

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук»
Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук

На правах рукописи

Максимов Михаил Саввич



ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И РАЦИОНАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАЦИИ ДРАГЛАЙНОМ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
ГОРНЫХ ПОРОД, СКЛОННЫХ К ПОВТОРНОМУ СМЕРЗАНИЮ
(на примере разреза «Кангаласский»)

Специальность 2.8.8. «Геотехнология, горные машины»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
канд. техн. наук.
С. В. Панишев

Якутск – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА.....	12
1.1 Исследования современного представления о процессе смерзания горных пород.....	12
1.2 Исследования по предотвращению смерзания горной массы.....	18
1.3 Влияние смерзания горной массы на эффективность бестранспортной системы разработки месторождений криолитозоны.....	20
Выводы	23
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОРОДЫ В ЗАБОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДРАГЛАЙНА ПРИ ЭКСКАВАЦИИ СМЕРЗАЮЩЕЙСЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ.....	26
2.1 Натурные исследования изменения температурного режима в массиве и развале многолетнемерзлых горных пород.....	26
2.2 Влияние температурного режима породы в забое драглайна на его производительность при экскавации взорванной смерзающейся горной массы.....	37
2.3 Исследование гранулометрического состава взорванной горной массы в экскаваторном забое в условиях повторного смерзания.....	41
2.4 Оценка влияния гранулометрического состава взорванных многолетнемерзлых горных пород на производительность драглайна в условиях повторного смерзания.....	49
2.5 Исследование влияния параметров забоя и технологической схемы отработки блока на производительность драглайна в условиях повторного смерзания взорванной горной массы.....	52
Выводы	58

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ТРУДНОСТИ ЭКСКАВАЦИИ ВЗОРВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД, СКЛОННЫХ К ПОВТОРНОМУ СМЕРЗАНИЮ.....	60
3.1 Методика исследования прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез.....	60
3.2 Результаты лабораторных исследований прочности смерзшихся горных пород на срез и оценка показателя трудности экскавации взорванных горных пород	77
Выводы	84
ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ И ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА (ВЕСНА-ЛЕТО, ОСЕНЬ-ЗИМА).....	86
4.1 Рекомендации по выбору и обоснованию рациональных технологических параметров разработки массива взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию для условий разреза «Кангаласский».....	86
4.2 Способ разработки смерзающихся вскрышных пород в весенне-летний период.....	90
4.3 Устройство для снижения негативного влияния процесса повторного смерзания взорванной горной массы в условиях криолитозоны.....	96
Выводы	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Республика Саха (Якутия) – важнейший горнодобывающий регион Российской Федерации, где ведется разработка месторождений полезных ископаемых в суровых природно-климатических условиях в зоне многолетней мерзлоты. Для таких месторождений характерна отрицательная температура горных пород, предопределяющая их повышенную прочность и необходимость предварительного буровзрывного рыхления. При этом процесс экскавации осложняется повторным смерзанием взорванной горной массы, особенно, в весенне-летний период, что существенно снижает производительность экскаватора, вплоть до полной его остановки по причине невозможности черпания горной массы. В научной литературе вопросам, касающимся совершенствования бестранспортной разработки пластовых месторождений в части повышения производительности драглайнов уделено достаточно много внимания, но, в большинстве случаев, это касается условий разработки месторождений умеренных широт, а не зоны распространения многолетней мерзлоты. При экскавации же взорванных многолетнемерзлых горных пород (ММГП), склонных к повторному смерзанию, температурный режим развала и окружающей среды, от которых зависит прочность смерзания горной массы, не одинаков в различные периоды года, что, в конечном счете, сказывается на работе экскаватора при производстве вскрышных работ. Таким образом, обоснование производительности драглайна и рациональных параметров экскавации смерзающихся взорванных горных пород с учетом изменения их температуры и влажности в разные периоды года (весна-лето; осень-зима) в условиях разработки месторождений криолитозоны является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение.

Степень разработанности темы. Изучением вопроса совершенствования бестранспортной разработки пластовых месторождений в части повышения

производительности драглайнов занимались К. В. Сташко, К. А. Стариков, В. Erdem, P. Rai, N. Demirel, В. Г. Проноза, И. А. Леоненко, С. В. Панишев и др.

Для бестранспортной системы разработки месторождений основные направления исследований связаны с совершенствованием существующих и разработкой новых технологических схем, оптимизацией параметров, как драглайна, так и взрывных работ, увеличением высоты вскрышных уступов, модернизацией конструкции, механизмов и рабочего органа драглайна, а также автоматизацией технологического процесса экскавации. Однако большинство этих исследований проводились и проводятся применительно к месторождениям, расположенным вне зоны многолетней мерзлоты и конкретных данных по обоснованию рациональных параметров экскавации взорванного массива ММГП в литературе не известно. Из последних работ можно отметить способ разработки, предложенный Панишевым С. В. для бестранспортной технологии вскрышных работ. Этот способ, включающий ограничение длины экскаваторного блока и специальную организацию работ, заключающуюся в перемещении пород предотвала в конечный контур отвала сразу после окончания работ на первой заходке, позволяет снизить влияние повторного смерзания взорванной горной массы на работу драглайна.

Первые теоретические и экспериментальные исследования процесса смерзания горных пород были проведены советскими учеными Н. А. Цытовичем и И.С. Волождиной. Последователями и продолжателями изучения этого вопроса были М. Н. Гольдштейн, А. А. Пчелинцев, А. В. Садовский, С. С. Вялов, Л. Т. Роман, М. Н. Царапов, С. С. Волохов и др. При обзоре современного состояния вопроса мало работ, касающихся лабораторных и натурных исследований прочности повторного смерзания горной массы в зависимости от температуры, влажности, гранулометрического состава и плотности упаковки горной массы, что, в конечном счете, оказывает влияние на производительность драглайна при экскавации взорванных смерзающихся горных пород месторождений криолитозоны.

Исследования по теме проводились в рамках этапов плановых НИР ИГДС СО РАН: проект VII.60.4.2. «Разработка основ новых геотехнологий эффективного освоения месторождений кластерного строения в условиях криолитозоны» (№ гос. рег. 01201050749, 2008-2012 гг.); проект «Исследование и разработка эффективных конструктивных и технологических параметров подземной и открытой геотехнологии, методов освоения недр криолитозоны» (№0382-2016-0001, 2013-2020 гг.); проект VIII.74.5.2. «Разработка и обоснование нетрадиционных, ресурсосберегающих элементов инновационных технологий и методов комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Севера» (№ гос. рег. 01201362424, 2014-2016 гг.); проект РФФИ «Экспериментальное и теоретическое исследование вторичного смерзания взорванных горных пород на карьерах Севера» (№ 12-05-98503-р_восток_a, 2012-2014 гг.).

Объект исследования: бестранспортная разработка пластовых месторождений криолитозоны.

Предмет исследования: производительность драглайна и параметры экскавации смерзающейся взорванной горной массы месторождений криолитозоны.

Идея работы заключается в учете температурного режима и характера изменения гранулометрического состава породы в забое при обосновании (прогнозе) производительности драглайна и рациональных параметров экскавации взорванных ММГП, склонных к повторному смерзанию в различные периоды года.

Цель работы: Обоснование производительности драглайна и рациональных параметров экскавации взорванных ММГП, позволяющих снизить негативное влияние процесса их повторного смерзания на эффективность бестранспортной системы разработки.

Основные задачи исследований:

- провести анализ современного состояния вопроса процесса смерзания горных пород, его влияния на технологию и параметры бестранспортной системы разработки;

- исследовать особенности формирования температурного режима породы в забое драглайна при экскавации взорванной смерзающейся горной массы в разные периоды года и обосновать зависимость производительности драглайна от температуры пород в забое в течение календарного года;

- исследовать гранулометрический состав пород в развале и забое драглайна в зависимости от температурного режима пород и установить его влияние на производительность экскаватора в течение календарного года;

- исследовать влияние параметров забоя и технологической схемы отработки блока на производительность драглайна в условиях повторного смерзания взорванной горной массы;

- разработать специализированный стенд и провести исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, для оценки показателя трудности их экскавации и обосновать условия эффективного применения бестранспортной технологии при открытой разработке месторождений криолитозоны.

