

На правах рукописи



Галимьянов Алексей Алмазович

**ОБОСНОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КРИОЛИТОЗОНЫ**

Специальность: 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Хабаровск - 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Хабаровском Федеральном исследовательском центре Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)

Научный консультант:

Шевкун Евгений Борисович

Доктор технических наук, профессор, Институт горного дела ДВО РАН – обособленное подразделение ФГБУН Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник, Хабаровск

Официальные оппоненты:

Франтов Александр Евгеньевич

Доктор технических наук, ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, ведущий научный сотрудник, г. Москва

Сысоев Андрей Александрович

Доктор технических наук, профессор, АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», научный консультант лаборатории безопасности взрывных работ, г. Кемерово

Заровняев Борис Николаевич

Доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

Ведущая организация:

ФГБУН Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 25 июня 2026 г. в 10⁰⁰ на заседании диссертационного совета 24.1.478.01 созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, по адресу: 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, конференц-зал. Тел./факс: (4212) 32-79-27, e-mail: adm@khfrc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, по адресу: 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51 и на сайте www.khfrc.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



С.И. Корнеева

Актуальность работы. Преобладающее количество месторождений осваивается открытым способом при помощи буровзрывных работ, где одним из путей существенного улучшения технико-экономических показателей являются технологии, связанные с увеличением единичного объема массового взрыва до определенного экономически выгодного значения. Однако тенденция к тому, чтобы за один прием взорвать как можно больший объем породы, также имеет свои негативные стороны.

После бурения взрывных скважин в условиях разработки угольных разрезов в зоне мерзлых пород происходит частичное разрушение стенок скважин и осыпание породы на забой скважины, что приводит к неравномерной глубине и объему зарядной полости более 90% скважин взрывного блока и требует повторного бурения в зависимости от высоты осыпавшегося слоя породы. Данные обстоятельства обуславливают взрывание массива горных пород с локальным нарушением проектных параметров сетки и конструкции скважинных зарядов, что приводит к увеличению безопасных расстояний по негативным поражающим факторам, включая разлет кусков взорванной горной массы и сейсмическое воздействие. При этом неравномерность распределения объема зарядных полостей скважинных зарядов по взрывному блоку способствует нарушениям сплошности колонки заряда из эмульсионного взрывчатого вещества при его механизированном формировании из-за отсутствия необходимой информации о фактическом диаметре заряда, для правильной регулировки скорости подъема зарядного рукава, что приводит к постепенному снижению качества эмульсионного ВВ при увеличении времени его нахождения в скважине.

Указанные обстоятельства предопределили постановку и решение проблемы обоснования инновационных технологий БВР, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений Дальнего Востока в условиях криолитозоны за счет стабилизации объема зарядной полости взрывных скважин при увеличении единичного объема взрывного блока, которая является актуальной и имеет важное хозяйственное значение.

Работа основана на результатах исследований, выполненных в 2010–2025 гг. при непосредственном участии и под руководством автора, в том числе по плановым темам НИР Института горного дела ДВО РАН: «Развитие научных основ эффективных и экологически безопасных инновационных технологий освоения месторождений полезных ископаемых Дальнего Востока России» (ГР № АААА-А18-118020590026-4), «Развитие научных основ эффективных и экологически безопасных инновационных геотехнологий освоения полезных ископаемых Дальнего Востока России» (ГР № 122042900005-5).

Объект исследования. Сложноструктурные угольные месторождения Дальнего Востока, разрабатываемые в зоне мерзлых горных пород.

Предмет исследования. Процесс подготовки горных пород к выемке при разработке угольных месторождений криолитозоны буровзрывным способом при увеличении единичного объема взрывного блока.

Цель исследования заключается в разработке и обосновании параметров инновационных технологий буровзрывных работ для освоения угольных месторождений криолитозоны.

Идея работы заключается в использовании принципа сохранения заданного объема зарядной полости взрывных скважин для повышения безопасности и эффективности взрывной подготовки к выемке вмещающих горных пород при разработке угольных месторождений криолитозоны.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ состояния научной базы и классифицировать причины обрушения (осыпания) стенок скважин, обусловленных их технологическим назначением, с последующим определением закономерностей между изменением объема зарядной полости скважин и параметрами БВР, в том числе единичным взрываемым объемом взорванной горной массы и качеством формирования заряда из эмульсионного ВВ.

2. Выполнить комплекс натурных исследований, направленных на выработку научно-технических основ и технологий обеспечения устойчивости параметров буровзрывных работ, для корректного расчета параметров БВР, включая безопасные расстояния по поражающим факторам взрыва.

3. Разработать и обосновать технологии эффективной адаптации параметров БВР к реальным условиям прерывистого распространения мерзлоты в зоне мерзлых горных пород, с наличием межмерзлотных вод и слоя многолетнемерзлых галечниковых пород, обеспечивающие повышение эффективности процесса подготовки горных пород к выемке, включая соблюдение норм безопасности по сейсмике и разлету осколков взорванной горной массы.

4. Выявить факторы и разработать методы, направленные на повышение уровня безопасности и эффективности в части снижения рисков сейсмического воздействия взрыва и разлета кусков взорванной горной массы относительно полученных результатов по стабилизации проектных параметров БВР в процессе настоящего исследования.

5. Выполнить оценку технико-экономической эффективности разработанных технических и технологических решений.

Методы исследования. Общей теоретической и методологической основой диссертации является дедуктивный подход, включающий критический анализ и обобщение фундаментальных исследований в области проблем бурения скважин различного функционального назначения с сопоставлением полученных фактов с производственной и проектной практикой БВР при открытой разработке в условиях криолитозоны. В качестве основных методов исследования использовались: комплекс натурных измерений и экспериментальных исследований параметров БВР на горных предприятиях Дальневосточного региона; системный анализ; лабораторные эксперименты; математическое моделирование; технико-экономический анализ.

Основные научные положения:

1. Отклонение фактического значения объема зарядных полостей взрывных скважин от проектного, обусловленное деформацией стенок

внутрискважинного пространства в условиях прерывистого распространения многолетней мерзлоты приводит к негативным последствиям, заключающимся в: увеличении зоны разлета осколков взорванной горной массы на 71% и усилении сейсмического эффекта взрыва на 6%; повышении удельного расхода ВВ на 19,3% и снижении выхода взорванной горной массы с 1 м бурения на 9,4%.

2. Стабилизация базовых проектных параметров БВР (сетки скважин и конструкции заряда) в зоне мерзлых полускальных пород достигается поэтапным заряданием рассредоточенного полым цилиндром скважинного заряда из эмульсионных ВВ: патронированных в нижней и наливных в верхних частях заряда. Формирование нижнего заряда и устройства рассредоточения осуществляется непосредственно вслед за бурением, а верхнего заряда – в специальный полимерный рукав проектного диаметра.

3. Устойчивость проектных параметров БВР при взрывной подготовке к выемке массива мерзлых гравийно-галечниковых пород обеспечивается применением рассредоточенного камуфлетно-скважинного взрывания, реализуемого тепловым дезинтеграционным воздействием продуктов детонации заряда камуфлета, взрываемого с минимальной 24-часовой задержкой относительно инициирования верхнего заряда, с учетом временного интервала, достаточного для эффективного растепления изолированных от верхней, нижней и средней частей уступа.

4. Рост показателя относительной сейсмобезопасности на 7–50% относительно объектов, расположенных на расстоянии 500–1500 м от границ взрывного блока на угольном разрезе в криолитозоне, обеспечивается при условии увеличения суммарного межскважинного интервала замедления на 60–63% с учетом фактора отклонения времени срабатывания детонаторов поверхностной и скважинной сетей при использовании неэлектрических систем инициирования зарядов.

5. Снижение в 1,5 раза и более значения безопасного расстояния по разлету осколков взорванной горной массы для механизмов относительно значений, рассчитанных по нормативной формуле, достигается введением в данную формулу дополнительного понижающего коэффициента, учитывающего расстояние от заряда ВВ до устья скважины и особенности горно-геологических условий зоны мерзлых пород.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена представительным объемом экспериментальных данных и надежностью натурных измерений с использованием современных измерительных приборов, соответствием фундаментальным положениям теории взрывной подготовки массива горных пород к выемке, доверительной сходимостью результатов экспериментальных исследований с практическими данными производственной деятельности угольных разрезов Дальневосточного региона в зоне мерзлых пород.

Научная новизна:

1. Установлена взаимосвязь между отклонениями параметров БВР в пределах исследуемого объекта и вариантностью объема зарядной полости взрывных скважин.

2. Выявлены закономерности процесса обрушения стенок взрывных скважин различной высоты (11 и 17 м), заключающиеся в установленной его зависимости от высоты столба и времени обрушения стенок скважин и от долей скважин, подверженных данному процессу.

3. Предложена методика оптимизации процесса обуривания 10-метрового уступа, базирующаяся на установленной корреляционной зависимости между объемом зарядной полости скважин и уровнем воды в них, а также на учете долей скважин с зарядной полостью определенного объема и величиной данного объема.

4. Обоснованы принципы применения максимального фактического значения диаметра заряда для расчета безопасных расстояний от воздействия взрыва с учетом максимально возможного значения объема зарядной полости.

5. Установлена взаимосвязь между колебаниями объема зарядных полостей и ухудшением детонации зарядов из наливных эмульсионных взрывчатых веществ, которая обуславливает зависимость между увеличением выхода негабарита от 2 до 7% и временем нахождения данных ВВ в скважине.

6. Установлена закономерность, заключающаяся в обратной зависимости между увеличением глубины промерзания взорванных гравийно-галечниковых пород при традиционном взрывании до 3,32 м и снижением производительности экскаватора до 57% от нормативной.

7. Научно обоснован камуфлетно-скважинный метод для взрывной подготовки к выемке гравийно-галечниковых пород, позволяющий повысить производительность экскаватора в 1,3 раза при снижении глубины промерзания пород в 1,9 раза.

8. Разработан и внедрен метод параметрической устойчивости скважинных зарядов в условиях зоны мерзлых полускальных пород и межмерзлотных вод, дающий возможность стабилизировать ключевые проектные параметры БВР (сетка скважин, высота и диаметр заряда) для повышения безопасности и эффективности взрывной отбойки.

9. Разработана технология взрывания под отдельным укрытием при ведении БВР по мерзлым гравийно-галечниковым породам с применением камуфлетно-скважинного метода, позволяющая увеличить единичный объем взрывного блока за счет удлинения общего времени замедления взрыва более чем на 200 мс и сократить безопасное расстояние по разлету кусков взорванной горной массы в 4 и более раз.

Практическая значимость результатов исследования состоит в создании научно обоснованных и экспериментально апробированных методов повышения эффективности и безопасности буровзрывных работ на угольных разрезах Дальневосточного региона в условиях мерзлых осадочных пород, основанных на повышении эффективности использования взрывных скважин.

Реализация результатов работы. Основные полученные научные результаты и разработанные на их основе рекомендации использованы на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный» АО «Ургалуголь» (дочернее предприятие АО «СУЭК», Хабаровский край). Отдельные результаты исследования апробированы и внедрены на предприятиях: ООО «К-Менеджмент» («Эльгинский угольный разрез», Якутия); ООО «Солнцевский угольный разрез» (Сахалинская область, дочернее предприятие ООО «Восточная горнорудная компания»); карьеры ОПИ Хабаровского края («Краснореченский», «Некрасовский», «Понийский», ООО «Таежное»); ООО «Амур Минералс» (Хабаровский край); ООО «Маломырский рудник» (Амурская область); АО «Горевский ГОК» (Красноярский край); ООО «Покровский рудник» (Амурская область); филиал «Разрез Коксовый» АО «Распадская-Коксовая» (г. Междуреченск, Кемеровская область).

