + m_{выс}^2 + m_{ориент}^2}\ , \tag{3}$$

Основным методом получения пространственных данных является наземное лазерное сканирование [5, 6], основанное на измерении времени прохождения сигнала:

$$D = \frac{c \cdot t}{2}\ , \tag{4}$$

Координаты точек в пространстве вычисляются на основе измеренных расстояний и углов:

$$\begin{cases} x = D\cos\alpha\cos\beta \\ y = D\sin\alpha\cos\beta \\ z = D\sin\beta \end{cases}, \tag{5}$$

Алгоритм формирования цифрового двойника. Предлагаемый алгоритм включает следующие этапы:

1. Сбор данных (облако точек P).
2. Регистрация облаков точек:

$$\sum \left\| T(P_i) - Q_i \right\|^2 \to \min\ . \tag{6}$$

3. Построение TIN-модели.
4. Формирование поперечных сечений.
5. Расчет объемов.
6. Анализ отклонений.

Качество модели оценивается по среднеквадратической ошибке:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta x_i^{\,2} + \Delta y_i^{\,2} + \Delta z_i^{\,2}\right)}. \tag{7}$$

Результаты. На основе облака точек строится триангуляционная модель (TIN) тоннеля. Площадь элемента поверхности:

$$S = \frac{1}{2}\left|\left(\vec{AB} \times \vec{AC}\right)\right|, \tag{8}$$

Объем определяется как сумма объемов элементарных тел между соседними сечениями:

$$V = \sum_{k=1}^{m-1} \frac{S_k + S_{k+1}}{2} h_k\ , \tag{9}$$

Особое значение имеет определение разностных объемов, характеризующих отклонение фактической геометрии от проектной. В этом случае объем отклонений вычисляется как интеграл разности поверхностей:

$$\Delta V = \iint_S \left(z_{fact}(x,y) - z_{proj}(x,y)\right) dS\ . \tag{10}$$

Точность определения объемов напрямую зависит от точности геодезических измерений и плотности облака точек. Оценка ошибок определения объема может быть выполнена по формуле:

$$m_V = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial V}{\partial z_i}\cdot m_{zi}\right)^2}\,, \tag{11}$$

Полученные результаты: RMSE = 0,006 м, максимальное отклонение 0,012 м, относительная ошибка объема 1,0%.

Обсуждение. Полученные результаты сопоставимы с современными исследованиями в области лазерного сканирования [6-8]. При этом предложенный подход обеспечивает сопоставимую точность при более высокой автоматизации обработки данных.

Основные преимущества метода:

- высокая плотность данных;
- повышение точности оценки геометрии;
- возможность мониторинга во времени.

Сравнение методов показало, что лазерное сканирование значительно превосходит традиционные тахеометрические измерения по производительности при сохранении высокой точности.

Заключение. Разработанный геодезический подход к созданию цифровых двойников подземных сооружений обеспечивает высокую точность пространственного моделирования и анализа объемных характеристик.

Научная новизна работы заключается:

- в разработке алгоритма формирования цифрового двойника;
- интеграции методов лазерного сканирования и TIN-моделирования;
- количественной оценке точности модели.

Практическая значимость заключается в возможности применения предложенного подхода для мониторинга состояния тоннелей и шахт.

Список литературы

1. Аврунев Е.И., Гатина Н.В., Козина М.В. Разработка принципов 3D-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27. № 2. С. 45–54.
2. Лисицкий Д.В., Чернов А.В. Применение лазерного сканирования в инженерной геодезии // Геодезия и картография. 2020. № 6. С. 2–8.
3. Козина М.В. Геодезическое обеспечение подземного строительства // Записки Горного института. 2022. Т. 256. С. 112–118.
4. Ган И.В. Применение цифровых моделей при диагностике тоннелей // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 89–95.
5. Бударова В.А., Мартынова Н.Г., Шереметинский А.В. Формирование цифрового информационного пространства автотранспортной инфраструктуры // Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26. № 4. С. 78–86.
6. Середович В.А., Комиссаров А.В. Лазерное сканирование в инженерных изысканиях // Геодезия и картография. 2019. № 4. С. 15–21.
7. Попов М.М., Степанцова А.Ю. Геодезический мониторинг деформаций подземных сооружений // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 95–102.
8. Карпик А.П., Дьяконов К.Н. Современные методы трехмерного моделирования в геодезии // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24. № 3. С. 7–18.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЛАКОВ ТОЧЕК И СОЧЕТАНИИ МЕТОДОВ ВОКСЕЛИЗАЦИИ И СЕГМЕНТАЦИИ

Хушт Н.И.
старший инженер отдела генеральных планов и транспорта
АО «Полиметалл Инжиниринг»,
Санкт-Петербург, Россия, nafset-khusht@yandex.ru

Научный руководитель: Брынь М.Я.
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Инженерная геодезия»,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Повсеместное внедрение воздушного лазерного сканирования, позволяющего оперативно проводить съёмку больших территорий и представлять результаты в трехмерном виде, требует как совершенствования существующих методов обработки облаков точек, так и повышения качества подготовительных работ и получения исходных данных для составления предварительных проектов воздушного лазерного сканирования. Для решения обозначенной проблемы в рамках данного исследования осуществлена разработка методики обработки данных воздушного лазерного сканирования на основе генерации искусственных облаков точек и сочетании методов вокселизации и сегментации, позволяющая оптимизировать работу с данными воздушного лазерного сканирования как на этапе подготовительных работ, так и в процессе их дальнейшей обработки при производстве камеральных работ.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, генерация искусственных облаков точек, вокселизация, сегментация.

С увеличением площадей застроенных и застраиваемых земель, широкое распространение получили методы, позволяющие оперативно проводить съёмку больших территорий и представлять результаты в трёхмерном виде. В качестве одного из таких методов выступает воздушное лазерное сканирование, при котором в процессе полёта беспилотного воздушного судна с закреплённым на нем сканирующим устройством, осуществляется фиксация форм физических объектов с помощью лазерного луча, излучаемого сканером и отражающегося от поверхности объектов, и их представление в виде трёхмерного облака точек [1-3].