- разработать рекомендации по рациональным параметрам и технологии ведения вскрышных работ в разные периоды года (весна-лето, осень-зима), обеспечивающих снижение негативного влияния процесса повторного смерзания взорванной горной массы на эффективность бестранспортной технологии при открытой разработке месторождений криолитозоны.

Методы исследований: анализ и обобщение литературных источников по теме исследований, натурные и лабораторные исследования, математическое моделирование, статистическая обработка результатов исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование производительности и выбор параметров экскавации, обеспечивающих эффективную выемку смерзающейся взорванной горной массы в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны, необходимо производить с учетом изменения температуры и влажности горной массы в экскаваторном забое и массиве ММГП, гранулометрического состава породы в забое, а также схемы отработки блока и параметров забоя в разные периоды производства горных работ (весна-лето, осень-зима).

2. Методика оценки показателя трудности экскавации, учитывающая изменение прочности смерзшихся вскрышных пород на срез на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, в зависимости от его температуры, влажности, гранулометрического состава и плотности упаковки, позволяющая обосновать условия эффективного применения бестранспортной технологии при разработке взорванных ММГП, склонных к повторному смерзанию.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлены особенности формирования температурного режима в развале взорванных ММГП в разные периоды года (весна-лето, осень-зима). Показано, что в весенне-летний период температура поверхностного слоя отбитых кусков навала зависит от хладозапаса, накопленного в зимний период и величины солнечной инсоляции, а в осенне-зимний период – от тепловой инерции массива, разогретого летом и воздействия низких температур окружающего воздуха;

- впервые выявлена зависимость производительности драглайна от температурного режима породы в забое и размера среднего куска при последовательном обнажении забоя в условиях повторно смерзающихся взорванных пород на месторождениях криолитозоны. Экспериментально установлено, что гранулометрический состав взорванных ММГП имеет непосредственную связь с их температурой в массиве.

- предложена эффективная технология экскавации драглайном взорванного массива ММГП с послойным снятием растепленного слоя породы по длине экскаваторного блока, обоснованная результатами моделирования температурных полей, показывающими упорядоченный характер послойного распространения температуры по всей длине взорванного блока;

- экспериментально установлено, что прочность на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП, растет с понижением температуры, а также с увеличением влажности и плотности упаковки. Гранулометрический состав при минимальных значениях влажности (10%) и температуры (-5°C) не оказывает существенного влияния на прочность на срез, а при максимальных значениях температуры (-15°C) и влажности (15%) прочность на срез снижается в зависимости от увеличения размера включений.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается компьютерным и физическим моделированием, большим объемом экспериментальных и натуральных измерений, полученных с применением разработанной методики исследований, сходимостью результатов экспериментальных и натуральных исследований, относительное расхождение которых не превышает 10-15%.

Практическая значимость работы заключается в обосновании производительности драглайна и рациональных параметров экскавации взорванных смерзающихся вскрышных пород в условиях месторождений криолитозоны в различные периоды года, а также разработке методики оценки показателя трудности экскавации, что позволило обосновать область эффективного использования шагающего экскаватора для условий эксплуатации Кангаласского месторождения угля.

Реализация результатов работы. «Рекомендации по выбору и обоснованию рациональных технологических параметров разработки массива взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию» переданы для использования на разрезе «Кангаласский» филиал АО ХК «Якутуголь».

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании горнодобывающих предприятий, открытой разработке пластовых месторождений в зоне многолетней мерзлоты с использованием бестранспортной технологии, а также в учебном процессе по специальности «Открытые горные работы».

Личный вклад автора. Представленные в диссертационной работе лабораторные и натурные результаты выполнены с участием автора. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах исследований по постановке задач, разработке и созданию оригинального стенда, разработке методики прочности образцов смерзшихся вскрышных пород на срез, обработке и анализе полученных результатов натуральных и лабораторных исследований, разработке предложений (рекомендаций) по снижению влияния процесса повторного смерзания ММГП на эффективность бестранспортной технологии

Апробация: Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах и ученом совете ИГДС СО РАН, научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов ИГДС СО РАН «Проблемы горной науки: взгляд молодых ученых» (Якутск, 2012, 2014), научно-технической конференции «Современные проблемы теплофизики и теплоэнергетики в условиях Крайнего Севера» (Якутск, 2017), Всероссийских научно-практических конференциях «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России» (Якутск, 2019, 2021), Всероссийской научной конференции с международным участием «Научно-технические проблемы и технологии освоения месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах горных работ» (Новосибирск, 2022).

Публикации: Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 18 печатных работах, из них 11 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи входят в

международную базу данных Scopus. Получено 2 патента РФ на изобретения. В прочих научных изданиях – 3.

Объем и структура диссертации: Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 152 наименований и 4 приложений, содержит 125 страниц машинописного текста, в том числе 32 рисунка, 19 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю к.т.н. Панишеву С. В., д.т.н. Ткачу С. М., к.т.н. Зубкову В. П., к.т.н. Буракову А. М., к.т.н. Каймонову М. В. за полезные замечания и консультации, а также всему коллективу лаборатории открытых горных работ ИГДС СО РАН.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА

1.1 Исследования современного представления о процессе смерзания горных пород

Смерзание горных пород это процесс перехода из одного состояния в другое, если более простыми словами то, переход из рыхлого состояния в твердое состояние, при понижении температуры ниже 0°C и при других подходящих погодных условиях. Поэтому для начала развития процесса смерзания достаточно незначительной отрицательной температуры в куске породы, весьма близкой к 0°C [1].

Смерзание горных пород в горнодобывающей промышленности осложняет хранение, погрузку, транспортировку и разгрузку различных сыпучих и кусковатых материалов. При этом различают собственное смерзание минеральных масс, которое приводит к потере их сыпучести, и проявляется после буровзрывной подготовки мерзлых горных пород, а также смерзание минеральных масс с поверхностями транспортных средств и рабочими органами горной техники.

Основоположниками в исследовании смерзания (примерзания) пород к различным материалам можно считать Н. А. Цытовича и И. С. Вологдину [2, 3], которые впервые провели испытания мерзлых образцов. Последователи и продолжатели изучения этого процесса были М. Н. Гольдштейн, А. В. Садовский и С. Э. Городецкий С. С. Вялов и др. [4-11]. Впервые были сконструированы установки двух типов, для определения прочности смерзания в лабораторных условиях. Одноплоскостной (срезной) прибор ПРС конструкции НИИ оснований, разработанный А. В. Садовским и С. Э. Городецким, а также прибор типа ВСВ для кратковременных опытов с пластично-мерзлыми породами относится к первому типу, а для испытания по второму типу обычно используются приборы разработанные и применяемые Н. А. Цытовичем А. А., Пчелинцевым, И. Н.

Вотьяковым и Е. Ф. Ермаковым. Принцип действия второго типа установок основывается на продавливании или выдергивании модели фундамента, смороженного с породой.

Большинство исследований было сфокусировано на физико-механических и динамических свойствах мерзлых грунтов, а также влиянии основных характеристик состава, физических свойств, и температурного режима на формирование деформаций и прочности. Влияние физико-механических свойств мерзлых пород определяется, с одной стороны, их составом и сложением горной породы, с другой, - зависят от воздействия таких внешних факторов или условия протекания процесса смерзания (температура, влажность, вид напряженного состояния, величина и время действия нагрузки).