Личный вклад автора состоит:

- в выявлении взаимосвязей между отклонениями проектных параметров БВР (диаметра заряда, сетки и глубины взрывных скважин) от фактических в криолитозоне и снижением эффективности и безопасности процесса взрывной отбойки;

- в определении возможных причин указанных взаимосвязей путем систематизации и критического анализа собранной информации с последующей верификацией результатов посредством натуральных измерений;

- в разработке методов по стабилизации проектных параметров БВР в условиях зоны мерзлых полускальных и гравийно-галечниковых пород для обеспечения безопасности и эффективности буровзрывных работ;

- в разработке методов снижения безопасных расстояний по разлету кусков взорванной горной массы и сейсмическому воздействию по факту апробации указанных выше методов адаптации проектных параметров БВР к условиям объекта исследования;

- в обосновании и реализации технических и технологических решений по стабилизации проектных параметров БВР на угольных разрезах Дальневосточного региона в пределах объекта исследования.

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы и отдельные ее положения представлялись на научно-технических конференциях, семинарах: «Неделя горняка» (г. Москва, 2014–2016, 2025 гг.), II Международной научно-практической конференции «Открытые горные работы в XXI веке» (г. Красноярск, 2015 г.), научных семинарах кафедры «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле» Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск, 2013–2016 гг.), ООО «НИИОГР» (г. Челябинск, 2016 г., 2023–2025 гг.), научно-практическом форуме «Горная школа - 2016» (Кемеровская обл., Новокузнецкий район, с. Костенково), X-й ежегодной международной научно-практической конференции, IX Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (г. Хабаровск), научных семинарах ИГД ДВО РАН (г. Хабаровск, 2024–2025 гг.), международной научно-практической конференции

«Развитие производственных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего» (г. Кемерово, 2023 г.), научно-практических семинарах АО «НЦ ВостНИИ» (г. Кемерово, 2023–2025 гг.), XXIV Международной научно-практической конференции по горному и взрывному делу (г. Кемерово, 2024 г.), научном семинаре ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург, 2024 г.), научном семинаре ИПКОН РАН (г. Москва, 2025 г.), а также на технических совещаниях: АО «Ургалуголь» (р.п. Чегдомын, 2018–2021 гг.), НАО «Нипигормаш» (г. Екатеринбург, 2022 г.), ООО «Маломырский рудник» (2022–2024 гг.), ООО «Солнцевский угольный разрез» (р.п. Шахтерск, 2021–2025 гг.), ОАО «Амурвзрывпром» (г. Хабаровск, 2021–2022 гг.), ООО «БСК-Взрывпром» (г. Хабаровск, 2022–2025 гг.), ООО «Нитро-Технологии Приморье» (п. Липовцы, Приморский край, 2015, 2023 гг.), ООО «Сибвзрывкомплект» (г. Новосибирск, 2023–2024 гг.), ООО «Покровский рудник» (карьер «Пионер», 2024 г.), ООО «К-Менеджмент» («Эльгинский угольный разрез», 2025 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 65 печатных работ, включая: 2 монографии; 43 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования (из которых 37 – в изданиях, включенных в международные базы научного цитирования SCOPUS и Web of Science); 20 патентов (13 на изобретения и 7 на полезную модель).

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (336 источников), приложений (5), 141 иллюстрации, 68 таблиц. Общий объем – 323 страницы.

Автор выражает глубокую признательность д.т.н., проф. Шевкуну Евгению Борисовичу за многолетнее сотрудничество и всестороннюю поддержку. За конструктивную критику, которая помогла улучшить качество настоящей работы, автор благодарит сотрудников институтов: ХФИЦ ДВО РАН, ООО «НИИОГР», СПГУ, ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, АО «НЦ ВостНИИ».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

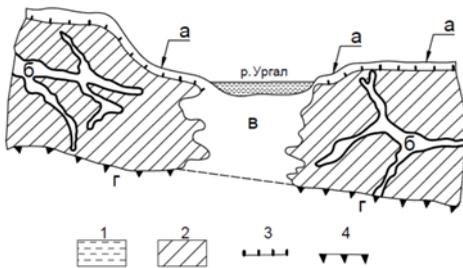
В **первой главе** выполнен анализ технологических решений относительно эффективного увеличения масштабов массовых взрывов при разработке месторождений открытым способом, а также тенденций развития научно-технических основ и технологий обеспечения устойчивости параметров БВР в зоне мерзлых осадочных пород.

Основные научные проблемы параметров систем вскрытия и разработки карьеров при помощи БВР отражены в трудах академиков Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, М.А. Садовского; докторов наук С.Д. Викторова, Ю.П. Галченко, Г.П. Демидюка, М.Ф. Друкованого, Б.Н. Кутузова, В.Н. Мосинца, Г.И. Покровского, А.Н. Ханукаева и многих других ученых.

Одним из путей существенного повышения уровня безопасности и эффективности БВР в зоне мерзлых осадочных пород является разработка и

применение новых технологий, обеспечивающих устойчивость параметров скважинного заряда.

Анализ исследований деформаций внутрискважинных полостей различного технологического назначения позволил систематизировать причины выявленных нарушений и предположить, что обрушение (осыпание) стенок взрывных скважин в зоне мерзлых пород (рис. 1) является причиной значительных колебаний объема их зарядных полостей. Что подтверждено результатами натурных измерений (рис. 2) параметров скважин 10-метрового уступа (табл. 1) в условиях: сложной литологической характеристики разреза скважин и наличия межмерзлотных вод на угольных разрезах («Эльга», «Правобережный», Буреинский»). При этом максимальное процентное отклонение от проектного объема зарядной полости составило 39,3%, а средневзвешенное отклонение – соответственно 17,86%. Это повлияло на увеличение среднего удельного расхода ВВ с 0,9 до 1,074 кг/м³, на 19,33%, в связи с необходимостью обеспечения проектной длины забойки. Статистический анализ показал, что проблема обрушения (осыпания) стенок взрывных скважин в указанных условиях приводит к повторному бурению 12,6% скважин, что влияет на снижение выхода взорванной горной массы с 1 м бурения и нарушение проектной сетки бурения на локальных участках взрывного блока. Вместо стандартной сетки 6м×6м фактически используются сетки 6м×7,5м, 4,5м×6м и другие вариации.



- а-г – воды; 2 – мерзлые породы;
3 – подошва надмерзлотных вод;
4 – кровля подмерзлотных вод

Рис. 1 - Схема взаиморасположения мерзлых и талых пород и взаимосвязи над-, меж- и подземных вод

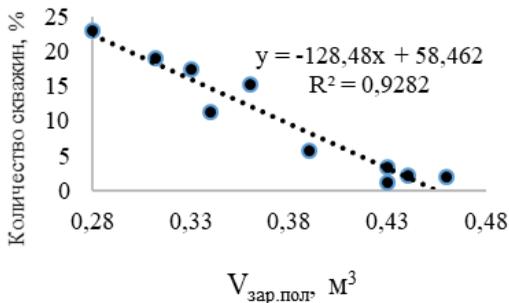


Рис. 2 - График процентного соотношения количества скважин и объема зарядной полости ($V_{зар.пол}$) на разрезах Правобережный, Буреинский, Эльга

Табл. 1 - Параметры БВР (проектные)

№п/п	Параметры БВР	Усл. обозн.	ед. изм.	Значение
	Буровой станок: DML-1200, с производительностью	м/час	м	33
1	Высота уступа	$H_{уст}$	м	10
2	Глубина скважины	L	м	11
3	Длина перебура	$l_{пер}$	м	1
4	Расстояние между скважинами в ряду	a	м	6
5	Расстояние между рядами скважин	b	м	6
6	Диаметр скважины	d	м	0,216
7	Коэффициент разбуривания	$K_{разб}$		1,05
8	Диаметр скважины с учетом коэфф. разбуривания	d	м	0,227
9	Выход горной массы с одного метра бурения	g	м ³ /м	32,7
10	Удельный расход ВВ	q	кг/м ³	0,9
11	Применяемое ВВ - ЭВВ НПГМ 70			
12	Плотность заряжения ЭВВ (до газогенерации)	Δ	кг/м ³	1300
13	Плотность заряжения ЭВВ (после газогенерации)	Δ	кг/м ³	1160
14	Вместимость ЭВВ в 1 м скважины (до газогенерации)	P	кг/м	52,4
15	Вместимость ЭВВ в 1 м скважины (после газогенерации)	P	кг/м	46,8
16	Масса заряда ЭВВ	m	кг	327,0
17	Длина заряда ЭВВ (до газогенерации)	l_3	м	6,18
18	Длина заряда ЭВВ (после газогенерации)	l_3	м	6,98
19	Объем зарядной полости	$V_{зар.пол.}$	м ³	0,28
20	Длина забойки	$l_{заб}$	м	4,02

Перечисленные негативные аспекты приводят к неблагоприятным последствиям: 1 - усиление сейсмического воздействия взрыва на окружающий массив горных пород, включая контур карьера; 2 - увеличение дальности разлета осколков взорванной горной массы (ВГМ); 3 - снижение качества формирования поверхности уступа и скважинного заряда из наливного эмульсионного ВВ (ЭВВ).

1. Принимая во внимание выявленное влияние увеличения объема зарядной полости на повышение удельного расхода ВВ, установлено, что сейсмически безопасное расстояние (r_c) увеличивается на 6% (рис. 3). Это подтверждается расчетом зависимости сейсмически безопасного расстояния от количества одновременно инициируемых зарядов ВВ (N в диапазоне значений от 200 до 1000 шт.), где расстояния (м), на которых колебания грунта, вызываемые при одновременном взрывании N зарядов взрывчатых веществ общей массой Q с временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс, становятся безопасными для зданий и сооружений, определяются по формуле

$$r_c = \frac{K_r \times K_c \times a}{N^{1/4}} \times Q^{1/3} \quad (1)$$

где, для исследуемых условий, принимается: $K_c = 8$; $K_c = 2$; $a = 2$.

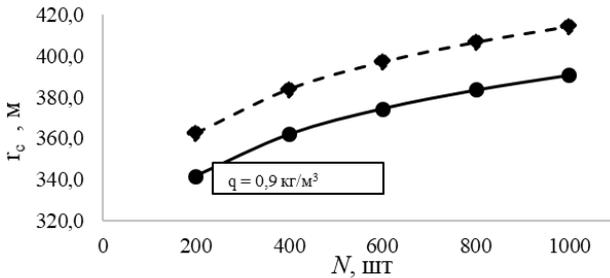


Рис. 3 - График зависимости r_c от N при увеличении удельного расхода ВВ

2. Безопасное расстояние $r_{\text{разл}}$ (м) от места взрыва скважинных зарядов, применяемых для дробления горной породы, рассчитывается по следующей нормативной формуле:

$$r_{\text{разл}} = 1250 \times \eta_3 \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}} \quad (2)$$

где $\eta_3 = l_3/L$ - коэффициент заполнения скважины ВВ, равный отношению длины колонки заряда l_3 к глубине пробуренной скважины L ; $\eta_{\text{заб}} = l_{\text{заб}}/l_n$ - коэффициент заполнения скважин забойкой, равный отношению длины забойки $l_{\text{заб}}$ к длине свободной от заряда верхней части скважины l_n ; f - коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова; d - диаметр взрывающей скважины, м; a - расстояние между скважинами в ряду, м.