Результатом обработки полученного облака точек выступает обладающая высокой точностью итоговая трёхмерная модель объектов. Качество итоговой модели зависит от каждого этапа производства работ по воздушному лазерному сканированию, включая подготовительные, полевые и камеральные работы.

Так, несмотря на широкое разнообразие в плане выбора современных сканеров и беспилотных воздушных судов (БВС) для осуществления лазерной съёмки, вопрос качества подготовительных работ и получения исходных данных для составления предварительного проекта воздушного лазерного сканирования на местности требует дополнительного изучения. Получаемое по результатам воздушного лазерного сканирования облако точек является массивом больших данных, проходящих через определённые процедуры обработки, в том числе очистку от «шумов» с применением фильтрационных методов, а также процедуры сшивки отдельных облаков точек в единый массив и их взаимное ориентирование в процессе регистрации облаков точек. Реализуемый на практике алгоритм работы с облаками точек, получаемых по результатам воздушного лазерного сканирования, в обязательном порядке включает все вышеперечисленные процедуры. Однако, вопрос уменьшения объёма исходных данных без потери информативности для ускорения и оптимизации процедуры их обработки остаётся мало изученным, а разработанные

для решения данной задачи методы, например, метод ближайших соседей, метод итеративного упрощения и т.д., как правило, имеют существенные недостатки и нуждаются в усовершенствовании [4].

Оптимизация обработки данных воздушного лазерного сканирования осуществляется с применением современных методов, включающих в себя классификацию, сегментацию и кластеризацию облаков точек лазерного отражения. Автоматизация данных методов достигается использованием методов машинного обучения, в особенности, базирующихся на работе нейросетевых алгоритмов. Однако, для обеспечения качественной работы нейронных сетей необходимо формирование достаточных и достоверных обучающих выборок, или так называемых датасетов, исчисляющихся огромным количеством тестовых облаков точек, получение которых путём выполнения реального воздушного сканирования является достаточно трудо – и ресурсозатратной процедурой [2, 5-7].

Таким образом, разработка методики, которая позволяла бы формировать максимально приближенные к реальному сканированию искусственные облака точек лазерного отражения, позволяющие как составлять предварительные проекты лазерного сканирования для формирования оптимального маршрута движения БВС, так и в дальнейшем служить в качестве тестовых выборок для обучения нейросетей, а также включала бы в себя процедуру прореживания облаков точек воздушного лазерного сканирования без потери их информативности с оценкой результатов прореживания путём сравнения фактического числа результирующих точек с их минимально допустимым количеством, представляется актуальной.

Идея исследования заключается в том, что имеющиеся исходные данные для планирования воздушной лазерной съёмки, в частности для подбора маршрута движения БВС с учётом требований к высоте, направлению полёта и степени перекрытия (наложения) отдельных сканов не всегда являются достаточными, ввиду отсутствия возможности наглядной визуализации существующей ситуации и рельефа и предварительной имитации процедуры воздушного лазерного сканирования, в связи с чем предлагается создание предварительных проектов лазерного сканирования на основе виртуального (имитационного) лазерного сканирования, позволяющих создавать искусственные облака точек в среде программного обеспечения. Такие искусственные массивы данных позволят не только оптимально планировать маршрут съёмки, но и в дальнейшем могут служить в виде датасетов для обучения нейронных сетей процедурам классификации и распознавания образов в облаках точек, полученных в процессе реального сканирования, что в свою очередь ускорит и оптимизирует процесс их обработки. Кроме того, дополнительное включение в состав методики обработки данных воздушного лазерного сканирования методов вокселизации и сегментации обеспечит прореживание облаков точек, что также ускорит процесс их обработки за счёт уменьшения объёма обрабатываемых данных [8-10].

Таким образом, разработанная методика будет способствовать оптимизации следующих этапов получения и обработки облаков точек воздушного лазерного сканирования:

– подготовительного этапа за счёт планирования воздушной лазерной съёмки посредством виртуального лазерного сканирования с учётом требований к высоте, направлению полёта и степени перекрытия (наложения) отдельных сканов и использования получаемых синтетических облаков точек для обучения нейросетей процедурам классификации и распознавания образов в облаках точек;

– этапа предварительной обработки данных воздушного лазерного сканирования посредством уменьшения объёма обрабатываемых данных прореживанием на основе сочетания методов вокселизации и сегментации.

Для реализации поставленной задачи в рамках исследования применялись следующие методы: метод генерации искусственных массивов данных, методы машинного обучения, метод моделирования воздушной лазерной съёмки, метод вокселизации, метод сегментации.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. Разработана методика формирования предварительных проектов лазерного сканирования на основе синтетического облака точек, позволяющая посредством виртуального (имитационного) лазерного сканирования наглядно визуализировать процесс съемки, задавая траекторию движения БВС с виртуальным сканером, высоту его расположения и ориентировать сканер в пространстве;

2. Предложено использовать формируемые посредством виртуального (имитационного) лазерного сканирования синтетические облака точек в качестве тестовых выборок для обучения нейронных сетей процессам классификации и распознавания образов в облаках точек, полученных посредством реального воздушного лазерного сканирования;

3. Разработана методика прореживания облаков точек воздушного лазерного отражения на основе сочетания методов вокселизации и сегментации, комбинация которых позволяет за счёт сегментации выделять в конечном облаке модели местности и объектов области, обладающие примерно однородной плотностью в своих пределах и содержащие как важные характерные линии и точки модели местности и объектов, так и малоинформативные «плоские» участки, а за счёт метода вокселизации – строить отдельные воксельные решётки и прореживать через них каждую выделенную в процессе сегментации область единого облака точек.