Процесс смерзания характеризуется фазовым переходом влаги из одного состояния в другое, например превращение влаги в лед. Основные фазовые переходы влаги происходят в интервале температур от 0 до -1°C . Это обуславливает значительные изменения эффективной теплоемкости при колебании температуры в указанном диапазоне, а также оказывает существенное влияние на прочностные и деформативные свойства мерзлых пород. Установлено, что при температуре ниже -3°C влага в жидкой фазе в исследованных горных породах содержится лишь в виде пленок прочносвязанной воды, поэтому при колебаниях температуры ниже -3°C значения коэффициента теплопроводности и эффективной теплоемкости остаются практически постоянными. [10]. Смерзание контактирующих частиц обусловлено в первую очередь кристаллизацией приграничной фазы, а затем и свободной воды и сопровождается образованием новой поверхности раздела между взаимодействующими частицами. В процессе образования новой фазы – ледяной прослойки на контакте мерзлый грунт – твердое тело. Толщина ледяной прослойки может быть различной – от нескольких микрон до 2-3 мм. Контактная зона упрочняется, если инородная поверхность полностью смачивается водой [11]. Изучая динамику образования льда на контакте смерзающихся частиц, Бороздин В. С. [12] установил, что

льдообразование происходит скачкообразно в стороны менее связанной и более связанной воды. Вода на контакте минеральных частиц под влиянием поверхностных силовых полей претерпевает глубокие физико-химические и энергетические изменения.

Изучение прочностных характеристик мерзлых пород и грунтов при разных методах лабораторного испытания стали важным составляющим при раскрытии механики мерзлых грунтов и пород [13-16]. Тютюнов И. А. [13] отметил, что смерзание любых тел происходит вследствие смачивания их водой и является основой формирования прочности. Максимальное смерзание твердых тел происходит при $\delta_{т.ж}=0$. Существенное упрочнение промерзающих грунтов начинается с момента замерзания в них воды. Энергия, затраченная на работу кристаллов льда, является мерой этого упрочнения.

В работе И. Б. Савельева [14] установлено, что прочность смерзания при отрыве зависит от размера кристаллов льда. Так, при сжатии мелкокристаллического льда ($d < 1$ мм) прочность при температуре -10°C составляла 5,2 МПа, тогда как крупнозернистый лед ($d > 5$ мм) имел прочность 3,2 МПа.

За последнее 20-летие в это направление исследований существенный вклад внесли такие авторы как, Васильев С. И., Волохов С. С., Коновалов А. А., Царапов М. Н. [17-20] и особенно Л. Т. Роман – автор и соавтор 150 печатных трудов в области механики мерзлых грунтов и фундаментостроения [21, 22 и др.]. Так, С. С. Волохов [19] исследовал прочность смерзания грунта с различными материалами, а в последние годы плотно занимается термореологией мерзлых, промерзающих и протаивающих пород, в частности исследованием механокалорического эффекта в мерзлых грунтах. Интересные результаты по механизму разрушения мерзлых грунтов во взаимосвязи с фазовыми переходами грунтовой влаги получены А. А. Коноваловым [20].

Следует отметить, исследования китайских ученых, которые плотно занимаются изучением механики мерзлых грунтов с 1960 года. В последние

десятилетия из-за увеличения объема инженерных работ по строительству железной и автомобильной дороги на Цинхай-Тибетском нагорье и Голмуд-Лхасской нефтепроводной трубы, построенных в районах замерзшей почвы, изучение свойств материала мерзлых грунтов в Китае развивается быстро. Получены многочисленные результаты исследований физико-механических свойств мерзлого грунта, теплофизических свойств, а также прочностных и деформационных характеристик при испытании мерзлых грунтов. Предложены различные критерии прочности для оценки влияния температуры и содержания крупнозернистого материала на прочностные свойства мерзлых грунтов и для описания механизма разрушения мерзлого песка в общем напряженном состоянии. Одним из интересных исследований является создание Инженерной системы мерзлого грунта (FSES), которая включает в себя взаимосвязь, взаимозависимость и взаимодействие атмосферы, инженерного сооружения и мерзлого грунта. Инженерная система для мерзлых грунтов представляет собой функциональную совокупность взаимодействий между природными и искусственными объектами в районах вечной мерзлоты, которая в качестве научно-логической методологии создана для решения проблемы инженерии в мерзлых грунтах. Основной целью FSES является устранение негативного воздействия человеческого общества, которое было связано с динамическими изменениями между проектированием и мерзлыми грунтами [23-26].

Процесс вторичного смерзания взорванных мерзлых пород начинается сразу после взрыва, однако его продолжительность, во время которой развал горной массы набирает прочность и при которой его дальнейшая разработка невозможна, зависит от времени года. Смерзаемость взорванной горной массы в летний период протекает в 1,5-2 раза интенсивнее, чем зимой. Результаты проведенных исследований авторов [27, 28] подтвердили тот факт, что процесс смерзания пород определяется их температурой в массиве до взрыва, наличием на поверхности кусков оттаявшего слоя, образующегося в результате взрыва. Оттаявший слой на поверхности кусков появляется по двум причинам:

- Во-первых, при нарушении целостности массива часть энергии взрыва расходуется на трещинообразование с разрушением межмолекулярных водородных связей льда, сопровождающееся выделением некоторого количества тепла. В результате лед превращается в воду, которой и смачивается поверхность кусков мерзлых пород [29].

- Во-вторых, при взрыве наблюдается вынужденная конвекция газообразных продуктов взрыва, имеющих температуру около 2000°C , образующимся трещинам, что приводит к нагреву поверхностей кусков. Происходит конвективный теплообмен играющий значительную роль в механизме теплопередачи [30].

Существует несколько точек зрения, как происходит процесс смерзания. В навале взорванной массы куски породы контактируют друг с другом, причем число контактов в любом сечении навала определяется в основном формой частиц и их гранулометрическим составом. При этом в процессе теплообмена куски породы смерзаются по площадкам контакта. Поэтому важным показателем является соотношение размеров площадок контакта и самих кусков породы. Куски породы по площадям контакта смерзаются в результате теплообмена между контактными и внутренними слоями кусков, а также с окружающей средой. При этом куски породы, находящиеся на поверхности навала, в основном взаимодействуют с наружной средой, а внутренние куски – со средой порового пространства навала [31]. М. В. Каймонов, В. И. Попов, А. С. Курилко [32] утверждают, что вторичное смерзание отбитой горной массы происходит за счет того, что в образовавшийся навал (в пустоты между мерзлыми кусками) проникает извне влага в виде воды или пара, которая замерзает за счет аккумулированного в кусках отбитой породы холода, превращая, таким образом, отбитую горную массу в смерзшийся монолит. Смерзание произойдет уже при весовой влажности $3\div 5\%$ и прочность отбитой породы может достигать при этом до $0,5\div 1,5$ МПа, при полном заполнении пор взорванной породы льдом прочность может достигать $10\div 20$ МПа. В своей работе [33] Скуба Л. П. отмечает, что

процессы смерзания влажных дисперсных материалов являются сложными и характеризуются большим количеством различных факторов. Основные факторы, определяющие прочность смерзания дисперсной минеральной массы, это исходная влажность материала, его температура, температура окружающего воздуха, а также продолжительность воздействия последней. Промерзание пород сопровождается миграцией в них свободной воды, при этом закономерности процесса перераспределения влаги своеобразны. Если при влажности 5% миграция практически отсутствует, то с увеличением – наблюдается интенсификация влагопереноса к фронту промерзания. Автор предлагает дисперсную смерзшуюся массу рассматривать как композиционный материал (аквакомпозит), который образуется из льда и пород. Обобщая вышеприведенные исследования в натуральных и лабораторных условиях, а также с учетом результатов экспериментальных исследований прочности смерзания горных пород [34, 35] можно сделать вывод, что смерзание горных пород в первую очередь зависит от температуры и влажности горных пород и окружающей среды.

В литературных источниках встречаются исследования влияния на процесс смерзания таких факторов, как приконтактный слой; теплофизические, физико-механические и физико-химические свойства мерзлых горных пород. В работе [36] авторы В. А. Ермичев, А. А. Булыгин, Г. Ф. Петрушкин определили влияние влажности на прочностные характеристики различных материалов. Также установлено, что различные материалы имеют различную начальную влажность смерзания, температуру, и влажность насыщения. Установлено, что прочностные характеристики растут до определенной величины.