Расчет по данной формуле (2) проводится с учетом минимально возможных значений параметров a , $\eta_{\text{заб}}$ и максимально возможных значений η_3 , d , f . При взрывании параллельно сближенных (кустов, пучков) скважинных зарядов принимается их эквивалентный d . В текущем анализе для расчета $r_{\text{разл}}$ принимается $f=10$.

В связи с вышеизложенным, при определении $r_{\text{разл}}$ в случае вариативности объема зарядной полости $V_{\text{зар.пол}}$ между скважинами целесообразно использовать максимальное значение d_{max} , вычисляемое по формуле (с использованием формулы расчета площади $S = (\pi \times d^2) / 4$)

$$d_{\text{max}} = \sqrt[2]{\frac{4 \times V_{\text{зар.пол.макс}}}{\pi \times l_3}} \quad (3)$$

где $V_{\text{зар.пол.макс}}$ - максимально возможный объем зарядной полости при максимально возможных значениях η_3 .

Таким образом, учитывая проектные параметры БВР (табл. 1), $V_{\text{зар.пол.макс}}$, и локальное снижение расстояния между скважинами с 6 до 4,5 м, связанное с частичным перебуриванием, расчет безопасного расстояния по разлету кусков ВГМ по формуле (2) показывает увеличение $r_{\text{разл}}$ с 413 до 540 м, т.е. на 76%. График (рис. 4) отображает зависимость $r_{\text{разл}}$ от изменения значений $V_{\text{зар.пол}}$ и усредненного диаметра заряда, соответствующего конкретному значению $V_{\text{зар.пол}}$.

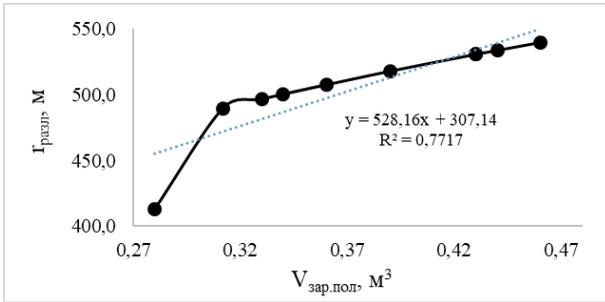


Рис. 4 - График зависимости $\Gamma_{\text{разл}}$ от $V_{\text{зар.пол}}$

3. В исследуемых горно-геологических условиях при разработке 10- метровыми уступами примерно 2,1% скважин на взрывном блоке обрушаются (осыпаются) на высоту 8–11 м в течение около 6 минут после извлечения буровой штанги (табл. 2), обуславливая необходимость повторного бурения, что вызывает локальные отклонения расстояния между скважинами от проектного в среднем на $\pm 25\%$.

Табл. 2 - Данные натуральных измерений обрушения стенок скважин 10 метрового уступа

Время обрушения до, час	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	2,1	2,9	7	0,1	0,1	0,1	0,1
Высота обрушения, м	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество скважин, %	34	23	19,2	12,6	6,5	1,2	0,9	0,4	0,1	0,3	0,7	0,2	0,9

В среднем 76,2% скважин осыпается на высоту до 1 метра в течение 0,7 часа после бурения (табл. 2). Дальнейшее добуривание таких скважин экономически нецелесообразно, а необходимость совершать дополнительные маневры буровым станком между пробуренными и заряженными скважинами увеличивает вероятность их случайного повреждения.

Снижение качества формирования скважинного заряда из наливного ЭВВ механизированным способом обусловлено некорректной регулировкой скорости подъема зарядного рукава из-за отсутствия оперативной информации об изменении объема зарядных полостей, что ухудшает показатели качества ВГМ, включая повышение выхода негабарита с 2 до 7% с ростом объема взрывного блока и продолжительности пребывания ЭВВ в скважине.

Во **второй главе** диссертации получило развитие исследование влияния фактора колебания объема зарядной полости на качество формирования заряда из наливного эмульсионного ВВ. Приводится обоснование инновационного решения по адаптации параметров ББР к условиям зоны мерзлых полускальных пород.

Значительный вклад в изучение вопросов, связанных с разработкой, внедрением и эффективным использованием ЭВВ, внесли такие исследователи, как Ванг Ксюгуанг, С.А. Горинов, Е.В. Колганов, И.Ю. Маслов, В.А. Соснин и др.

Исследованиями выявлено закономерное снижение детонационных свойств скважинного заряда ЭВВ при продолжительном его пребывании в скважине (сутки и более) в условиях зоны мерзлых горных пород, что препятствует увеличению единичного объема ВГМ. Учитывая, что потребление изготавливаемых на местах ведения горных работ наливных эмульсионных ВВ в России, в том числе на ДВ, за последние четверть века возросло с 5 до 73% от общего объема расходуемых ВВ (рис. 5) при тенденции увеличения доли расхода ЭВВ, данный вопрос требует особого внимания.

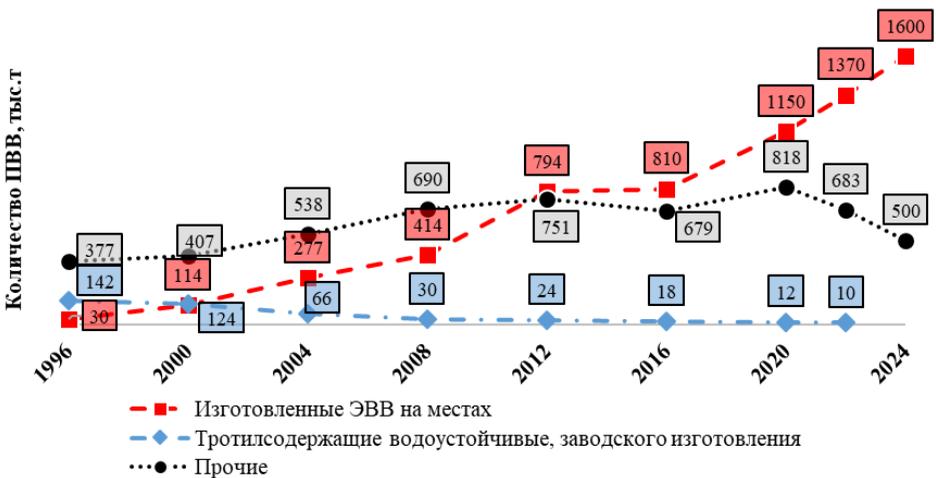


Рис. 5 - Динамика потребления промышленных ВВ (изготовленные эмульсионных ВВ на местах, тротилсодержащие заводского изготовления) в России в период 1996–2024 гг. (по данным годовых отчетов Ростехнадзора РФ)

Автором в период 2016–2025 гг. проведены натурные измерения скорости детонации: скважинных зарядов ($СД_{скв.з}$); наружных удлиненных зарядов ($СД_{нар.з}$) в рукавах; промежуточных детонаторов ($СД_{пр.дет}$). При этом выявлено следующее:

- 95% и более наружных удлиненных зарядов ЭВВ соответствуют техническим условиям по показателям плотность, полнота и скорость детонации;
- Скорость детонации у 97% и более скважинных зарядов из патронированных ЭВВ входит в нормативный диапазон;
- Более чем у 57% скважинных зарядов из наливных ЭВВ фактическая скорость детонации ниже нормы на 22–45%. При этом в 86% измерений отмечено постепенное затухание детонации (рис. 6), в 14% – ее обрыв.



Рис. 6 - График, с постепенным затуханием скорости детонации скважинного заряда ЭВВ

Среди потенциальных причин ухудшения детонации наливного ЭВВ наиболее вероятной представляется проблема некачественного формирования скважинных зарядов, обусловленная расхождениями между скоростью подъема зарядного рукава и фактическим диаметром зарядных полостей. Представленная на графике зависимость между усредненным значением диаметра зарядной полости ($d_{зар.уср}$) и ее объемом (рис. 7), в комплексе с данными, приведенными на графике (рис. 2) и в таблице 3, отражает наличие существенного риска нарушения качества формирования скважинного заряда из наливного ЭВВ при отсутствии контроля над изменением объема зарядной полости.

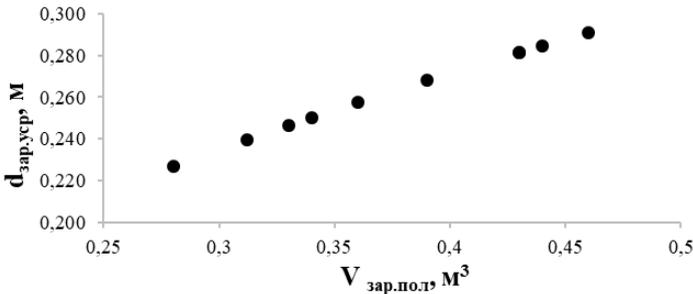


Рис. 7 -
График
зависимости
 $d_{зар.уср}$ от

Предложенные подходы к решению данной проблемы носят преимущественно «экзогенный» характер, затрагивая деятельный слой многолетней мерзлоты. Этот аспект, в частности, был рассмотрен Б.Н. Заровняевым в его исследовании по Нерюнгринскому угольному месторождению.

В результате анализа по проблеме исследования разработана конструкция рассредоточенного заряда (рис. 8), гарантирующая сохранение его проектных параметров в условиях зоны мерзлых полускальных пород, отличающаяся от аналогов использованием полимерного рукава, диаметр которого соответствует

проектному диаметру заряда, и инертного промежутка, выполненного из полой пластиковой трубы того же диаметра, обеспечивающей аккумуляцию породы от обрушения стенок скважины.

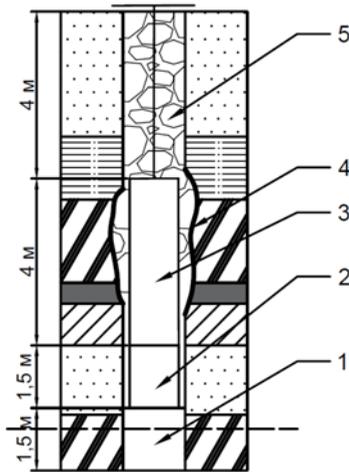


Рис. 8 – Конструкция скважинного рассредоточенного заряда, гарантирующая сохранение своих проектных параметров в условиях объекта исследования:

- 1 – нижний заряд из ПЭВВ;
- 2 – инертный промежуток из полой пластиковой трубы;
- 3 – верхний заряд, сформированный в специальном полимерном рукаве заданного диаметра, соответствующего проектному диаметру заряда;
- 4 – участок с нарушенной целостностью стенок скважины; 5 – забойка.