Перспективы развития темы исследования связаны с автоматизацией маршрутизации движения БВС при виртуальном сканировании, расширением перечня встраиваемых виртуальных сканеров и углублению исследований по изучению «природы» возникновения шумов в реальных облаках точек для повышения качества моделирования «зашумлённости» искусственных облаков точек**.**

Список литературы

1. Stelling N., Richter K. Voxel based representation of full-waveform airborne laser scanner data for forestry applications // The International Archives of the Photo-grammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Prague: XXIII IS-PRS Congress, 2016. – С. 41-50.
2. Chen Z., Gao B., Devereux B. State-of-the-Art: DTM Generation Using Air-borne LIDAR Data // Sensors. – 2017. – №17. – С. 150-159.
3. Xiong B., Jiang W., Li, D., Qi, M. Voxel Grid-Based Fast Registration of Ter-restrial Point Cloud // Remote Sens. – 2021. – №13. – С. 190-203.
4. Wu B., Wan A., Yue X., Keutzer K. Squeeze Seg: Convolutional Neural Nets with Recurrent CRF for Real Time Road Object Segmentation from 3D LiDAR Point Cloud [Электронный ресурс] / B. Wu [et al.]. – 2017. – URL: https://arxiv.org (дата обращения: 12.11.2025). – arXiv:1710.07368 [cs].
5. Dosovitskiy A., Ros G., Codevilla F., Lopez A., Koltun V. CARLA: An Open Urban Driving Simulator [Электронный ресурс] / A. Dosovitskiy [et al.]. – 2017, Nov. –URL: https://arxiv.org (дата обращения: 12.11.2025). – arXiv:1711.03938 [cs].
6. Wu B., Zhou X., Zhao S., Yue X., Keutzer K. SqueezeSegV2: Improved Model Structure and Unsupervised Domain Adaptation for Road-Object Segmentation from a LiDAR Point Cloud [Электронный ресурс] / B. Wu [et al.]. – 2018, Sep. – URL: https://arxiv.org (дата обращения: 12.11.2025). – arXiv:1809.08495 [cs].
7. Griffiths D., Boehm J. Weighted Point Cloud Augmentation for Neural Network Training Data Class-Imbalance // ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2019. – Vol. XLII-2/W13. – P. 981–987. – Jun.
8. Griffiths D., Boehm J. SynthCity: A large scale synthetic point cloud [Электронный ре-сурс] / D. Griffiths, J. Boehm. – 2019, Jul. – URL: https://arxiv.org (дата обращения: 12.11.2025). – arXiv:1907.04758v1 [cs.CV].
9. Ros G., Sellart L., Materzynska J., Vazquez D., Lopez A. M. The SYNTHIA Dataset: A Large Collection of Synthetic Images for Semantic Segmentation of Urban Scenes // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 3234–3243.
10. Vallet B., Bredif M., Serna A., Marcotegui B., Paparoditis N. TerraMobilita/iQmulus urban point cloud analysis benchmark // Computers & Graphics. – 2015. – Vol. 49. – P. 126–133. – Jun.

УДК 622.1:622.83:622.271

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ РАДАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ КАРЬЕРА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАТАЛКА

Шаров П.Е.
студент III курса специалитета,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,
Магадан, Россия, Sharov.pavel2005@gmail.com

Научный руководитель: Арно В.В.
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», Магадан, Россия.

Аннотация. В тезисах рассматривается проблема контроля деформаций откосов на золоторудном месторождении «Наталка» в условиях сложного рельефа и многолетней мерзлоты. Цель работы — создание комплексной системы радарного мониторинга для предотвращения аварийных ситуаций. Проведен анализ существующих методов инструментального контроля и предложена гибридная схема, сочетающая наземный интерферометрический радар и роботизированный тахеометр. Обоснована высокая техническая и экономическая эффективность предложенного решения, обеспечивающего круглосуточный мониторинг, автоматическое прогнозирование обрушений и повышение общей безопасности горнодобывающих работ.

Ключевые слова: радарный мониторинг, интерферометрия, деформация бортов, карьер, безопасность горных работ, роботизированный тахеометр, раннее предупреждение.

Введение. Месторождение «Наталка» разрабатывается в условиях сплошной многолетней мерзлоты и сложной геологической структуры, что создает высокие риски локальных деформаций и обрушений бортов карьера. Традиционные точечные методы контроля не способны обеспечить требуемую оперативность и безопасность при экстремальных климатических условиях. Целью данного исследования является разработка и внедрение эффективной системы интерферометрического радарного мониторинга для повышения безопасности горнодобывающих работ и раннего предупреждения обрушений.

Методы. В ходе исследования проведен сравнительный анализ современных средств инструментального контроля: роботизированной тахеометрии (на примере Sokkia iX-1201) и наземного интерферометрического радарного сканирования (Ground Probe SSR-XT). На основе оценки их технических характеристик, погодной зависимости и точности измерений разработана методология комплексного мониторинга, учитывающая атмосферные условия, специфику рельефа и динамику развития микротрещин в массиве [1-3].

Результаты. Для условий месторождения «Наталка» спроектирована гибридная система мониторинга, состоящая из радара для непрерывного сканирования критических зон и тахеометра для контроля стабильных участков. Установлено, что радарная технология позволяет регистрировать субмиллиметровые смещения с точностью ±0,1 мм с охватом до 10 км² и генерировать автоматические оповещения за 6–48 часов до потенциального обрушения. Разработаны схемы размещения оборудования и организация потоков данных для интеграции в единую горно-геологическую информационную систему [2, 4-5].

Обсуждение. Сопоставление предложенного комплекса с альтернативными методами (спутниковая интерферометрия, съемка с БПЛА) подтверждает, что для задач оперативной безопасности применение гибридной схемы «радар + тахеометр» является оптимальным решением. Внедрение данной технологии позволяет не только исключить риски потери дорогостоящей техники, но и открывает перспективы для обоснованного увеличения углов откосов, что ведет к сокращению объемов вскрыши и значительному экономическому эффекту [6-8].

Заключение. Внедрение системы наземного интерферометрического радарного мониторинга доказало свою высокую техническую и экономическую эффективность в условиях Крайнего Севера. Разработанный комплекс обеспечивает надежный круглосуточный геомеханический контроль, существенно снижая производственные риски [9-10]. Перспективы развития проекта связаны с использованием алгоритмов машинного обучения для более точного прогнозирования деформаций на основе мультимодальных данных.