В своих исследованиях Ершова Э. Д. рассматривал теплофизические критерии процесса смерзания, влияние различных факторов на изменение теплофизических свойств мерзлых пород, а также привел теоретические основы комплексного метода определения температурной зависимости количества незамерзшей воды [37]. В работе Каймонова М. В. рассматривается решение

задачи предотвращения смерзания руды, на основе изучения законов и особенностей тепло- и массообмена в очистных блоках [38].

1.2 Исследования по предотвращению смерзания горной массы

Помимо изучения влияния тех или иных факторов на процесс смерзания значительное количество работ касаются исследований предотвращения смерзания горных пород. В России, как и за рубежом в зависимости от условий разработки и экономических соображений применяют разнообразные технологические методы и оборудование для борьбы со смерзанием [39-46].

Одним из методов решения такой задачи является безвзрывное разупрочнение массива горных пород, который относится к экологически чистым ресурсосберегающим технологиям. Суть метода заключается в понижении прочностных характеристик массивов горных пород, подлежащих последующей экскавации, за счет использования водных растворов поверхностно-активных веществ [47, 48].

Широкое распространение в борьбе против смерзания и примерзания горных пород получили химические профилактические средства, которые, в зависимости от их свойств воздействуют на агрегатное состояние воды. Так гидрофильные значительно снижают температуру замерзания воды, а гидрофобные – способствуют удалению части влаги с поверхности кусков породы за счет уменьшения сил поверхностного натяжения применением поверхностно-активных веществ (ПАВ) – (эффект Ребиндера) [49]. Особенность эффекта определяется избирательностью действия ПАВ, для которого необходимо внимательно выбирать оптимальную концентрацию активных растворов исходя из определенных горно-геологических условий.

В исследованиях Латышева О. Г. [50, 51] отмечено, что растворы ПАВ можно использовать для повышения эффективности всех процессов горной технологии, связанных с разрушением горных пород. В своих работах они

установили, что действие поверхностно-активной среды снижает прочность скальных пород от 30 до 70%, а также уменьшает модуль и предел упругости в среднем в 1,3...1,5 раза. В научной литературе описано использование ПАВ для эффективного бурения в нефтяных скважинах, для уменьшения запыленности в шахтах и карьерах и разупрочнение горных пород разной крепости, который способствует снижению трудности разрушения горных пород при их бурении взрывании и выемки [52-57].

Существует ряд работ, в которых исследовано применение растворов ПАВ для разупрочнения горных пород [58-62]. Так, проведенными экспериментами [59] установлено, что применение растворов ПАВ (Na_2CO_3 , NaCl и $\text{AlCl}_3\text{J}_6\text{H}_2\text{O}$) позволяет снизить прочность мерзлых дисперсных пород в несколько раз, при этом наибольшее снижение прочности образцов происходит при применении трехпроцентного раствора $\text{AlCl}_3\text{J}_6\text{H}_2\text{O}$. Это позволит вести безвзрывную разработку угля с применением современного горнодобычного оборудования на Кангаласском бурогольном месторождении. В другой работе [60] автор предлагает раствор NaCl для предварительного разупрочнения вскрышных пород Эльгинского угольного месторождения в условиях отрицательных температур. Установлено, что при использовании такого раствора ПАВ при отрицательной температуре до -20°C прочность образцов на сжатие снижается на 30-50%, а прочность на растяжение уменьшается на не менее 50%. Тем самым отмечают, что при условии использования растворов ПАВ, для разупрочнения крепких пород Эльгинского месторождения, можно эффективно использовать роторные комбайны типа KSM.

На Талдинском угольном месторождении при пропитке массива раствором ПАВ через сеть скважин $1,3 \times 1,3$ м в течение двух суток прочность на сжатие снизилась у аргиллитов и алевролитов с 90 до 70 МПа, а у мелкозернистых песчаников — с 93 до 60 МПа [61]. В работе Чебана А. Ю. проведен анализ использования ПАВ в горном деле и приведены результаты экспериментальных исследований по разупрочнению образцов скальных пород. Установлено, что

использование водного раствора ПАВ снижает прочность сжатия на 21–42%, растяжение – на 26–41%, что позволяет перевести скальные породы средней трудности разрушения в класс легко разрушаемых скальных [62].

В качестве примеров можно привести способ предохранения грунтов Восточно-Сибирского региона от сезонного промерзания с использованием инновационных материалов, предложенный С. И. Васильевым и В. М. Мелкозеровым [63]; запатентованное устройство для предотвращения смерзания, которое может быть использовано при открытой разработке месторождений криолитозоны с предварительной взрывной подготовкой пород к выемке; запатентованная профилактическая смазка для предотвращения прилипания и примерзания вскрышных горных пород к поверхностям горнотранспортного оборудования, а также смерзания вскрышных горных пород в своей массе.

Таким образом, использование ПАВ при подготовке пород к разрушению (бурению, экскавации, рыхлению) позволяет повысить эффективность применения горной техники, продлить сроки их эксплуатации в процессах горного производства и является одним из экологически безопасных способов. Все другие способы предотвращения смерзания горных пород, разработанные в последние годы, практического применения не получили по тем или иным причинам (неэффективности, дороговизны, нетехнологичности, отсутствия сырьевой базы и др.).

1.3 Влияние смерзания горной массы на эффективность бестранспортной системы разработки месторождений криолитозоны

При анализе литературных источников особое внимание уделялось исследованиям влияния температурно-климатических условий и процесса смерзания горной массы на показатели бестранспортной системы разработки месторождений криолитозоны и путям повышения эффективности ее применения в суровых климатических условиях.

В работах российских ученых отмечено, что эффективность разработки вскрышных пород во многом зависит от состояния ММГП, их склонности к вторичному смерзанию, а также от погодно-климатических условий. [64, 65]. Исследованиями установлены оптимальные сроки начала и конца сезона для шагающих экскаваторов в условиях Севера в зависимости от температуры окружающей среды, оказывающей значительное влияние на производительность и простои оборудования, вызванные его отказами [66].

Ефимов С. С., Гаврильев В. Н., Никитина Л. М. исследовали критическую (безопасную) влажность смерзания сыпучих горных пород в суровых климатических условиях на месторождениях криолитозоны [67]. В результате проведенных исследований было установлено, что в температурном диапазоне от -3 до -40°C безопасная влажность не меняется и равна для Кангаласского угля 5,1%, Нерюнгринского – 6,1%, Сангарского – 8,3%, железорудного концентрата – 2%, гравия – 2%, супеси – 8-10%.

Следует обратить внимание на многочисленные работы Панишева С. В. в области бестранспортной разработки пластовых месторождений в условиях криолитозоны. В результате многолетних теоретических и натурных исследований были разработаны рекомендации по выбору и обоснованию рациональных технологических параметров бестранспортной технологии разработки угольных пластов с внутренним отвалообразованием взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию. Предложен способ разработки ММГП вскрышных пород, обеспечивающий минимальное влияние процесса смерзания на производительность экскаватора [68-73].

Одной из основной причиной снижения производительности горного транспорта при разработке ММГП является прилипание и примерзание грунта к их рабочим органам. Примерзание и прилипание как правило проявляется при отрицательной и положительной температуре окружающей среды. На скорость смерзания влияют многие факторы, но основными являются влажность и температура окружающей среды, грунта, поверхности, с которой происходит

смерзание; также материал и состояние поверхности рабочего органа машины. Глубокое и всестороннее рассмотрение данной проблемы содержится в многочисленных исследованиях Зенькова С. А. Также наряду с этим можно отметить ряд авторов, которые в свою очередь усовершенствовали рабочий орган драглайна и других выемочных транспортов для подготовки, выемки и перегрузке пород, в том числе и склонных к смерзанию [74-79].

Анализируя некоторые работы авторов [80-84] можно отметить, что наиболее часто встречаются такие способы повышения эффективности бестранспортной системы разработки как:

- управление рабочим временем цикла драглайна;
- совершенствование схем экскавации драглайна, в зависимости от свойств разрабатываемого массива горных пород и горно-геологических условий месторождения;
- применение взрывов на сброс в зоне бестранспортной системы разработки;
- увеличение высоты вскрышных уступов;
- модернизация конструкции, механизмов и рабочего органа драглайна;
- автоматизация технологического процесса драглайна.