Процесс формирования данного заряда осуществляется в три этапа. По завершении бурения скважины на I этапе станок перемещается к точке бурения следующей. Одновременно с началом отвода станка производится формирование вручную нижнего заряда из патронированных эмульсионных ВВ (ПЭВВ) высотой 1,5 метра. Далее на нижний заряд опускается пластиковая полая труба высотой 1,5 метра, которая имеет двойное назначение: служит средством для создания инертного промежутка и аккумуляции осыпавшейся породы от верхней части скважины. Первый этап заряжения занимает в среднем 3,2 минуты. После чего заряд консервируется на время, пока буровой станок завершит бурение очередной скважины и удалится на расстояние 10 метров и более от частично заряженной скважины. Далее, не позднее одного часа после I этапа, II-м этапом формируется верхний заряд из наливного ЭВВ механизированным способом посредством смесительно-зарядной машины в устройство из полипропиленового рукава, обеспечивающее заданные параметры заряда по диаметру и длине. На третьем, заключительном этапе производится забойка. В целях повышения точности одновременного срабатывания нижнего и верхнего зарядов обязательно применение средств инициирования (СИ) – аналогов «Искра-Г» либо электронной системы инициирования (ЭСИ).

Внедрение предложенного технологического решения (*метода параметрической устойчивости заряда ВВ (МПУЗ)*) обеспечивает возможность адаптации проектных параметров скважинного заряда к условиям зоны мерзлых полускальных пород, что способствует повышению эффективности и безопасности БВР, в том числе: снижению удельного расхода ВВ; сокращению

значений безопасных расстояний по поражающим факторам (разлет фрагментов ВГМ и сейсмическое воздействие); повышению устойчивости скорости детонации зарядов из ЭВВ; увеличению единичного объема взрывного блока.

В **третьей главе** исследованы особенности взрывной подготовки многолетнемерзлых гравийно-галечниковых пород (МГГП). Приводится обоснование разработки камуфлетно-скважинного метода (КСМ).

Особенностью взрывного воздействия на МГГП является их последующее относительно быстрое смерзание. Связующим веществом в данных геологических образованиях выступает лед, который подвергается частичной деградации (таянию) под влиянием продуктов детонации и последующему замерзанию при воздействии низких температур окружающей среды. Именно эта специфическая характеристика МГГП создает препятствие для результативного применения как стандартных методик, так и предложенного метода «параметрической устойчивости заряда ВВ» в процессе взрывной подготовки мерзлых грунтов к выемке. На рисунке 9 в качестве примера приводится зависимость глубины повторного смерзания ($L_{\text{смерз}}$) от среднесуточной температуры воздуха ($t_{\text{ср.сут}}$) и времени на разрезе «Правобережный».

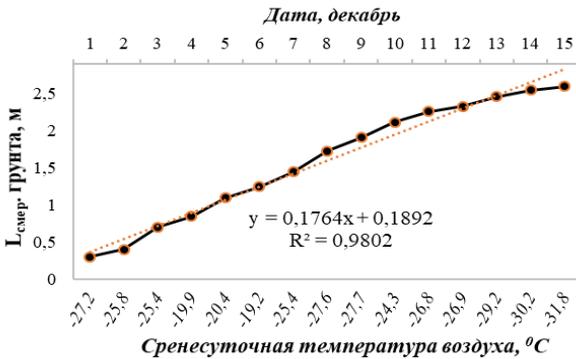


Рис. 9 - Изменение $L_{\text{смерз}}$ МГГП от $t_{\text{ср.сут}}$ с нарастающим итогом, м

Вопросы подготовки мерзлых горных пород исследованы И.З. Дроговейко, А.А. Егуповым, Б.Н. Заровняевым, И.В. Зыряновым, С.Н. Жариковым и др.

Поверхностно-активные вещества (эффект Ребиндера) нашли применение в борьбе со смерзанием горных пород. Однако их высокая стоимость и растущие объемы взрывных работ ограничивают повсеместное внедрение.

Основным методом борьбы с повторной смерзаемостью МГГП является снижение объема одновременно взрываваемой горной массы, чтобы глубина смерзания ВГМ не достигла критического значения. При этом эффективность бурения по МГГП значительно уступает бурению по коренным породам по следующим причинам: повышенный износ долот (более чем в 2 раза); увеличенный удельный расход ВВ (более чем на 50%); сезонные ограничения БВР, вызванные таянием мерзлоты; нецелесообразность БВР на нескольких уступах из-

за укатывания грунта автосамосвалами; увеличенный разлет кусков ВГМ; снижение производительности экскаватора (табл. 3).

Табл. 3 – Эффективное время работы экскаватора Komatsu PC1250 (обратная лопата) при традиционном способе взрывной подготовки МГП на разрезе «Буреинский»

Месяц, Год	Половина месяца	Эффективное время работы экскаватора*, сут	Среднесуточная производительность экскаватора, тыс. м ³ /сут	Объем ВГМ, тыс.м ³
ноя.11	1	14	10,9	153,2
	2	8	10,3	82,3
дек.11	1	2	8,2	16,5
	2	1	7,9	7,9
январь.12	1	1	8,0	8,0
	2	0	8,0	0,0
февр.12	1	2	8,3	16,6
	2	2	9,1	18,1
\bar{x}		3,8	8,8	37,8

*под эффективным временем работы экскаватора подразумевается время работы экскаватора с расчетной плановой производительностью относительно конкретного угольного разреза – 10,3 тыс. м³/сутки.

С учетом результатов исследования разработан **камуфлетно-скважинный метод (КСМ)** взрывной подготовки к выемке МГП, основанный на тепловом воздействии продуктов детонации на мёрзлую породу в замкнутом пространстве через трещины от взрыва камуфлета, отличающийся от традиционного способа БВР технологией взрывного дробления мерзлого массива, реализуемой в четыре этапа (рис. 10):

Этап 1: Взрыв сектора I традиционным способом с целью создания буфера из ВГМ для эффективности взрывания зарядов камуфлета очередного сектора.

Этап 2: Взрыв нижней части сектора II зарядами камуфлета.

Этап 3: Одновременный взрыв верхней части сектора II и нижней части сектора III.

Этап 4: По мере выемки ВГМ сектора II взрыв верхней части сектора III и нижней части сектора IV по аналогии с третьим этапом.

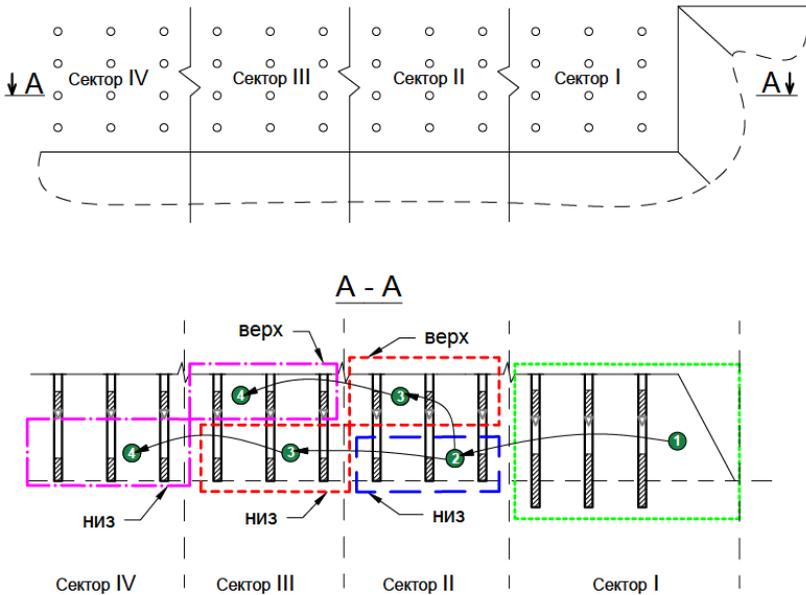


Рис. 10 – Схема последовательности взрывания массива уступа из МГП, где цифрами 1–4 (в кружках) обозначен порядок взрывания верхней и нижней частей секторов I-IV

Описываемый метод характеризуется следующими особенностями:

1. Заряды камуфлета сектора II (рис. 10) взрывают на 24 часа раньше зарядов очереди III этапа для создания квазипарникового эффекта, что обеспечивает оттаивание нижней и средней частей уступа тепловым дезинтегрирующим воздействием продуктов детонации.

На разрезах АО «Ургалуголь» экспериментально установлено, что для растепления МГП в радиусе 3–4 м от заряда (60 кг ЭВВ «Эмуласта АС-30 ФП» – 45000 ккал) требуется около 24 часов в условиях закрытого пространства и образованных взрывом трещин массива мерзлых гравийно-галечниковых пород.

2. Масса нижнего заряда рассчитывается так, чтобы при взрыве камуфлетного заряда дезинтегрировалась только нижняя часть уступа, не разрушая верхнюю часть скважины с зарядом (рис. 11), а газообразные продукты взрыва выходили по линии наименьшего сопротивления в боковую сторону, в направлении взорванного массива. Сохранность верхнего заряда обеспечивается при следующих параметрах: m (камуфлетного заряда) ≤ 60 кг; ЛНС (заряда) $\leq 0,91 \times l_{ин}$, где $l_{ин}$ – длина инертного промежутка; наличие запирающего устройства типа «УЗУ» в верхней части ИП; формирование песчаной буферной подушки высотой 0,2 м в нижней части верхнего заряда.

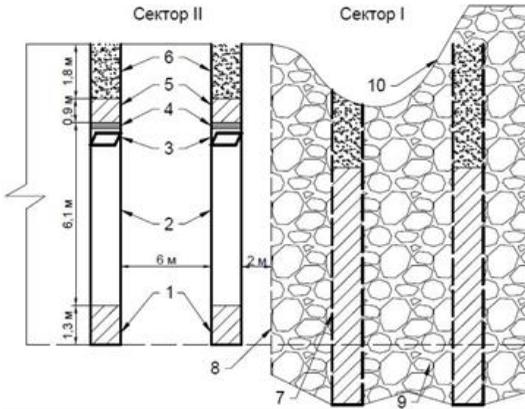


Рис. 11 – Конструкция заряда:
 1 – заряд камуфлета;
 2 – инертный промежуток;
 3 – запирающее устройство типа «УЗУ»;
 4 – песчаная подушка 0,2 м;
 5 – верхний заряд; 6 – забойка;
 7, 8 – имитация заряда во ВГМ сектора I, граница его зоны дробления;
 9 – зона перебура;
 10 – ВГМ сектора I.

3. Для обеспечения надежности и безопасности взрывания, инициирование нижних зарядов подлежит дублированию с применением ЭСИ и двух разных типов промежуточных детонаторов (тротилсодержащего и эмульсионного). В целях экономии верхние заряды II-го и последующих за ним секторов, включая заряды сектора I, инициируются с помощью неэлектрических систем инициирования (НСИ).

4. Формирование нижней части заряда осуществляется с применением ПЭВВ по технологии «вслед за бурением».

Опыт применения КСМ в условиях угольных разрезов АО «Ургалуголь» подтвердил его эффективность. Это выразилось в возможности сократить безопасные расстояния от взрывов по сейсмическому воздействию на 49,5% и разлету кусков ВГМ на 72,4%, уменьшить удельный расход ВВ на 78,3% и износ бурового инструмента на 9%, а также повысить выход ВГМ с 1 м скважины на 35,1% и одновременно взрываемый объем взрывного блока более чем в 2 раза.

В четвертой главе рассмотрены вопросы влияния межскважинного интервала замедления на сейсмобезопасность и эффективность ведения БВР в условиях объекта исследования. Приведено обоснование критерия относительной сейсмобезопасности.