Список литературы

1. Шаворин В.А., Кулешов А.Е. Современные методы наземной интерферометрии при мониторинге прибортовых массивов на открытых горных работах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 1, № 1. С. 22–28.
2. Мотало, Р.В. Обзор методов и средств радиолокационного зондирования атмосферы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 358–364.
3. Баштанник, Н.А. Оценка влияния погодных условий на точностные характеристики радиолокационных станций // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 2-3 (7). – С. 140–142.
4. Тюленева, Т.А. Проблемы и перспективы цифровизации горнодобывающей промышленности (в контексте мониторинга объектов) / Т.А. Тюленева // Вестник Сургутского государственного университета. – 2020. – № 4 (30). – С. 20–29.
5. Величко, И.М. Сравнение лазерного сканирования и радарной интерферометрии для мониторинга деформаций // Науки о Земле и недропользование. – 2025. – № 3. – С. 10–15.
6. Калинин, Ю.А. Геологическое строение и условия локализации рудных тел Наталкинского месторождения : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.11 / Ю.А. Калинин. – Магадан, 2005. – 24 с.
7. Клебанов, А.Ф. Контроль устойчивости бортов карьера с помощью радарной интерферометрии / А.Ф. Клебанов // Eurasian Science Journal. – 2020. – № 4. – 12 с.
8. Новоженин, С.Ю. Мониторинг бортов карьера методом радарной интерферометрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 10. – С. 97–111.
9. Бородин, А.А. Зависимость дальности обнаружения целей радиолокационных станций от метеорологических условий / А.А. Бородин [и др.] // Молодой ученый. – 2017. – № 41 (175). – С. 18–21.
10. Рсалдин, Е.Е. Новые современные способы наблюдения за устойчивостью бортов, откосов карьера // Вестник науки. – 2021. – № 5-1 (38). – С. 23–28.
11. Трубина, Л.К. Обзор современных радиолокаторов с синтезированной апертурой с целью их применения для мониторинга угольных карьеров / Л.К. Трубина, Г.А. Мусина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 136–141.
12. Агарков, И.Б. Разработка методики мониторинга деформаций уступов и бортов карьеров с применением беспилотных летательных аппаратов // Науки о Земле и недропользование. – 2024. – № 6. – С. 33–39.

УДК 622

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ ИХ КРИВОЛИНЕЙНОСТИ В ПЛАНЕ

Эйснер Д.С.
студент, СФУ Институт цветных металлов, Красноярск, Россия, d.eysner@sibniigim.ru

Научный руководитель: Юнаков Ю.Л.
профессор, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, СФУ Институт цветных металлов, Красноярск, Россия

Аннотация. В настоящей работе рассмотрен актуальный вопрос учета криволинейности бортов карьера в плане на конкретном месторождении – АО «Горевский ГОК». Учет криволинейной формы позволяет повысить конструктивные параметры бортов, таким образом можно достичь его оптимизации и извлечь горнотехнический эффект в виде сокращения объема, вынимаемой горной массы.

Ключевые слова: устойчивые параметры, устойчивость бортов, криволинейность бортов в плане, геомеханическая модель, районирование бортов, квазиоднородный массив, прибортовой массив.

Устойчивость вогнутых в плане бортов выше устойчивости прямолинейных в плане бортов за счет дополнительного сопротивления смещению призмы обрушения, создаваемого силами бокового распора.

Степень влияния сил бокового распора зависит от конфигурации борта в плане, геологического строения прибортового массива, соотношения протяженности борта и его высоты [1].

Многообразие горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом предполагает различные формы контуров бортов карьеров. Одной из главных задач при этом является обеспечение его устойчивости. Решение этого вопроса, в основном, выполняется для двумерного случая (плоская задача), и в этой связи криволинейность бортов карьеров в плане не учитывается [2].

Для обоснования устойчивых параметров бортов карьера с учетом криволинейности в плане поставлены следующие задачи:

1. Анализ геомеханической модели, которая выступает в качестве исходных данных, для решения поставленного вопроса.

Геомеханическая модель прибортового массива месторождения рассмотрена согласно принципиальной схеме изложенной в «Управление устойчивостью …» [3], включающая в себя: структурную (геометрическую) модель, механическую модель и модель физико-механических свойств пород.

2. Определение устойчивых параметров прямолинейных бортов в плане по методике ВНИМИ [1].

Месторождение «Горевское» имеет сложное строение с точки зрения геомеханических условий, следовательно, принять прибортовой массив горных пород как «однородный» нельзя, поэтому массив будет аппроксимирован до квазиоднородной модели. Использование квазиоднородной модели массива реализовано путем применения средневзвешенных физико-механических характеристик массива, полученные на расчетных сечениях с учетом длины подсечений поверхностями скольжения пород прибортового массива.

3. Выполнение районирования бортов карьера по их криволинейности в плане, а также определение поправок в соответствии с их криволинейностью.

Согласно [1] различают следующие конфигурации борта в плане:

– круглый (вогнутый) участок;

– прямолинейный участок, примыкающий к закруглениям (зажатый);

– выпуклый участок;

– прямолинейный участок.

Форма карьера месторождения «Горевское» имеет сложную конфигурацию в плане и требует более детального рассмотрения, для этого выполнено районирование бортов карьера по их криволинейности в плане.

Каждый участок карьера рассматривался более детально, а именно в соответствии с конфигурацией борта в плане, поправки определялись по графикам и методике ВНИМИ [1, 4].

4. Определение устойчивых параметров криволинейных бортов в плане по методике ВНИМИ, где угол наклона борта определяется как сумма угла наклона борта в прямолинейной постановке и поправки за криволинейность.

По результатам районирования бортов карьера по их криволинейности в плане получены поправки к углу наклона борта. Определение устойчивых параметров криволинейных бортов в плане плоского профиля осуществлено по формуле [1]:

$$\alpha = \alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha \qquad (1)$$

5. Проведение оценки горнотехнического эффекта, осуществление которой предполагается через построение двух моделей карьеров в 3D постановке:

а) аппроксимированная модель карьера, построенная по параметрам проектного контура на 2039 г.;

б) аппроксимированная модель карьера, построенная по устойчивым параметрам криволинейных бортов в плане плоского профиля.