В качестве примера ниже приведены примеры исследований по повышению эффективности бестранспортной системы разработки. Так В. Г. Проноза предложил учитывать особенности разработки вскрышного блока, также определил минимальную длину фронта работ, при которой экономически нецелесообразно осуществлять подъем драглайна на предотвал, подлежащий дальнейшей экскавации [85, 86].

Интересные результаты исследований, направленные на повышение эффективности бестранспортных технологических схем с помощью взрывной доставки части вскрышных пород экскаваторного блока в конечный контур отвала, были получены в условиях Кингисеппского месторождения фосфоритов. Перемещение части вскрыши взрывом в постоянный отвал позволило снизить

себестоимость выемки одного кубометра вскрышных пород на 18-25% и повысить производительность экскаватора на 25-28% [87].

О. Н. Либерцев разработал математическую модель перемещения вскрышных пород энергией взрыва при бестранспортной системе разработки, а также исследовал процесс формирования развала и объема сброса при равномерном и дифференцированном распределении взрывчатых веществ (ВВ) в массиве [88].

Влияние параметров буровзрывных работ (БВР) на коэффициент сброса исследовали также Л. С. Веницкий, А. А. Грачев, И. Ф. Жариков, В. К. Медоев и др. [89-92].

С развитием техники и электроники многие авторы плотно занимаются исследованиями в области автоматизации технологического процесса драглайна, автоматического управления драглайна и процессом транспортирования ковшом, а также созданием современных интеллектуальных алгоритмов управления транспортными операциями драглайна [93-95]. В последние годы все чаще можно встретить пути решения тех или иных проблем с помощью инновационных технологий и методов. Одной из них является инновационная система и технология мониторинга драглайна, которыми пользуются крупные горнодобывающие компании на драглайнах за рубежом. Эти системы и технологии внедряют для увеличения производительности и безопасности работы драглайнов. Увеличение производительности драглайна достигается за счет увеличения полезной нагрузки и количества циклов и всестороннего анализа работы драглайна вплоть до показаний работы определенного оператора драглайна [96, 97].

Выводы

Анализ технической литературы показывает, что проблема смерзания рассматривалась достаточно широко. Проведенные исследования и эксперименты в натуральных и лабораторных условиях подтверждают, что смерзание горных пород

в первую очередь зависит от температуры и влажности горных пород и окружающей среды. Процесс смерзания происходит уже при незначительной отрицательной температуре (весьма близкой к 0°C) в куске породы, где также начинаются основные фазовые переходы влаги из одного состояния в другое. Температура и влажность являются наиболее изученными факторами, влияющими на процесс смерзания. Большинство авторов сводится к тому, что прочность смерзания увеличивается при повышении влажности и понижении температуры. Также в различной мере влияют на прочность смерзания гранулометрический состав пород, напряженное состояние в массиве, физические и теплофизические свойства пород, приконтактный слой и др. Поэтому при разработке месторождений в условиях ММГП и в суровых климатических условиях следует обращать внимание на смерзание горных пород, а также их прочность. Процесс смерзания горных пород, а также природно-климатические условия являются одним из самых важных условий при разработке месторождений криолитозоны.

Анализ исследований бестранспортной технологии в условиях повторного смерзания взорванной горной массы показал, что её эффективность в значительной степени зависит от периода года, природно-климатических условий, температуры, влажности и гранулометрического состава взорванной горной массы. Для бестранспортной системы разработки месторождений основные направления исследований связаны с совершенствованием существующих и разработкой новых технологических схем, оптимизацией параметров, как драглайна, так и взрывных работ, увеличением высоты вскрышных уступов, модернизацией конструкции, механизмов и рабочего органа драглайна, а также автоматизацией технологического процесса экскавации. Однако большинство этих исследований проводились и проводятся применительно к месторождениям, расположенным вне зоны многолетней мерзлоты и конкретных данных по обоснованию рациональных параметров экскавации взорванного массива ММГП в литературе не известно.

В связи с вышеизложенным, для определения влияния температурного режима в развале горных пород под воздействием различных температурно-климатических и технологических факторов на производительность драглайна в условиях месторождений криолитозоны, необходимо решение следующих задач:

- провести анализ современного состояния вопроса процесса смерзания горных пород, его влияния на технологию и параметры бестранспортной системы разработки;

- исследовать особенности формирования температурного режима породы в забое драглайна при экскавации взорванной смерзающейся горной массы в разные периоды года и обосновать зависимость производительности драглайна от температуры пород в забое в течение календарного года;

- исследовать гранулометрический состав пород в развале и забое драглайна в зависимости от температурного режима пород и установить его влияние на производительность экскаватора в течение календарного года;

- исследовать влияние параметров забоя и технологической схемы отработки блока на производительность драглайна в условиях повторного смерзания взорванной горной массы;

- разработать специализированный стенд и провести исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород для оценки показателя трудности их экскавации и обосновать условия эффективного применения бестранспортной технологии при открытой разработке месторождений криолитозоны.

- разработать рекомендации по рациональным параметрам и технологии ведения вскрышных работ в разные периоды года (весна-лето, осень-зима), обеспечивающих снижение негативного влияния процесса повторного смерзания взорванной горной массы на эффективность бестранспортной технологии при открытой разработке месторождений криолитозоны.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОРОДЫ В ЗАБОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДРАГЛАЙНА ПРИ ЭКСКАВАЦИИ СМЕРЗАЮЩЕЙСЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

2.1 Натурные исследования изменения температурного режима в массиве и развале ММГП

Известно, что производительность выемочного оборудования считается одним из важнейших технико-экономических показателей эффективности открытых горных работ. Производительность драглайнов определяется по той же методике, что и для всех видов выемочного оборудования, и показывает какое количество горной породы, извлекает экскаватор из массива или развала в единицу времени. На производительность выемочных машин влияют их конструктивные характеристики, а также горно-геологические и организационно-технические условия производства работ [98].

Месторождения Якутии расположены в зоне распространения многолетней мерзлоты. Для таких месторождений, к которым относится и Кангаласское, характерна совокупность сложных суровых природно-климатических условий, среди которых следует выделить наличие ММГП, склонность пород к смерзанию после их буровзрывного рыхления и низкие отрицательные температуры воздуха. Эти факторы оказывают решающее влияние на производительность экскаватора-драглайна, которая зависит от физико-механических свойств взорванной горной массы, качества дробления пород взрывом и определяется продолжительностью рабочего цикла ($t_{ц}$) [99].

При расчете продолжительности рабочего цикла драглайна обычно не учитываются особенности взорванного развала ММГП, где формируются температурные поля, определяющие зоны смерзания. Процесс формирования

температурного режима в развале является сложным, и определяется многими факторами, такими, как теплофизические характеристики пород, фазовые переходы влаги, температура атмосферного воздуха, температура, влажность и плотность пород, мощность вскрышных пород, углы формируемых откосов, качество взрывной подготовки [100]. Причиной смерзания в большинстве случаев является образование слоя оттайки на поверхности куска породы, что в условиях отрицательной температуры массива в целом приводит к смерзанию кусков друг с другом. Это увеличивает продолжительность рабочего цикла за счет многократного холостого черпания (плохого наполнения ковша) при экскавации смерзшейся горной массы, когда драглайн в силу своих конструктивных особенностей не может внедрить ковш во взорванный массив.

Производительность шагающего экскаватора в свою очередь определяется продолжительностью рабочего цикла ($t_{ц}$). Техническая производительность драглайнов ($Q_{т}^э$) определяется по формуле (2.1):

$$Q_{техн} = \frac{3600}{t_{ц}} K_э K_{т.в}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.1)$$

где – $K_э$ – коэффициент экскавации, который рассчитывается отношением; $K_{т.в}$ – коэффициент, учитывающий влияние технологии выемочных работ.

$$K_э = \frac{K_{н.к}}{K_{р.к}}, \quad (2.2)$$

где – $K_{н.к}$, $K_{р.к}$ – соответственно, коэффициенты наполнения ковша и разрыхления породы в ковше.