Анализ исследований по оптимизации межскважинных интервалов замедления выявил ряд важных для настоящего исследования положений, особенно в контексте обоснования камуфлетно-скважинного метода. Увеличение интервалов между последовательными взрываемыми зарядами обеспечивает многократное (в 5-7 раз) продление фазы действия знакопеременных нагрузок на массив горных пород с преобладающим влиянием растягивающих напряжений. Это приводит к существенному увеличению протяженности и раскрытия трещин в зоне дробления, а также к росту их плотности в зоне взрывной активизации трещин. Повышается эффективность проникновения сильно сжатых продуктов взрыва в существующие трещины и их активного расклинивающего воздействия.

Соответственно, снижается интенсивность воздействия продуктов взрыва на приустьевую зону скважины при инициировании последующих зарядов. Наблюдается тенденция к направлению большей доли продуктов взрыва в трещины, формирующиеся в окрестности скважин под воздействием растягивающих волн напряжений от предыдущих взрывов, что способствует их дальнейшему развитию и усилению теплового воздействия газообразных продуктов взрыва на массив мерзлых гравийно-галечниковых пород. Таким образом, увеличение интервалов замедления оказывает положительное дезинтегрирующее действие на взрывание мерзлых крупнообломочных пород с помощью КСМ, в связи с чем возникает необходимость изучения влияния таких интервалов на сейсмобезопасность.

В ходе исследования проводились регулярные замеры сейсмических колебаний от взрывов с помощью сейсмографа Instantel Micromate, трехкомпонентных сейсмоприемников СК-1П и аналогово-цифрового преобразователя АЦП Е14-440. Критических значений скорости смещения и амплитуды колебаний грунта не выявлено. Однако существуют противоречия в литературе относительно влияния межскважинного интервала замедлений на сейсмобезопасность: одни исследователи рекомендуют уменьшать суммарный межскважинный интервал времени замедления (СМИЗ), другие – увеличивать его более 100 мс.

В настоящей работе под СМИЗ подразумевается интервал времени при взрывании продольными или поперечными зарядами с междурядным (магистральной сети) и межскважинным (участковой сети) замедлением, равный сумме значений замедления по сетке скважин между смежными скважинами участковой сети (t_a) и между смежными скважинами магистральной сети (t_b), а под диагональным (t_c) соответственно разность между значениями замедлений магистральной и участковой сетей (рис. 13). При значительном увеличении СМИЗ диагональное замедление может не меняться, и наоборот, увеличение t_c может сопровождаться снижением значения СМИЗ, поэтому в настоящей работе учитывается баланс между соответствующими интервалами замедлений посредством анализа применения разных вариантов схем монтажа взрывной сети.

Стандарт ГОСТ Р 52892–2007 определяет диапазон частот от 4 до 15 Гц как наиболее опасный для зданий и сооружений. Это связано с тем, что такие частоты близки к собственным частотам колебаний конструкций, что может привести к резонансу. Гипотетически, подобный эффект может быть вызван применением интервалов замедления между взрывными скважинами в пределах 67–250 миллисекунд. Поскольку частота колебаний обратно пропорциональна периоду ($\nu = 1/T$), интервал в 109 мс соответствует частоте примерно 9,2 Гц, а интервал в 250 мс – 4 Гц. Однако результаты многочисленных исследований свидетельствуют о положительном влиянии увеличения интервалов замедления на снижение смещения взорванной горной массы и повышение устойчивости бортов карьера.

В настоящее время отсутствует общепринятая теория закономерного влияния СМИЗ на сейсмобезопасность. В связи с этим автор исследовал влияние СМИЗ на сейсмобезопасность, учитывая временные отклонения в срабатывании

детонаторов неэлектрических систем инициирования. Методика исследования включала натурные измерения времени срабатывания детонаторов и математическое моделирование. Опытные взрывы выполнялись с параметрами БВР, характеризующимися относительной идентичностью (табл. 1).

В работе исследовались пять вариантов схем монтажа взрывной сети (табл. 4) с использованием стандартных (заводских) номиналов замедлений детонаторов НСИ одного производителя для поверхностной сети: 17 мс, 25 мс, 42 мс, 67 мс, 109 мс, 176 мс. Для внутрискважинной сети во всех случаях применялись детонаторы НСИ номиналом 500 мс.

Табл. 4 – Параметры схем монтажа взрывной сети, без учета времени отклонения срабатывания детонаторов

№ варианта схемы монтажа взрывной сети	Замедление между скважинами участковой сети - t_a , мс	Замедление между скважинами магистральной сети - t_b , мс	Диагональное замедление - t_c , мс	Суммарное замедление между скважинами участковой и магистральной сети (СМИЗ), мс
1	17	25	8	42
2	25	42	17	67
3	42	67	25	109
4	67	109	42	176
5	109	176	67	285

По результатам проведённых инструментальных измерений выявлена зависимость среднеквадратичного отклонения срабатывания детонаторов НСИ от температуры окружающей среды (рис. 12). При этом среднее значение отклонения времени замедления детонаторов, как одной, так и разных партий, частично выходит за границы номинальных значений на 0,8–32,5%.

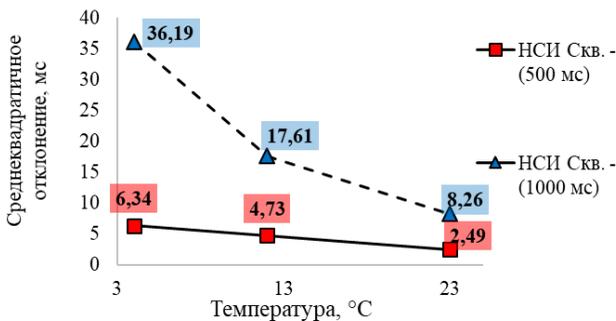
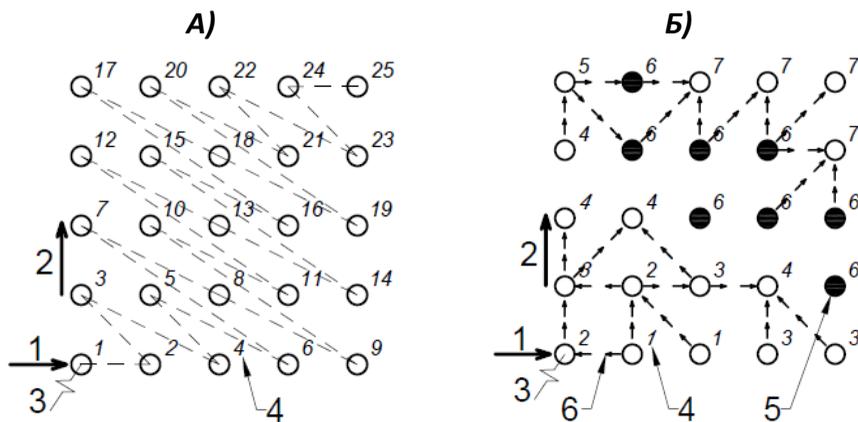


Рис. 12 - Зависимость среднеквадратичного отклонения срабатывания детонаторов НСИ от температуры окружающей среды

Далее, на основании данных литературного обзора и инструментальных измерений фактического времени срабатывания средств инициирования, составлено более трехсот вариантов схем монтажа взрывной сети с разными значениями СМИЗ и схемами монтажа взрывной сети. Варианты возможных интервалов замедлений смоделированы посредством генератора случайных чисел и эффекта «20-мс скользящего окна» (согласно нормативных правил, при взрывании групп зарядов с замедлением менее 20 мс, каждая группа считается отдельным зарядом).

В качестве примера приводятся отдельные схемы последовательности взрывания зарядов без учета (рис. 13 А) и с учетом отклонения времени срабатывания детонаторов НСИ (рис. 13 Б), с иллюстрацией факторов влияния на относительную сейсмобезопасность: дифференцирование взрывания скважинных зарядов (групп скважинных зарядов); группа скважин с максимальным количеством одновременно взрывааемых зарядов в контексте эффекта «20-мс скользящего окна»; количество последовательно взрывааемых зарядов в группах зарядов.



Условные обозначения: 1 – участковые ряды (42 мс);
 2 – магистральный ряд (67 мс); 3 – стартовая скважина;
 4 – дифференцирование взрывания скважин; 5 – группа одновременно взрывааемых скважин с учетом 20-мс скользящего окна с максимальным количеством зарядов; 6 – последовательно взрывааемые заряды в группах.

Рис. 13 – Схема последовательности взрывания зарядов без учета (А) и с учётом (Б) отклонения времени замедления детонаторов

Для количественной оценки относительной сейсмобезопасности разработаны критерии оценки монтажа взрывной сети (табл. 5), выраженные в баллах, численно равных процентному отношению значений факторов влияния на относительную сейсмобезопасность к общему количеству взрывааемых скважин на блоке.

Табл. 5 - Критерии оценки монтажа взрывной сети по относительной сейсмобезопасности, выраженные в условных баллах

Критерий		Описание критерия	Формула расчета баллов*
К₁	дифференцирования срабатывания скважинных зарядов (групп зарядов)	Процентное отношение значения N_{co} (количества взрывааемых групп скважинных зарядов с учетом эффекта 20-мс скользящего окна и отклонения времени замедления детонаторов) к значению $N_{общ}$ (соответствующему количеству скважинных зарядов (групп скважинных зарядов) без учета отклонения времени замедления, но с учетом эффекта 20-мс скользящего)	$N_{K_1} = \frac{N_{co}}{N_{общ}} * 100$
К₂	массы одновременно взрывааемых зарядов	Процентное отношение значения от $N_{общ} - N_{макс}$ (разницы между общим количеством скважин взрывного блока и максимальным количеством скважинных зарядов в группе) к значению $N_{общ}$	$N_{K_2} = \frac{N_{общ} - N_{макс}}{N_{общ}} * 100$
К₃	последовательности взрывания скважинных зарядов	Процентное отношение значения $N_{спз}$ (суммы последовательно взрывааемых скважинных зарядов всех групп) к значению $N_{общ}$	$N_{K_3} = \frac{N_{спз}}{N_{общ}}$

* - $N_{K_1} - N_{K_3}$ – количество баллов соответственно по критерию $K_1 - K_3$

Количество баллов по критерию относительной сейсмобезопасности, $K_{отн}$, рассчитывается по формуле:

$$N_{K_{отн}} = N_{K_1} + N_{K_2} + N_{K_3} \quad (4)$$

где $N_{K_{отн}}$ – количество баллов по критерию $K_{отн}$.

Пример расчета оценки схем монтажа взрывной сети на основании представленных формул приведен в таблице 6.