Заключение. Результаты оценки горнотехнического эффекта показывают, что оптимизация бортов карьера месторождения «Горевское» позволяет сократить объем горной массы на 20,5% относительно объема горной массы, запланированного к отработке проектом на конец отработки.

*Выражаю **благодарность** «Сибирскому научно-исследовательскому институту горного и маркшейдерского дела» за предоставленный исходный материал для научного исследования, а также научному руководителю Юнакову Юрию Леонидовичу за ценные советы и рекомендации.*

Список литературы

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: ПБ 05-619-03: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998: введено в действие 01.01.1999. – разраб. ВНИМИ. – СПб. – 1998. – 208 с.;

2. Панченко А.В. Маркшейдерская оценка устойчивости криволинейного в плане борта карьера: дис. канд. тех. наук: 25.00.16 / Мустафин Мурат Газизович. – Санкт-Петербург, 2014. – 119 с.;

3. Управление устойчивостью карьерных откосов: Учебник для вузов. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2008. – 683 с.;

4. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров: одобрено и рекомендовано к применению Госгортехнадзором СССР. – Ленинград: Изд-во ВНИМИ, 1972. – 168 с.

УДК 528.44

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ТРЕХМЕРНОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Яковлева Н.Д.
старший преподаватель кафедры «Инженерная геодезия»,
Петербургский государственный университет
путей сообщения императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия, natashayakovleva24@gmail.com

Научный руководитель: Брынь М.Я.
профессор, заведующий кафедрой «Инженерная геодезия»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Усложнение пространственной структуры урбанизированных территорий приводит к росту числа конфликтов прав, обусловленных пересечением объектов недвижимости в трехмерном пространстве. Традиционные двумерные кадастровые системы не обеспечивают их выявления. Целью работы является разработка прототипа трехмерной кадастровой системы с формализованной геометрической моделью объектов и алгоритмом пространственного анализа. Предложен полиэдральный подход к описанию объектов недвижимости, реализован многоуровневый алгоритм выявления пересечений и выполнена оценка точности вычисления объемов. Результаты подтверждают повышение достоверности кадастровой информации и эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: трехмерный кадастр, пространственные конфликты, полиэдральная модель, инженерная геодезия, объемные пересечения, точность измерений.

Введение. Современные урбанизированные территории характеризуются высокой плотностью застройки, развитием подземной инфраструктуры и формированием сложных многоуровневых пространственных систем. В этих условиях объект недвижимости фактически представляет собой объем в трехмерном пространстве, тогда как его кадастровое описание остается двумерным. Данное несоответствие приводит к систематическим ошибкам учета и невозможности выявления пространственных пересечений объектов.

В последние годы активно развивается концепция трехмерного кадастра, ориентированная на интеграцию геометрии и прав в единой модели [1, 2]. Современные исследования показывают необходимость перехода к объемному представлению объектов и использования стандартизированных моделей данных, таких как LADM [2, 3]. При этом значительное внимание уделяется вопросам интеграции 3D-кадастра с BIM и ГИС-технологиями [4, 5].

Несмотря на активное развитие концепции трехмерного кадастра, большинство существующих решений носит описательный характер и не содержит строгой математической формализации геометрии объектов и процедур их анализа. Это ограничивает возможность практического внедрения таких систем.

Целью исследования является разработка прототипа трехмерной кадастровой системы, обеспечивающей формализованное представление объектов недвижимости, эффективное выявление их пересечений и оценку точности получаемых характеристик.

Методы. Методологическая основа исследования базируется на интеграции методов инженерной геодезии, вычислительной геометрии и геоинформационного моделирования пространственных данных. Предложенный подход к формированию трехмерной кадастровой системы включает несколько взаимосвязанных этапов: получение геодезических измерений, построение трехмерных геометрических моделей объектов недвижимости, формирование пространственной базы данных и проведение алгоритмического анализа пространственных пересечений.

В рамках исследования была разработана структурная схема функционирования трехмерной кадастровой системы, включающая следующие основные блоки:

1. Получение исходных геодезических данных.
2. Формирование трехмерных моделей объектов недвижимости.
3. Создание пространственной базы данных кадастровых объектов.
4. Алгоритмический анализ пространственных пересечений.
5. Выявление пространственных конфликтов между объектами недвижимости.
6. Визуализация результатов пространственного анализа.

В предложенной модели каждый кадастровый объект рассматривается как замкнутая область трехмерного евклидова пространства.

Пусть трехмерное пространство обозначается как R^3.

Кадастровый объект определяется как пространственное множество

$$G \subset R^3, \tag{1}$$

где G – геометрический объем объекта недвижимости.

Каждый кадастровый объект в системе описывается парой:

$$C_i = (G_i, R_i), \tag{2}$$

где C_i – кадастровый объект, G_i – геометрическая модель объекта, R_i – совокупность прав на данный объект недвижимости.

Геометрическая модель объекта представляется в виде полиэдра:

$$G = (V, E, F), \tag{3}$$

где V – множество вершин полиэдра, E – множество ребер, F – множество граней.

Каждая вершина полиэдра имеет координаты:

$$v_i = (x_i, y_i, z_i), \tag{4}$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i-ой вершины.

Для корректной геометрической модели должно выполняться условие топологической согласованности, выражаемое формулой Эйлера:

$$|G| - |E| + |F| = 2. \tag{5}$$

где $|G|$ – количество вершин полиэдра, $|E|$ – количество ребер; $|F|$ – количество граней.

Это условие обеспечивает замкнутость поверхности полиэдра и отсутствие топологических ошибок в геометрической модели.

Формирование трехмерной кадастровой модели требует получения координат характерных точек объектов недвижимости. В рамках исследования геодезическое обеспечение основывалось на использовании комплекса современных измерительных технологий, включающих спутниковые геодезические наблюдения, тахеометрическую съемку, наземное лазерное сканирование.

Каждая характерная точка объекта недвижимости описывается в пространстве вектором координат:

$$P_i = (x_i, y_i, z_i), \tag{6}$$

где x_i – координата i-ой точки по оси X в принятой системе координат, y_i – координата i-ой точки по оси Y, z_i – высотная координата i-ой точки.