В формуле (2.1) время рабочего цикла драглайна ($t_{ц}$) имеет линейную зависимость. Продолжительность рабочего цикла экскаватора определяется из суммы продолжительностей основных операций (2.3):

$$t_{ц} = t_{ч} + t_{п.р.} + t_{р.} + t_{п.з}, \quad (2.3)$$

где – $t_{ч}$ – продолжительность черпания породы, сек.; $t_{п.р.}$ перемещения груженого ковша к месту разгрузки, сек.; $t_{р.}$ – продолжительность разгрузки

ковша, сек.; $t_{п.з.}$ – продолжительность перемещения порожнего ковша в забой для следующего цикла, сек.; [98].

Эксплуатационная производительность может быть сменной, месячной и годовой (в последних случаях учитываются потери времени на ремонтные осмотры, текущие и капитальные ремонты).

$$Q_{\text{эксп}} = Q_{\text{техн}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{ис}}, \quad (2.4)$$

где: $Q_{\text{техн}}$ – техническая производительность, м³/час; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, час; $K_{\text{ис}}$ – коэффициент использования экскаватора во времени $K_{\text{ис}}=0,7$.

Такое определение производительности драглайна нецелесообразно применять при разработке месторождений криолитозоны. Потому что при расчете продолжительности рабочего цикла драглайна не учитываются особенности взорванного развала ММГП, где формируются температурные поля, определяющие зоны смерзания. Процесс формирования температурного режима в развале взорванных ММГП является сложным, и определяется многими факторами такими как: теплофизические характеристики пород, фазовые переходы влаги, изменение температуры атмосферного воздуха, температура, влажность и плотность пород, мощность вскрыши, углы формируемых откосов, а так же качество взрывной подготовки.

Для этого в первую очередь необходимо исследование температурного режима массива горных пород в самом месторождении и непосредственно в районе проведения горных работ. Изучение температурного режима массива горных пород производилось посредством измерения температуры в скважинах (геотермические измерения). Известны два способа: термокаротаж и точечные измерения. При способе термокаротаж используется температурный датчик, который движется по стволу скважины с постоянной скоростью, для записи геотермического градиента. Определение истинной температуры пород осуществляется точечными измерениями. В этом случае температурный датчик

выстаивается на заданной глубине до теплового равновесия с окружающей средой.

При изучении температурного режима массива наибольший интерес представлял слой годовых колебаний температуры, глубже которого температуру массива можно считать постоянной. Так как мощность этого слоя составляет 20-25 м [101, 102], то глубина скважин для измерения температуры принимались до 20 м.

Измерение температуры в скважинах глубиной до 30 м производились термогирляндами (рисунок 2.1).

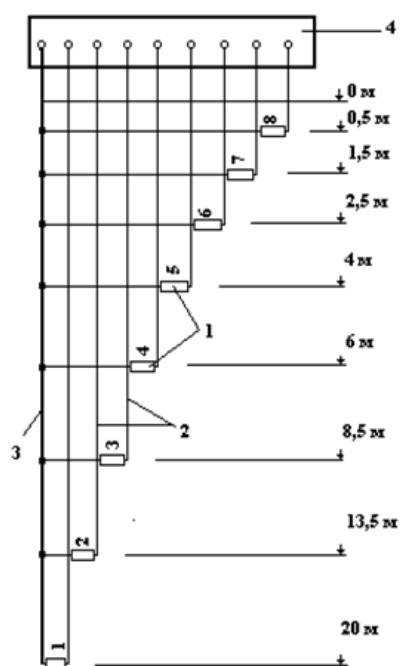


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема термогирлянды:
1 – термодатчик; 2 - соединительные провода; 3 - общий провод; 4 – щиток

Расположение датчиков в гирлянде зависит от конкретной задачи исследований, и выбирались таким образом, чтобы перепад температур в двух соседних точках гирлянды превышал точность измерений. Для исследования температурного режима массива в слое годовых колебаний температуры приняли расположение термодатчиков на глубинах 0,5; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 8,5; 13,5; 20,0 м.

Место расположения скважин, предназначенных для геотермических

измерений, выбирался по двум основным условиям. Во-первых, оно не должно препятствовать развитию горных работ, т.к. наблюдения будут вестись в течение длительного времени, и, во-вторых, оно должно быть доступным. При определении места расположения скважин учитывались, что оно должно находиться в непосредственной близости от опытного блока, где будет проводиться исследование динамики температуры пород в развале. При этом, для исключения влияния на показания термодатчиков тепла с наклонной плоскости уступа, место расположения скважин отнесли от откоса уступа не менее чем на 50 м.

Глубина скважины принимается таким образом, чтобы последний термодатчик оказывался ниже слоя годовых колебаний температуры, где температуру пород можно считать постоянной. По показаниям этого датчика следят за изменением температуры, которая через некоторое время стабилизируется. Это время можно считать временем выстойки скважины, а показания остальных датчиков истинными. Именно поэтому, в эксперименте принята глубина скважины, равная 20 м. Точность измерений температуры составляет $0,1^{\circ}\text{C}$, что соответствует точности принятой в геотермии [103]. Измерение сопротивления терморезисторов производится с помощью мультиметра, у которых класс точности должен быть не более 0,05 и 0,1. При измерении температуры взрываемого блока выбиралась скважина, и отмечалось расстояние от верхней бровки вскрышного уступа. Далее опускалась термогирлянда, и устье скважины тщательно заглушивалось и сверху устанавливался защитный короб. Производить измерения начинали после выстойки скважины.

Исследования температурного режима массива горных пород осуществлялись посредством измерения температуры в двух стационарных скважинах (скважина №2 и №3), глубиной по 19,5 метров. Наблюдения за температурным режимом в массиве горных пород начаты в 2008 году. Выбранным местом для измерения температурного режима горных пород стал

склон более подверженный солнечной радиации, где забурена скважина №2. Рядом в тенистом не подверженном солнечной радиации месте находится скважина №3 (рисунок 2.2). С использованием временных скважин, забуренных по взрывным блокам, выполнялся мониторинг текущей температуры массива непосредственно в районе работ. До укладки ВВ в взрывные скважины термогирлянда вынималась.



Рисунок 2.2 – Замер температуры в стационарных скважинах и установка термогирлянды во взрывные скважины

Наблюдения динамики температур по скважинам показали, что их температурный режим можно характеризовать как неустойчивый. За все периоды наблюдений отмечены колебания температуры по глубине скважин. Примерный график, иллюстрирующий изменение температуры в массиве ММГП в течение года представлен на рисунке 2.3.

Изменения температуры по глубине скважины, объясняются также наличием в толще пород линз льда и подземных вод, неоднородностью строения

массива горных пород и (таликовыми зонами).

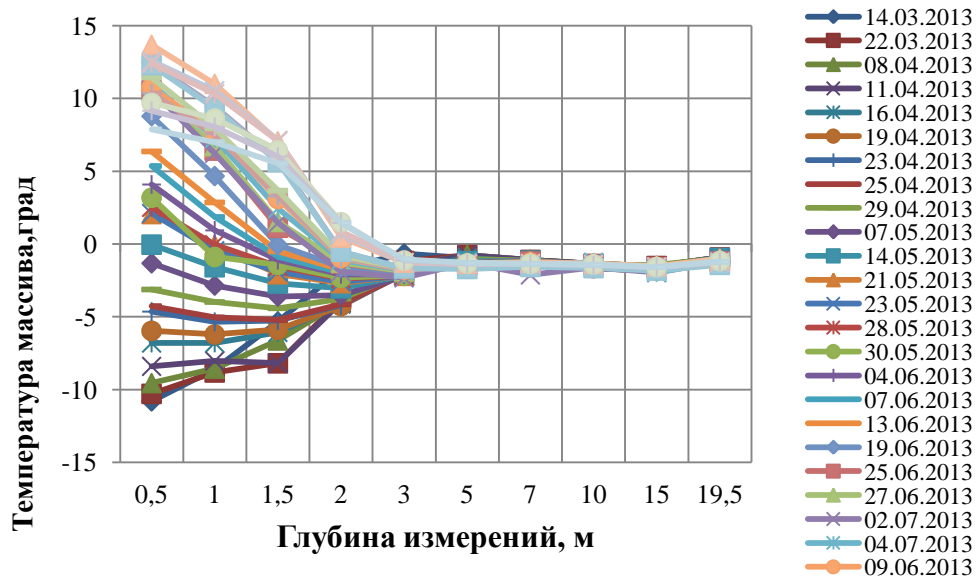


Рисунок 2.3 – Температура массива ММГП по глубине в скважине №2 в течение года

График изменения средней температуры по скважинам представлен на рисунке 2.4.