Табл. 6 - Пример расчета оценки схем монтажа взрывной сети по относительной сейсмобезопасности

№п/п варианта схемы монтажа	Схема замедления	$t_c, мс$	СМИЗ	Критерии оценки, в баллах			
				К ₁ - Дифференцирование срабатывания скважинных зарядов	К ₂ – Массы одновременно взрывааемого заряда	К ₃ - Последовательности взрывания скважинных зарядов	К _{отн} - относительный критерий сейсмобезопасности
1	17×25	8	42	16	27	71	114
2	25×42	17	67	25	58	89	171
3	42×67	25	109	38	66	90	194
4	67×109	42	176	53	83	93	229
5	109×176	67	285	66	85	93	244

Учитывая результаты таблицы 6, где 42 мс минимального СМИЗ эквивалентно 114 условным баллам, а 285 мс максимального СМИЗ эквивалентно соответственно 244 баллам, получена зависимость, а именно: при приросте суммарного межскважинного интервала замедления на 60-63% и диагонального замедления на 59,5-112,5%, прирост показателя относительной сейсмобезопасности для наземных объектов, расположенных на расстоянии 500-1500 м от границ массового взрыва, составляет 7-50% (рис. 14). В таблице 7 приведен расчет прироста $K_{отн}$ при изменении параметров t_c и СМИЗ. Например, для варианта схемы №2 прирост $K_{отн}$ на 50% рассчитывается следующим образом: $(171-114)/114 \times 100$. Данные расчеты теоретически подтверждают, что увеличение межскважинного интервала замедления является эффективным способом повышения сейсмобезопасности.



Рис. 14 - Зависимость $K_{отн}$ от СМИЗ и диагонального замедления

Табл. 7 – Расчет прироста $K_{отн}$, при изменении параметров t_c и СМИЗ

№п/п, вариант схем замедлений	t_a , мс	t_b , мс	t_c , мс	СМИЗ, мс	Прирост t_c , %	Прирост СМИЗ, %	$K_{отн}$, баллы	Прирост $K_{отн}$, баллы, %
1	17	25	8	42			114	
2	25	42	17	67	112,50	60	171	50
3	42	67	25	109	47,06	63	194	13
4	67	109	42	176	68,00	61	229	18
5	109	176	67	285	59,52	62	244	7

В целях верификации данных, полученных посредством приведенного математического моделирования, проведены натурные измерения сейсмических колебаний от взрывов на разрезах АО «Ургалуголь». Результаты измерений, подтверждающие расчетные данные (таблица 7), отображены на графике (рисунок 15) с учетом параметров БВР (таблица 1).

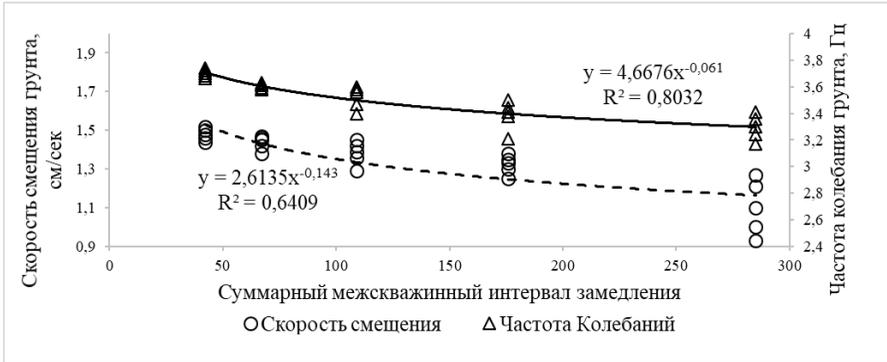


Рис. 15 - График зависимости частоты колебаний и скорости смещения грунта от значения СМИЗ: линия тренда значений скорости смещения (- - -); линия тренда значений частоты колебаний (—)

Зависимость, представленная на графике (рис. 15), свидетельствует о снижении сейсмичности при увеличении интервалов межскважинных замедлений. Этот практически важный результат целесообразно учитывать при обосновании параметров БВР, включая единичный объем взрывного блока, с проведением дополнительных измерений сейсмического воздействия взрыва в ближней зоне (50–150 м) от границ взрывного блока с изменением схем монтажа и интервалов замедлений. Целесообразность максимального приближения сейсмодатчиков к взрыву обусловлена получением более корректных данных с учетом фактора неоднородности массива горных пород.

В пятой главе изучены вопросы влияния параметров БВР на дальность разлета осколков ВГМ в зависимости от длины верхней (приустьевой) неактивной части скважинного заряда. Приводится обоснование применения отдельных укрытий на взрывных блоках и адаптации нормативной формулы для расчета безопасных расстояний по разлету фрагментов ВГМ относительно механизмов.

В 3-й главе приводится пример снижения на 72,4% значения безопасного расстояния по разлету кусков ВГМ ($r_{\text{разл}}$) при взрывании верхних зарядов сектора II относительно инициирования сплошных зарядов сектора I (рис. 11), согласно расчетам по нормативной формуле (2). Однако это противоречит расчету по формуле (5) «приведенной глубины залегания» ($SDOB$, м/кг^{1/3}), где расчетное значение « $SDOB$ » в два раза ниже при взрывании зарядов сектора I, что означает увеличение $r_{\text{разл}}$ при взрывании зарядов сектора II относительно зарядов сектора I.

$$SDOB = \frac{l_3 + 0,0005 \times \eta_3 \times d}{0,00923 \times (\eta_3 \times d^3 \times \Delta)^{0,333}}, \quad (5)$$

Понятие приведенной глубины залегания заряда описано в работе П.А. Самусева и в справочнике по ВР Международной ассоциации инженеров-взрывотехников (ISEE). Из него следует: когда глубина залегания заряда уменьшается, увеличиваются скорость, диапазон и вероятность разлета фрагментов породы.

Натурные измерения максимальной дальности разлета отдельных осколков ВГМ по МГГП, проведенные автором с учетом вышеуказанного противоречия, подтверждают эффект «*SDOB*». Согласно полученным данным (табл. 8), дальность разлета осколков ВГМ сектора II по факту измерений в среднем на 21% больше относительно сектора I.

Табл. 8 - Данные по разлету осколков ВГМ

№ эксперимента		1	2	3	4	5
$\Gamma_{\text{разл. М}}$	Сектор I	217	225	203	228	186
	Сектор II	275	292	257	288	234

Для снижения $\Gamma_{\text{разл.}}$, предлагается использовать специальные укрытия при взрывании верхней части зарядов. Анализ показал, что традиционные методики взрывания под укрытием применимы только для специализированных работ (например, в транспортном строительстве) из-за высокой стоимости и ограничений по суммарному замедлению (не более 200 мс). В связи с этим рекомендуется инновационный метод: использование несвязанных матов из нетканого материала в качестве укрытий, закрепленных к поверхности взрывного блока (рис. 16).

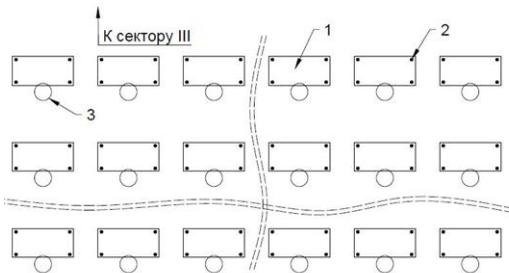


Рис. 16 – Схема метода с применением отдельных укрытий от разлета кусков ВГМ:
1 - укрывной мат;
2 - кол крепежный;
3 - скважина

Метод (рис. 16) уменьшает зону поражения осколками в заданном направлении, сокращая максимальное значение $\Gamma_{\text{разл.}}$ при взрывании зарядов сектора II (рис. 10) в 4 и более раза (до 48,7–27,8 м). Это особенно важно при работах вблизи охраняемых объектов, например, ЛЭП.

Изучение дальности разлета кусков ВГМ (на примере МГГП) актуально для исследования эффекта «*SDOB*» в мерзлых грунтах. Отсутствие нормативных формул расчета $\Gamma_{\text{разл.}}$ для горной техники и оборудования, а также проблема удаления механизмов на большие расстояния при взрыве обусловили проведение экспериментальных взрывов на разрезе «Правобережный». Цель – определить максимальное значение $\Gamma_{\text{разл.}}$ в зависимости от глубины скважин и интервала межскважинного замедления. Результаты представлены на графиках (рис. 17, 18).

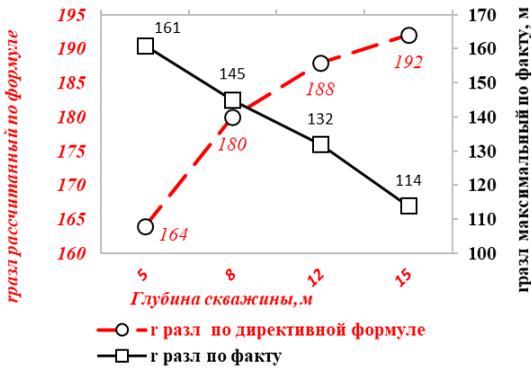


Рис. 17 – Графики зависимости максимальных значений гразл от глубины скважин по факту экспериментальных взрывов на разрезе «Правобережный»

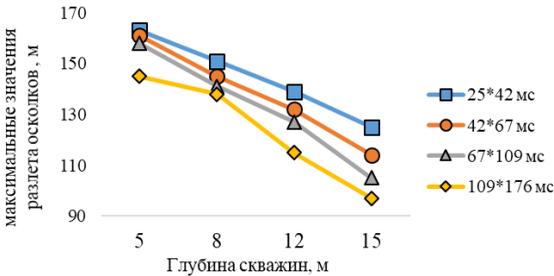


Рис. 18 - Графики зависимости максимальных значений гразл от интервала межскважинных замедлений и глубины скважин по факту экспериментальных взрывов на разрезе «Правобережный»

Анализ данных позволил адаптировать формулу (2) к условиям объекта исследования, добавив в нее эмпирический понижающий коэффициент $\eta_{уз}$, учитывающий длину удаления заряда ВВ от устья скважины.

$$R_{\text{оз.оборуд}} = 1250 \times \eta_{уз} \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}} \times \eta_{уз}, \quad (6)$$

$$\eta_{уз} = \frac{2}{L_{\text{нз}}} \quad (7)$$

где $L_{\text{нз}}$ – расстояние от заряда ВВ до устья скважины, 2 – значение коэффициента, отражающего особенности горно-геологических условий.

Преимущество адаптированной формулы $R_{\text{оз.оборуд}}$ заключается в: возможности сокращения времени на организацию массовых взрывов; простоте ее применения; целевой направленности для механизмов (оборудования).

Графики на рисунке 19 отражают взаимосвязь между максимальными значениями дальности разлета осколков ВГМ и значениями глубины скважины. При использовании адаптированной формулы максимальное безопасное

расстояние по разлету кусков ВГМ снижается примерно вдвое по сравнению с соответствующими расчетами по нормативной формуле.



Рис. 19 – Графики зависимости максимальной дальности разлета фрагментов ВГМ от глубин скважин при расчете по нормативной (---) и адаптированной (—) формулам

В шестой главе представлена оценка эффективности и безопасности предложенных инновационных технологий, направленных на адаптацию параметров БВР к условиям исследуемого объекта. Приведен анализ влияния фактора углубления угольных разрезов равнинного типа на планирование БВР в зоне мерзлых осадочных пород.

На рисунке 20 отображена концептуальная модель повышения уровня безопасности и эффективности БВР в рамках настоящего исследования, на основании которой выполнены соответствующие расчеты, приведенные в таблицах 9–10.