Полученные координаты проходят процедуру уравнивания геодезической сети, в результате чего определяется среднеквадратическая ошибка положения точки:

$$m_{xyz} = \sqrt{m_x^{\,2} + m_y^{\,2} + m_z^{\,2}}\,. \tag{7}$$

Для выявления пересечений объектов реализован многоступенчатый алгоритм:

1. Фильтрация по ограничивающим объемам Axis-Aligned Bounding Box (AABB):

$$\left[x_{\min}, x_{\max}\right] \cap \left[x'_{\min}, x'_{\max}\right] \neq \varnothing\,. \tag{8}$$

2. Проверка по теореме разделяющей оси (SAT) для выпуклых тел.
3. Точное вычисление геометрии пересечения с последующей тетраэдрализацией:

$$V = \frac{1}{6}\left|a_1\left(b_2c_3 - b_3c_2\right) - b_1\left(a_2c_3 - a_3c_2\right) + c_1(a_2b_3 - a_3b_2)\right|. \tag{9}$$

Выбор алгоритмического подхода обусловлен результатами современных исследований в области 3D-кадастра и вычислительной геометрии [6, 7, 8]. Для обеспечения интероперабельности модель ориентирована на стандарт LADM [2, 4].

Оценка точности объема пересечения выполняется методом дифференцирования

$$m_V = \frac{m}{6}\sqrt{2(|b\times c|^2 + |c\times a|^2 + |a\times b|^2)}. \tag{10}$$

Результаты. Разработан прототип трехмерной кадастровой системы, реализующий предложенную модель и алгоритмы. Программная реализация выполнена на базе PostgreSQL/PostGIS с использованием пространственных индексов.

Апробация проведена на урбанизированной территории, включающей 356 объектов недвижимости. Установлено, что применение фильтрации по ограничивающим объемам позволяет сократить число проверяемых пар объектов более чем на 80%, что обеспечивает существенное повышение вычислительной эффективности и соответствует результатам аналогичных исследований [7, 8].

В ходе анализа выявлены пространственные пересечения объектов различного типа, включая взаимодействие подземных и наземных сооружений. Количественная оценка показала, что при точности геодезических измерений $m_{xyz} = 0,05$ м достигается надежное определение объемов пересечений. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями в области 3D-кадастра, демонстрирующими необходимость учета высотной составляющей [1, 5].

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что переход к трехмерному кадастру является необходимым этапом развития систем учета недвижимости. В отличие от традиционного подхода, трехмерное моделирование позволяет выявлять пространственные конфликты, не фиксируемые в 2D-системах [1, 7].

Научная новизна исследования заключается в формализации кадастрового объекта как полиэдральной структуры с обеспечением топологической корректности и интеграцией методов вычислительной геометрии в задачи кадастрового учета. В отличие от существующих подходов, предложенная модель позволяет перейти от плоского представления границ к объемному описанию прав.

Ключевым результатом является доказательство того, что выявление пространственных конфликтов требует учета не только геометрии объектов, но и точности исходных геодезических данных. Показано, что ошибка объема пересечения прямо зависит от погрешностей координат, что имеет принципиальное значение при принятии кадастровых решений.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения разработанного подхода при создании цифровых кадастровых систем, интегрированных с международными стандартами [2, 4, 9].

Вместе с тем внедрение трехмерного кадастра требует решения ряда проблем. К ним относятся отсутствие нормативной базы для регистрации объемных объектов недвижимости, необходимость стандартизации моделей данных (в частности, в рамках ISO 19152 LADM), а также учет временной изменчивости объектов. Эти вопросы определяют направления дальнейших исследований.

Заключение. Разработан прототип трехмерной кадастровой системы, включающий математическую модель объектов, алгоритм выявления пересечений и метод оценки точности. Показано, что переход к трехмерному представлению обеспечивает выявление ранее не фиксируемых пространственных конфликтов.

Полученные результаты подтверждают научную и практическую значимость предложенного подхода и создают основу для дальнейшего развития систем трехмерного кадастра.

Список литературы

1. Cemellini B., van Oosterom P., Thompson R., de Vries M. Design, development and usability testing of an LADM compliant 3D cadastral prototype system // Land Use Policy. 2020. Vol. 98. P. 104418. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104418.
2. Kalogianni E., Dimopoulou E., Thompson R., Lemmen C., Ying S., van Oosterom P. Development of 3D spatial profiles to support the full lifecycle of 3D objects // Land Use Policy. 2020. Vol. 98. P. 104177. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104177.
3. Oldfield J., van Oosterom P., Beetz J., Krijnen T.F. Working with open BIM standards to source legal spaces for a 3D cadastre // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. Vol. 6. No. 11. P. 351. DOI: 10.3390/ijgi6110351.
4. Kara A., Lemmen C., van Oosterom P., Kalogianni E., Alattas A., Indrajit A. Design of the new structure and capabilities of LADM edition II including 3D aspects // Land Use Policy. 2024. Vol. 137. P. 107003. DOI: 10.1016/j.landusepol.2023.107003.
5. Chen M., van Oosterom P., Kalogianni E., Dijkstra P., Lemmen C. Bridging Sustainable Development Goals and Land Administration: The role of the ISO 19152 LADM // Land. 2024. Vol. 13. No. 4. P. 491. DOI: 10.3390/land13040491.
6. Ying S., Guo R., Li L., van Oosterom P. A unified 3D spatial data model based on LADM and CityGML for 3D cadastre // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10. No. 4. P. 213. DOI: 10.3390/ijgi10040213.
7. Atazadeh B., Rajabifard A., Kalantari M. Modelling three-dimensional cadastral boundaries in a BIM environment: a case study using volumetric format plans in Queensland, Australia // Land Use Policy. – 2024. – Vol. 134. – Article 106956. – DOI: 10.1016/j.landusepol.2023.106956.
8. Shojaei D., Kalantari M., Rajabifard A., Williamson I. Design and development of a 3D digital cadastre visualization prototype // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9. No. 9. P. 517. DOI: 10.3390/ijgi9090517.
9. Bryant B., Agha Karimi A., Atazadeh B., Rajabifard A. Modelling 3-Dimensional cadastral boundaries in a BIM environment: a case study using volumetric format plans in Queensland, Australia // International Journal of Digital Earth. – 2025. – Vol. 18, No. 1. – DOI: 10.1080/17538947.2025.2518578.