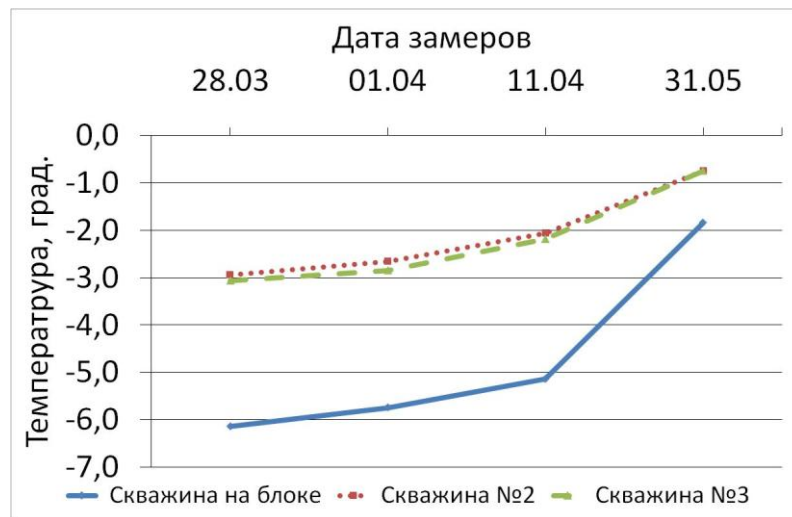


Рисунок 2.4 – Изменение температуры во взрывной и стационарных скважинах

Результаты наблюдений за температурным режимом в скважине, забуренной на блоке за период наблюдений, показали, что температура по глубине скважины имеет отрицательный характер и значительно ниже, чем температура в скважинах, забуренных по массиву пород на значительном

удалении от взрывного блока. Замеры показали, что средняя температура в скважинах взрываемых блоков в 2 раза ниже, чем в скважинах №2 и №3.

Обобщая данные наблюдений за температурным режимом ММГП, можно отметить, что температурный режим в массиве неустойчив, при этом средняя температура массива по взрывным блокам может достигать до 2 раз ниже, чем в скважинах на борту разреза. Объясняется это близостью дополнительной обнаженной поверхности (откос вскрышного уступа), способствующей глубокому промерзанию массива, в отличие от стационарных скважин, расположенных на большем удалении от откоса уступа. По скважине №2 расстояние до откоса уступа – 40 м а по скважине №3 – 70 м.

Для оценки влияния температурного режима ММГП на производительность драглайна в условиях месторождений криолитозоны выполнялись замеры температуры в забое экскаватора, велись фото и видеосъемка процесса экскавации породы и хронометраж рабочего процесса драглайна (рисунок 2.5) [104].



Рисунок 2.5 – Исследования температуры в забое экскаватора, фото, видеосъемка и хронометраж рабочего процесса драглайна

Одновременно после взрывания блока производилась фотосъемка взорванного развала и полученного среднего размера куска, по отдельно

разработанной методике «Исследования гранулометрии взорванных горных пород». При каждом измерении температуры в забое драглайна производились забор образцов для дальнейшего исследования на влажность горных пород. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов производили согласно ГОСТ 12071-2001 [105], а определение влажности по ГОСТ 12248-2010 [106]. Температура и влажность воздуха в течение натурных исследований определялись измерителем температуры и влажности – электронным термогигрометром Center-314.

Выполнение замеров температуры по развалу и поверхности забоя осуществлялись следующим образом: до начала работы составляли абрис (схема) обрабатываемого блока, где показываются участки замеров. Замеры температуры в забое экскаватора производили по трем заранее выбранным участкам (рисунок 2.6), с указанием характеристик и координат местоположения зоны измерения.

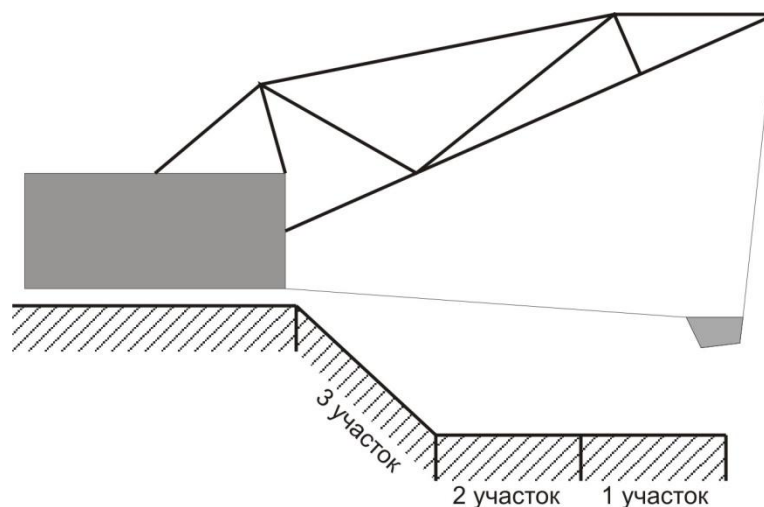


Рисунок 2.6 – Схема замеров температуры в забое

Замеры температуры осуществлялись с помощью инфракрасного термометра, а также посредством тепловизионной съемки с использованием тепловизора FLIR SC 660 (оборудование ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН) [107, 108]. В первом случае, измерение температуры поверхности забоя выполнялись сразу

после остановки экскаватора, а во втором – в процессе экскавации взорванной горной массы (рисунок 2.7).

При этом количество измерений по поверхности определялось достоверностью полученных результатов [109]. Необходимое число замеров температуры устанавливается на основании заданной величины коэффициента вариации при определенных методах измерений и горнотехнических условиях.

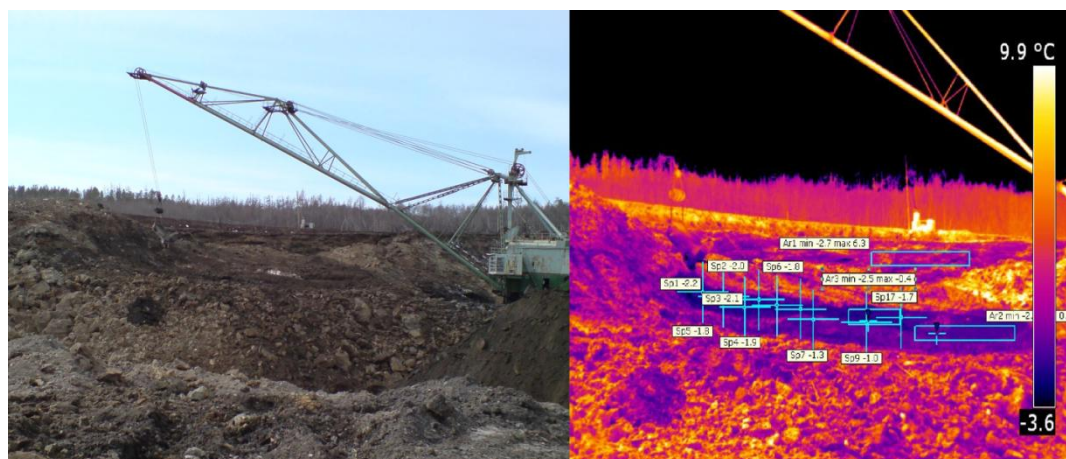


Рисунок 2.7 – Термографический снимок забоя драглайна на угольном разрезе Кангаласский

Для расчета необходимого числа замеров использовалась следующая формула (2.5):

$$n \geq t^2 \frac{k_{вар}^2}{\Delta^2}, \quad (2.5)$$

где, $k_{вар}$ – коэффициент вариации, %;

Δ – допустимая ошибка, %;

t – нормированное отклонение.