Рис. 20 – Концептуальная модель повышения уровня безопасности и эффективности БВР: g - выход горной массы с 1 метра скважины; $C_{Д_{скв.з}}$ - скорость детонации скважинного заряда; $V_{е.в.б}$ - единственный объем взрывного блока; безопасные расстояния по разлету кусков ВГМ - $g_{разл}$ и сейсмическому воздействию от взрыва - g_c

Табл. 9 – Итоговые данные расчета эффективности и безопасности по факту внедрения метода параметрической устойчивости заряда ВВ

Параметр	усл. обозн.	ед. изм.	Усредненное значение, по методу			Процентное отношение значения относительно применения нового метода к фактическому значению традиц. метода, %
			традиционному		новому	
			по проекту	по факту	МПУЗ	МПУЗ/факт
Безопасное расстояние по разлету осколков ВГМ для техники и оборудования	$R_{\text{оз.оборуд}}$	м	207,7	235,2	207,7	< 11,7%
Безопасное расстояние по сейсмическому воздействию от взрыва	r_c	м	369,9	391,7	341,7	< 12,8%
Удельный расход ВВ	q	кг/м ³	0,9	1,074	0,71	<33,89%
Выход горной массы с 1 м бурения	g	м ³	32,73	29,07	32,73	> 12,6%

Табл. 10 – Итоговые данные расчета эффективности и безопасности по факту внедрения камуфлетно-скважинного метода

Параметр	усл. обозн.	ед. изм.	Усредненное значение, по методу			Процентное отношение значения относительно применения нового метода к фактическому значению традиц. метода, %
			традиционному		новому	
			по проекту	по факту	КСМ	КСМ/факт
Безопасное расстояние по разлету осколков ВГМ для техники и оборудования	$R_{\text{оз.оборуд}}$	м	220,2	249	50*	< 72,4
Безопасное расстояние по сейсмическому воздействию от взрыва	r_c	м	386,8	416,1	210,3	< 49,5
Удельный расход ВВ	q	кг/м ³	0,9	1,29	0,28	< 78,3
Выход горной массы с 1 м бурения	g	м ³	30	26,64	36	> 35,1
Единичный объем взрывного блока	$V_{\text{с.в.б.}}$	м ³				> в 2 и более раза

*КСМ с применением раздельных укрывных матов

С учетом результатов расчета, представленных в таблицах 10–11, среднегодовой экономической эффект по совокупности трех анализируемых

разрезов («Правобережный», «Эльга», «Буреинский») составил 49,08 руб. на кубический метр. При условии достижения минимального суммарного годового объема ВГМ в размере 40 млн м³ с указанных разрезов (включая 10 млн м³ МГГП и 30 млн м³ мерзлых полускальных пород), минимальный совокупный годовой экономический эффект оценивается в **1,963 млрд руб.** Данные расчеты произведены с учетом индексации цен и транспортных расходов по состоянию на 2025 год, без учета налога на добавленную стоимость.

Анализ эффективности БВР с учетом углубления угольного разреза и внедрения камуфлетно-скважинного метода

Анализ опыта эксплуатации угольных разрезов показывает, что с увеличением глубины разработки усложняются условия производства работ. Это обусловлено ростом объемов вскрышных работ, повышением водонасыщенности пород, уменьшением ширины рабочих площадок уступов и возрастанием сопротивляемости пород взрывному воздействию.

Мерзлые гравийно-галечниковые породы (МГГП) располагаются в верхних частях зоны мерзлых пород, и их традиционная взрывная подготовка к выемке требует более высоких затрат по сравнению с разработкой полускальных пород. Однако применение *камуфлетно-скважинного метода* позволяет оптимизировать затраты на БВР при разработке МГГП, делая их ниже, чем при взрывном дроблении полускальных пород в условиях объекта исследования.

Для оптимизации параметров БВР, учитывая фактор перманентного увеличения глубины угольных разрезов, приобретает особую важность определение экономической оценки, отражающей взаимосвязь между затратами на БВР и ростом глубины разработки разреза, с учётом применения камуфлетно-скважинного метода.

В целях технико-экономической оценки процесса подготовки массива горных пород к выемке взрывным способом за отчетный период и повышения эффективности планирования БВР на будущие периоды, в том числе рационализации единичного объема взрывного блока, в качестве критерия эффективности БВР автором предложен *показатель относительных затрат на БВР в условиях углубления (до 100 м) угольного разреза равнинного типа в зоне мерзлых пород за отчетный период* – $C_{ср.уст.}$, определяемый как средневзвешенное значение номера 10-метрового уступа, считая от дневной поверхности, учитывающее объем ВГМ каждого из слагаемых уступов, для которых рассчитывается данное значение. Расчет показателя осуществляется по формуле:

$$C_{ср.уст.} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{уст} \times V_{ВГМ}}{\sum_{i=1}^n V_{ВГМ}} \quad (8)$$

где $N_{уст}$ – номер 10-метрового уступа, каждому из которых, считая от дневной поверхности, присваивается номер: 1, 2, 3 и т.д. Каждый взрывной блок привязывается к номеру уступа по отметке забоя (дна) самых глубоких скважин соответствующего взрывного блока за вычетом глубины перебура. $V_{ВГМ}$ – объем

взорванной горной массы, привязанный к соответствующему уступу за расчётный период времени.

По итогам исследований на угольном разрезе «Буреинский» АО «Ургалуголь» за период 2015–2019 гг. установлена взаимосвязь между $C_{\text{ср.уст}}$ и удельными операционными затратами на БВР с учетом инфляции (рисунок 21), применение которой позволяет более эффективно планировать себестоимость горно-подготовительных работ, в том числе рациональный единичный объем взрываеваемого массива горных пород, что способствует более эффективному планированию развития БВР в зоне мерзлых пород. При этом увеличение $C_{\text{ср.уст}}$ на 76% влечет за собой рост операционных затрат на БВР на 39% и снижение выхода горной массы с 1 м бурения на 36%.

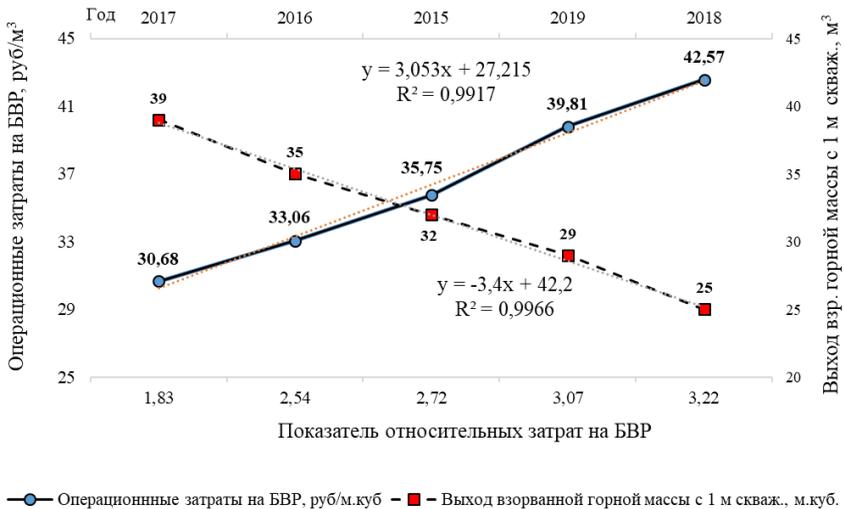


Рис. 21 – Графики зависимости операционных затрат на БВР (в ценах 2015 г.) и выхода горной массы с 1 метра бурения от $C_{\text{ср.уст}}$ на разрезе «Буреинский»

Применение показателя $C_{\text{ср.уст}}$ рекомендуется к внедрению на угольных разрезах равнинного типа в зоне мерзлых пород до глубины разработки 100 м в целях повышения эффективности стратегического и оперативного планирования буровзрывных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертационная работа посвящена решению крупной научной проблемы по разработке инновационных технологий взрывного разрушения массива горных пород для повышения эффективности и безопасности освоения угольных месторождений криолитозоны за счет реализации принципа сохранения проектных параметров буровзрывных работ, имеющей важное значение для развития горнопромышленного комплекса Дальневосточного региона.

Итогом проведенных исследований явились следующие результаты:

1. Выявлены особенности негативного влияния фактора вариативности объема зарядной полости на безопасность и эффективность БВР при обрушении взрывных скважин в зоне мерзлых горных пород и увеличении объема взрывного блока, отражающиеся на: увеличении удельного расхода ВВ и безопасных расстояний (разлет кусков, сейсмическое воздействие); снижении выхода взорванной горной массы с 1 м бурения и качества формирования заряда из наливного эмульсионного ВВ.

2. Для условий Ургальского месторождения разработана технология адаптации параметров БВР к условиям мерзлых полускальных пород, реализуемая оперативным формированием конструкции рассредоточенного заряда, стабилизирующим его проектные параметры, внедрение которой позволяет: снизить безопасные расстояния по разлету кусков и сейсмическому воздействию на 11,7 и 12,8% соответственно; уменьшить удельный расход ВВ на 33,9%; повысить выход горной массы с 1 метра скважины на 12,6%; стабилизировать скорость детонации эмульсионных ВВ; снизить выход негабарита с 7 до 1,5%.

3. Разработан камуфлетно-скважинный метод взрывной подготовки к выемке многолетнемерзлых гравийно-галечниковых пород, предусматривающий повышенный дезинтегрирующий растепляющий эффект за счет инициирования нижней части заряда с задержкой более суток относительно верхней и применения увеличенного (50 и более мс) межскважинного замедления, что позволяет вдвое уменьшить глубину повторного смерзания и увеличить объем взрываемого массива при снижении коэффициента разрыхления и удельного расхода ВВ более чем в 2 раза.

4. Установлена взаимосвязь между изменением скорости детонации скважинного заряда наливного эмульсионного ВВ и условиями его применения на стадиях изготовления ВВ и формирования скважинного заряда, обуславливающая необходимость контроля качества на соответствующих этапах при применении технологий стабилизации параметров заряда для обеспечения устойчивой детонации и гарантии требуемого качества взорванной горной массы при увеличении объема взрывного блока.

5. Обоснованы принципы проведения измерений скорости детонации скважинных зарядов эмульсионных ВВ в комплексе с измерениями скоростей детонации наружных удлиненных зарядов и промежуточных детонаторов, обеспечивающие более полную оценку качества наливных эмульсионных ВВ относительно существующих нормативных методов контроля.

6. Выявлена взаимосвязь между повышением среднеквадратичного отклонения срабатывания детонаторов неэлектрических систем инициирования и снижением температуры окружающей среды, отражающая рост на 0,8–32,5% среднего фактического значения отклонения времени замедления относительно номинала при снижении температуры и имеющая существенное значение для проектирования взрывных сетей и оценки сейсмобезопасности.

7. Для обеспечения допустимого уровня безопасности и эффективности взрывного разрушения массива мерзлых горных пород определена необходимость увеличения суммарного интервала замедления на 60–63%, при которой на 7–50% увеличивается показатель относительной сейсмобезопасности для объектов, находящихся на расстоянии 500–1500 м от взрыва, при взрывании продольными или поперечными зарядами с междурядным и межскважинным замедлением.

8. Установлена взаимосвязь между увеличением глубины взрывных скважин (с 5 до 15 м) и снижением дальности разлета кусков взорванной горной массы на 11–47% относительно нормативных значений, в зависимости от конкретных горно-геологических условий Ургальского угольного месторождения, обуславливающая возможность более корректного расчета безопасных расстояний по данному негативному фактору для механизмов с учетом глубины заложения скважинного заряда.