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТНОЙ ОСНОВЫ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНОЙ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЫ НА ЛОКАЛЬНУЮ ТЕРРИТОРИЮ

Яковлев А.И.*, Цвигайло И.Д., Морозов Д.В.
Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
Санкт-Петербург, России
** Vanya.tsv@yandex.ru*

Научный руководитель: Яковлев А.И.
к.т.н., доцент,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлена методика повышения точности координатной основы электронных карт для локальных территорий путем интеграции спутниковых геодезических измерений и космических снимков высокого разрешения. На основе анализа методов (наземных и спутниковых) и экспериментальных данных разработана методология, включающая построение опорной сети, полевое определение координат характерных точек и их использование для фотограмметрической трансформации снимков. Эксперимент подтвердил эффективность подхода, позволяющего создать единый высокоточный геодезический каркас для решения задач широкого спектра.

Ключевые слова: Координатная основа, локальная территория, геодезическая сеть, средняя квадратическая ошибка (СКО), привязка снимков.

В эпоху цифровизации всех сфер деятельности достоверный геопространственный фундамент становится критически важным условием. Рост потребностей в точных электронных картах для муниципального управления, кадастра, навигации и ГИС-моделирования сталкивается с серьёзным технологическим противоречием. С одной стороны, общедоступные картографические сервисы и данные глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в их базовом виде часто не обеспечивают необходимой метрической точности, особенно в условиях плотной городской застройки. С другой стороны, проектирование, строительство и разрешение земельных споров требуют высочайшей координатной определённости.

Актуальность темы обусловлена тем, что неточная основа, заложенная на начальном этапе создания карты, становится источником системных ошибок во всех производных решениях. Электронные карты сегодня – это не просто цифровые копии бумажных оригиналов, а динамичные геоинформационные системы (ГИС). Ключевым элементом, обеспечивающим их геометрическую достоверность, является координатная основа.

Целью работы является разработка методики повышения точности координатной основы электронных карт для локальных территорий на основе построения специализированной локальной геодезической сети и её интеграции с данными глобальных навигационных систем.

Исходя из анализа способов создания координатной основы, ядром современного подхода к повышению точности является применение высокоточных спутниковых технологий, а именно использование геопространственной информации общего доступа и сетей спутниковых референц-станций (СРС), которые обеспечивают сантиметровую точность при получении координат точек спутниковыми методами.

В качестве дополнительного источника информации предлагается использовать высококачественные космические снимки. В камеральных условиях на космическом снимке (из ПО SASPlanet) были выбраны хорошо различимые точки: углы дорог, перекрестки. Затем с помощью ГНСС-приёмника SOUTH Galaxy G1 в режиме RTK

(с опорой на сеть CORS) были определены полевые координаты этих точек (часть которых (20–30%) не используется при трансформации, а резервируется для контроля).

Фрагмент снимка с нанесёнными точками представлен на рисунке 1.



Рис. 1 Фрагмент снимка

На основе проведённого анализа и экспериментальных данных разработана поэтапная методика повышения точности координатной основы. Осуществление контроля показало, что точность получаемых координат в рамках исследуемой территории возросла на 15-20%.

Данная методика может облегчить ряд выполняемых задач широкого спектра. Научно-технический прогресс современного общества требует новых подходов к решению проблем, которые сохраняют свою актуальность на протяжении долгого времени.

Предлагаемый методика, основанная на комплексном использовании космических снимков и данных спутниковой геодезической аппаратуры, доказала свою практическую эффективность. Ключевой идеей является не суммирование данных, а целенаправленная нейтрализация систематических погрешностей, присущих каждому из источников. Интеграция фотограмметрической обработки изображений с высокоточными полевыми геодезическими измерениями позволяет преодолеть ограничения использования этих технологий по отдельности.

Современные космические снимки обеспечивают высокое разрешение и внутреннюю метрическую достоверность. Однако эта точность может быть реализована в общепринятых системах координат только при их жёсткой привязке к земной поверхности.

Список литературы

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: ЭкоТрендз, 2000 – 270 с
2. Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» : Федер. закон от 30 дек. 2015 №431-ФЗ (ред. от 30.12.2021)- Текст: электронный/ URL:https://base.garant.ru (Дата обращения : 22.04.2026).
3. Карпик А.П., Дюбанов А.В., Твердовский О.В. «Обзор состояния использования и развития сетей референцных-станций на основе инфраструктуры ГЛОНАСС в России» // Геодезия и картография. – 2022. – № 5. – С. 22–30.
4. Загребин Г.И., Крылов С.А., Котова О.И. Создание интерактивных web-карт на территорию города // КиберЛенинка. 2022. URL: cyberleninka.ru. (Дата обращения : 22.04.2026).
5. Руководство пользователя по работе с сетями IGS // Technical report. 2022 – URL: https://ligs.org (Дата обращения: 20.03.2026).

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БВС

Ярцева В.Ф.[1], Казанцева В.В.[2]
[1] старший преподаватель, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, v.yartseva@ktu.edu.kz
[2] преподаватель, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан.

Научный руководитель: Ожигин Д.С.
PhD, ассоциированный профессор, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан.

Аннотация. В работе рассматривается применение беспилотных воздушных суден различных типов для построения цифровых моделей карьера. Актуальность исследования связана с необходимостью повышения точности пространственного описания карьерных откосов в условиях сложного геологического строения. Предложена методика двухуровневой аэрофотосъёмки, включающая получение общей модели карьера и высокодетализированной модели прибортовой зоны. Полученные цифровые модели позволяют анализировать геометрию уступов и выявлять структурные нарушения, что повышает эффективность геомеханических исследований и мониторинга устойчивости откосов.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, аэрофотосъёмка, фотограмметрия, техногенный объект, цифровая модель карьера, прибортовый массив, GNSS-измерения, трещиноватость пород, устойчивость откосов.

Введение. Обеспечение устойчивости откосов карьеров со сложным геологическим строением является одной из ключевых задач современной горной геомеханики. Развитие деформационных процессов в прибортовых массивах требует применения современных методов пространственного анализа и мониторинга состояния откосов [1–3]. В последние годы для решения подобных задач активно используются методы дистанционного зондирования, включая аэрофотосъёмку с применением БВС (беспилотных воздушных суден), позволяющих получать высокодетализированные цифровые модели техногенных объектов [4–6]. Целью исследования является разработка методического подхода к построению цифровых моделей карьера и прибортового массива на основе комплексного применения БВС различных типов.

Методы. Предложенный подход основан на реализации двухуровневой аэрофотосъёмки с использованием БВС самолётного и мультикоптерного типов. Съёмка самолётным БВС обеспечивает получение пространственных данных для построения общей цифровой модели карьера, предназначенной для анализа геометрии уступов и бортов. Детализированная съёмка прибортового массива мультикоптером выполняется для формирования модели откосов с повышенной пространственной детализацией. Пространственная согласованность полученных данных обеспечивается использованием GNSS-измерений и фотограмметрической обработкой аэрофотоснимков [7, 8].

Результаты. В результате выполненных работ были построены цифровые модели карьера, характеризующиеся различным уровнем пространственной детализации. Общая модель карьера позволила реконструировать геометрию уступов и бортов и использовать её в качестве геометрической основы для проведения геомеханических расчётов устойчивости откосов [9]. Детализированная модель прибортового массива обеспечила визуализацию структурных нарушений и возможность анализа геометрических параметров трещиноватости горных пород. Полученные модели позволяют выявлять потенциально опасные участки и уточнять инженерно-геологические характеристики массива.

Обсуждение. Результаты исследования подтверждают эффективность применения беспилотных летательных аппаратов для решения задач инженерно-геологического и геомеханического анализа карьерных откосов. Использование различных типов БВС позволяет сочетать широкий пространственный охват территории карьера с высокой степенью детализации поверхности откосов. Интеграция полученных данных в единой координатной системе формирует основу для последующего анализа состояния горного массива и прогнозирования развития деформационных процессов [10].

Заключение. Предложенный методический подход к двухуровневой аэрофотосъёмке позволяет получать информативные цифровые модели карьера для анализа геометрии откосов и структурных особенностей массива. Применение беспилотных летательных аппаратов различных типов обеспечивает повышение точности пространственного описания горного массива и расширяет возможности инженерно-геологических и геомеханических исследований. Разработанная методика может быть использована при мониторинге устойчивости откосов и планировании горных работ на карьерах со сложным геологическим строением.

Благодарности: *Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН №AP22788508).*

Список литературы

1. Saadoun A., Yilmaz I., Hafsaoui A., Hadji R., Fredj M., Boukarm R., Nakache R. Slope stability study in quarries by different approaches: Case Chouf Amar Quarry, Algeria // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 960. DOI: 10.1088/1757-899X/960/4/042026.
2. Hou W.H., Xiong F., Zhang Q.H. Simulations of deformation failure process and refinement of reinforcement scheme in the Dabenliu quarry slope using discontinuous deformation analysis // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 19. DOI: 10.3390/app131911010.
3. Teng L., He Y., Wang Y., Sun Ch., Yan J. Numerical stability assessment of a mining slope using the synthetic rock mass modeling approach and strength reduction technique // Frontiers in Earth Science. 2024. Vol. 12. DOI: 10.3389/feart.2024.1438277.
4. Park S., Choi Y. Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review // Minerals. 2020. Vol. 10, No. 8. DOI: 10.3390/min10080663.
5. Török Á., Bögöly G., Somogyi Á., Lovas T. Application of UAV in topographic modelling and structural geological mapping of quarries and their surroundings—Delineation of fault-bordered raw material reserves // Sensors. 2020. Vol. 20, No. 2. DOI: 10.3390/s20020489.
6. Gallo I.G., Martínez-Corbella M., Sarro R., Iovine G., López-Vinielles J., Hérnandez M., Robustelli G., Mateos R.M., García-Davalillo J.C. An integration of UAV-based photogrammetry and 3D modelling for rockfall hazard assessment // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, No. 17. DOI: 10.3390/rs13173450.
7. Žabota B., Berger F., Kobal M. The potential of UAV-acquired photogrammetric and LiDAR point clouds for obtaining rock dimensions as input parameters for modeling rockfall runout zones // Drones. 2023. Vol. 7, No. 2. DOI: 10.3390/drones7020104.
8. Nguyen H.V., Pham K.C., Nguyen D.B., Nguyen L.Q. Application of the GNSS method in the monitoring of mine surface displacement: A systemic review // Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 2024. No. 2(1). P. 247–255. DOI: 10.29227/IM-2024-01-115.
9. Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Oralbay A.O. Kentobe pitwall stability estimation using a digital geological-geomechanical model // Journal of Mining Science. 2022. Vol. 58, No. 6. P. 896–902. DOI: 10.1134/S1062739122060035.
10. Kovrizhnykh A.M., Baryshnikov V.D., Khmelinin A.P. Determining time-to-failure in rocks using long-term strength criterion // Journal of Mining Science. 2023. Vol. 59, No. 6. P. 911–918. DOI: 10.1134/S1062739123060042.

А 437 **Актуальные проблемы недропользования:** Тезисы докладов. В 2 томах. Том 1 / Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II. СПб, 2026. 348 с. (XXI Всероссийская конференция-конкурс проектов студентов и аспирантов, 06–10 апреля 2026 г.)

ISBN 978-5-00253-035-9
ISBN 978-5-00253-036-6 (Том 1)

УДК 00 (622+55+665.6/7+620.9+621+669)
ББК 2 (65.304.11+33.36+31+34.3)

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС ПРОЕКТОВ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

06–10 апреля 2026 г.

Тезисы докладов

Том 1

Статьи публикуются в авторской редакции

Сборник включен в базу данных РИНЦ
Научной электронной библиотеки elibrary.ru

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.02

Подписано к печати 28.08.2026. Формат 60×84/8. Уч.-изд. л. 36.
Тираж 50 экз. Заказ 438.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2