9. Предложена методика оценки эффективности планирования буровзрывных работ в условиях криолитозоны, учитывающая взаимосвязь между затратами на БВР и углублением разреза, выраженную через показатель относительных затрат, определяемый как средневзвешенное значение номера 10-метрового уступа, отсчитываемого от дневной поверхности, с учетом объема взорванной горной массы каждого уступа, входящего в расчет данного значения, в пределах максимальной фактической глубины горных работ до 100 м.

10. Совокупный годовой экономический эффект от внедрения инновационных технологий БВР в условиях криолитозоны на угольных разрезах Дальневосточного региона по состоянию на 2025 год оценивается в 1,96 млрд руб. (без НДС, с учетом индексации цен и транспортных расходов) при годовом объеме 40 млн м³ (10 млн м³ гравийно-галечниковых и 30 млн м³ полускальных пород).

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:

Издания, рекомендуемые ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ

1. Галимьянов, А. А. Оценка влияния глубины разработки угольных месторождений на основные показатели буровзрывных работ на предприятии "Ургалуголь" / А. А. Галимьянов, А. А. Соболев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 12-1. – С. 69-75. – DOI 10.25018/0236_1493_2021_121_0_69.

2. Соболев, А. А. Анализ изменения технико-экономических показателей буровзрывных работ в зависимости от возрастания глубины разработки угольных

месторождений Дальнего Востока / А. А. Соболев, А. А. Галимьянов // Уголь. – 2022. – № 2(1151). – С. 22-25. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-2-22-25.

3. Галимьянов, А. А. Повышение эффективности процесса подготовки горной массы к выемке за счет применения новых параметров технологии буровзрывных работ / А. А. Галимьянов, А. А. Соболев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 3. – С. 107-121.

4. Черских, О. И. Совершенствование буровзрывных работ на Солнцевском угольном разрезе / О. И. Черских, А. А. Галимьянов, К. В. Гевало // Уголь. – 2022. – № 7(1156). – С. 45-52. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-7-45-52.

5. Факторы, влияющие на скорость детонации заряда взрывчатого вещества / А. А. Галимьянов, Д. Е. Герасимов, К. В. Гевало [и др.] // Уголь. – 2022. – № 11(1160). – С. 55-61. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-11-55-61.

6. Фактор увеличения объема взрывного блока / А. А. Галимьянов, Е. Б. Шевкун, А. Р. Кабиров, Е. Н. Казарина // Уголь. – 2023. – № 10(1172). – С. 104-108. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-10-104-108.

7. Влияние межскважинных замедлений на уровень сейсмобезопасности с учетом отклонения времени срабатывания детонаторов / А. А. Галимьянов, А. В. Рассказова, И. В. Корнеев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – № 3. – С. 69-79.

8. Влияние эмульсионных взрывчатых веществ на скорость детонации скважинного заряда / В. И. Мишнев, А. Ю. Плотников, А. А. Галимьянов [и др.] // Горная промышленность. – 2022. – № 6. – С. 69-73.

9. Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов / О. И. Черских, А. А. Галимьянов, С. И. Корнеева, В. И. Мишнев // Уголь. – 2023. – № 5(1167). – С. 50-54. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-5-50-54.

10. Влияние параметров промежуточного детонатора на скорость детонации смесевых взрывчатых веществ / А. А. Галимьянов, К. А. Рудницкий, К. В. Гильденбрант [и др.] // Горная промышленность. – 2023. – № 3. – С. 130-133. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-130-133.

11. Методика обеспечения качества заряда наливного эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных скважинах / А. А. Галимьянов, О. И. Черских, А. В. Рассказова [и др.] // Уголь. – 2024. – № 1(1176). – С. 100-108. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-1-100-108.

12. Совершенствование процесса подготовки горной массы к выемке на Солнцевском угольном разрезе / А. А. Галимьянов, О. И. Черских, И. Ю. Рассказов [и др.] // Уголь. – 2024. – № 3(1178). – С. 104-109. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-3-104-109.

13. Обоснование рациональных параметров рабочей зоны при отработке разреза "Бурейнский" / А. Б. Исайченков, Е. И. Леонов, А. В. Кутовой [и др.] // Уголь. – 2020. – № 11(1136). – С. 22-28. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-11-22-28.

14. Исследование влияния внедрения валовой технологии разработки на разубоживание наклонных угольных пластов сложного строения / Е. Б. Шевкун,

А. В. Лещинский, А. И. Добровольский [и др.] // Уголь. – 2019. – № 6(1119). – С. 16-21. – DOI 10.18796/0041-5790-2019-6-16-19.

15. Рациональные параметры технологических схем подготовки горных пород к селективной выемке при разработке наклонных и пологих угольных пластов / А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов, Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский // Уголь. – 2016. – № 2(1079). – С. 30-35. – DOI 10.18796/0041-5790-2016-02-30-34.

16. Совместная разработка сближенных пологих каменноугольных пластов в разнопрочных и мерзлых вмещающих породах / А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов, Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский // Уголь. – 2015. – № 12(1077). – С. 34-39. – DOI 10.18796/0041-5790-2015-12-34-38.

17. Совершенствование взрывных работ на разрезе "Буреинский-2" ОАО "Ургалуголь" / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов // Уголь. – 2014. – № 1(1054). – С. 11-14.

18. Рациональные технологические схемы подготовки горных пород к селективной выемке при добыче наклонных и пологих угольных пластов / А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов, Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 11. – С. 174-179.

19. Добровольский, А. И. Совершенствование параметров взрывных работ в АО "Ургалуголь" / А. И. Добровольский, Г. Л. Феофанов, А. А. Галимьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S38. – С. 31-35. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-38-31-35.

20. Совершенствование конструкции заряда в условиях разреза "Буреинский" / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. А. Галимьянов, А. И. Добровольский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. – С. 337-340.

21. Разработка группы угольных пластов с валовым взрывным рыхлением вскрышных пород / А. А. Галимьянов, А. И. Добровольский, Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-1. – С. 424-432.

22. Технология выемки наклонных угольных пластов в АО "Ургалуголь" / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, С. Н. Иванченко, А. А. Галимьянов // Горный журнал. – 2018. – № 10. – С. 43-48. – DOI 10.17580/gzh.2018.10.08.

23. Шевкун, Е. Б. Управление буровзрывным дроблением скальных пород зарядами с воздушными полостями / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. А. Галимьянов // Горный журнал. – 2016. – № 2. – С. 66-69. – DOI 10.17580/gzh.2016.02.13.

24. Галимьянов, А. А. Применение камуфлетно-скважинного взрывания для дробления вечномерзлых гравийно-галечниковых пород на угольных разрезах / А. А. Галимьянов, В. И. Мишнев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2025. – № 1. – С. 100-108. – DOI 10.15372/FTPRPI20250109.

25. Галимьянов, А. А. Совершенствование технологии открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений / А. А. Галимьянов, А. Ю. Чебан // Маркшейдерия и недропользование. – 2021. – № 5(115). – С. 33-36.

26. Влияние параметров БВР на скорость детонации заряда взрывчатых веществ / А. А. Галимьянов, Д. Е. Герасимов, В. И. Мишнев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 9. – С. 268-274. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-9-268-274.

27. Галимьянов, А. А. Рациональный объем массового взрыва при разработке карьеров / А. А. Галимьянов, В. И. Мишнев // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2025. – № 3(79). – С. 102-105. – DOI 10.19110/1994-5655-2025-3-102-105

28. Галимьянов, А. А. Уточнение актуальности скважинной забойки / А. А. Галимьянов, Е. Н. Казарина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 2(168). – С. 94-100. – DOI 10.26730/1999-4125-2025-2-94-100.

29. Галимьянов, А. А. Методический подход к совершенствованию буровзрывных работ в условиях криолитозоны на примере Эльгинского каменноугольного месторождения / А. А. Галимьянов, В. И. Мишнев // Уголь. – 2025. – № 7(1195). – С. 116-118. – DOI 10.18796/0041-5790-2025-7-116-118.

30. Галимьянов, А. А. Адаптация параметров буровзрывных работ к условиям разработки угольных месторождений Дальнего Востока в зоне мерзлых пород / А. А. Галимьянов, В. И. Мишнев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2025. – № 6. – С. 131-145. – DOI:10.15372/FTPRI20250614.

Монографии и учебные пособия:

30. Галимьянов А.А. Совершенствование технологий буровзрывных работ на угольных разрезах Дальневосточного региона. Хабаровск: ООО «Амурпринт», 2025. – 293 с.

31. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Добровольский А.И., Галимьянов А.А. Разработка сближенных наклонных пластов каменного угля в разнопрочных и мерзлых вмещающих породах. Москва: Горная книга, 2019. – 256 с.

Патенты РФ и охранные документы:

32. Патент № 2820793 С1 Российская Федерация, МПК E21C 37/16, F42D 3/04. Способ измерения скорости детонации скважинного заряда при прямом инициировании : заявл. 18.05.2023 : опубл. 10.06.2024 / Ал. А. Галимьянов, А. А. Галимьянов, Н. П. Хрунина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

33. Патент на полезную модель № 219376 U1 Российская Федерация, МПК G12B 17/08, H05K 7/20. Взрывозащитный термоконтейнер : № 2023109811 : заявл. 17.04.2023 : опубл. 13.07.2023 / Ал. А. Галимьянов, Ан. А. Галимьянов, Н. П. Хрунина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

34. Патент на полезную модель № 214622 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08, F42D 1/22. Контейнер для защиты эмульсионного боевика : № 2022112846 : заявл. 12.05.2022 : опубл. 08.11.2022 / Ал. А. Галимьянов, К. В. Гевало, В. И. Мишнев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

35. Патент на полезную модель № 214666 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08, F42D 1/18, F42D 3/04. Устройство для дифференцирования скважинного заряда : № 2022112111 : заявл. 04.05.2022 : опубл. 09.11.2022 / А. А. Галимьянов, В. И. Мишнев, К. В. Гевало [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

36. Патент на полезную модель № 230264 U1 Российская Федерация, МПК G08B 13/196, H05K 5/00. Кейс защитный для видеокамеры : заявл. 14.02.2024 : опубл. 25.11.2024 / Ал. А. Галимьянов, Ан. А. Галимьянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

37. Патент № 2678245 C1 Российская Федерация, МПК F42D 3/04, F42D 1/08. Способ взрывного разрушения мерзлых горных пород : № 2018114579 : заявл. 19.04.2018 : опубл. 24.01.2019 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тихоокеанский государственный университет", Акционерное общество "Ургалуголь".

38. Патент на полезную модель № 175829 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08. Устройство для рассредоточения скважинных зарядов : № 2017107656 : заявл. 07.03.2017 : опубл. 21.12.2017 / А. А. Галимьянов.

39. Патент № 2600474 C1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08, F42D 1/10, B65G 65/30. Заблочная машина для формирования короткой комбинированной забойки взрывных скважин с каменным материалом : № 2015113100/03 : заявл. 09.04.2015 : опубл. 20.10.2016 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тихоокеанский государственный университет".

40. Патент на полезную модель № 147959 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08. Устройство для создания воздушных камер в скважинных зарядах : № 2014128014/03 : заявл. 08.07.2014 : опубл. 20.11.2014 / А. А. Галимьянов.

41. Патент на полезную модель № 135112 U1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08. Удерживающее устройство для полимерного рукава : № 2013122903/03 : заявл. 17.05.2013 : опубл. 27.11.2013 / А. А. Галимьянов.