Нормированное отклонение зависит от задаваемой надежности эксперимента P . Обычно для исследовательских работ в промышленных условиях, каковым является планируемый эксперимент, P рекомендуется принимать равным 0,9. Тогда t составляет 1,65.

Величина допустимой ошибки обычно принимается для производственных наблюдений в размере 10-15%, и для научно-исследовательских измерений в

размере 5-10%. Коэффициент вариации вначале задается в пределах 15-20%. В дальнейшем его величину рекомендуется корректировать по фактическим данным. Коэффициент вариации при планировании эксперимента принимается равным 20%, а допустимая относительная ошибка 10%. Тогда формула (2.5) принимает вид:

$$n \geq 1,65^2 \frac{20_{\text{вар}}^2}{10^2} \approx 11.$$

Таким образом, количество замеров температуры принимается не менее 11 измерений. Выбирая расстояние между точками замеров необходимо учитывать, что измерение температуры должно производиться под разными кусками породы. Поэтому расстояние между точками замера должно удовлетворять условию $l = 2 d_{\text{ср}}$, где $d_{\text{ср}}$ – диаметр среднего куска породы, м.

Диаметр среднего куска драглайна ЭШ-10/70, применяемого на разрезе, изменяется от 0,35 до 0,45 м и может достигать 0,5 м. Поэтому расстояние между точками замера должно составлять не менее: $l = 2 \cdot 0,5 = 1,0$ м.

Измерения температуры поверхности забоя выполнялись сразу после остановки экскаватора, по согласованию с начальником смены или горным мастером, с соблюдением техники безопасности на горном участке.

Как известно, рабочий процесс драглайна является циклическим и складывается из одних и тех же операций – копания (наполнения ковша), транспортирования ковша к месту выгрузки, разгрузки ковша и возврата порожнего ковша к месту наполнения. По мере выработки забоя экскаватор передвигается. Поэтому общее время цикла будет складываться из суммы продолжительностей основных операций, составляющих формулу (2.3). Время цикла, и наполнение ковша драглайна определяли по данным видеосъемки процесса экскавации драглайна. При этом по возможности, точку съемки выбирали так, чтобы объектив фото или видеокамеры был максимально перпендикулярен профилю забоя. Фактическая надежность результатов замеров обеспечивалась наличием карт памяти с емким объемом больше 16 Гб. Это

позволяло вести непрерывную видеосъемку рабочего процесса длительностью около 50 минут.

После обработки записи видеосъемки процесса экскавации, определялось время цикла работы драглайна, и вычислялась расчетная эксплуатационная производительность по формуле 2.4. Полученные данные средние значения времени рабочего цикла драглайна и сменная производительность в зависимости от температуры пород в забое представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов времени рабочего цикла драглайна и сменной производительности

Дата измерения	21 июн	30 июн	2 июл	16 июл	26 июл	27 июл	29 июл
Температура, град.	3,01	4,02	5,04	6,06	7,08	8,1	9,12
Время цикла, мин.	3,24	2,58	2,76	1,5	1,21	0,98	0,99
Производительность, м ³ /смену	700	879	822	1512	1874	2314	2291
Дата измерения	12 авг	13 авг	17 авг	19 авг	24 авг	26 авг	27 авг
Температура, град.	7,9	8,6	9,2	9,8	10,5	11,2	11,8
Время цикла, мин.	0,79	0,86	1,13	1,09	1,03	1,13	0,95
Производительность, м ³ /смену	2870,89	2637,21	2007,08	2080,73	2201,94	2007,08	2387,37

2.2 Влияние температурного режима породы в забое драглайна на его производительность при экскавации взорванной смерзающейся горной массы

Выполненные натурные исследования позволили установить характер изменения температурного режима в развале взорванных ММГП в разные периоды года (весна-лето, осень-зима) при последовательном обнажении забоя. Было установлено, что в весенне-летний период (рисунок 2.8 а) температура поверхностного слоя навала определяется хладозапасом массива накопленного в зимний период, а также величиной солнечной инсоляции, которая способствует интенсивной конденсации влаги на поверхности мерзлых кусков породы и создает благоприятные условия для повторного смерзания взорванных ММГП.

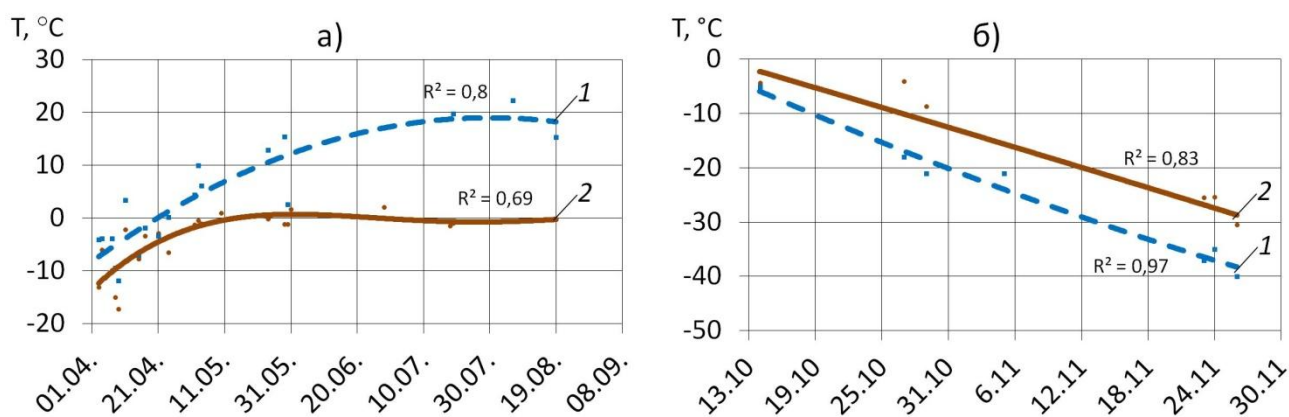


Рисунок 2.8 – Температура поверхности породного навала в забое в разные периоды года (а) – весна-лето, б) – осень-зима: 1 – температура воздуха, 2 – температура пород в забое

В осенне-зимний период температура в поверхностном слое формируется за счет теплового запаса массива, накопленного летом и воздействия низких температур окружающего воздуха (рисунок 2.8 б). При этом, отрицательная температура поверхностного слоя развала в условиях его обнажения хотя и выше в среднем 10-14°C от температуры окружающего воздуха, но совпадает с ней по знаку, что практически исключает конденсацию влаги, вследствие чего замедляется процесс повторного смерзания взорванного массива. На графике данные температуры породы в забое являются средними значениями из 100 измерений пирометром.

Таким образом, в разные периоды года во взорванном массиве ММГП происходят процессы промерзания и протаивания, обуславливающие интенсивность смерзания и эффективность их экскавации. Вот поэтому, при работе в таких условиях в весенне-летний период случались аварийные ситуации и простои драглайна, связанные с обрывом креплений тросов, цепей, а также привлечение горной техники для дополнительного рыхления смерзшегося забоя. На рисунках 2.9-2.11 представлены такие характерные ситуации негативного влияния повторного смерзания на работу экскаватора-драглайна ЭШ-10/70 на разрезе «Кангаласский».



Рисунок 2.9 – Обрыв тяговой цепи ковша драглайна

Дат. 23.06.11 Смет. 1
 с/п. Каниссары 24
 7.5 / без СНЗ работы не допускается
 Начальник участка: [подпись]
 Запрещается начинать работы до устранения нарушений правил техники безопасности!

№ п/п	Оборудование		Наряд на производство работ и устранение выявленных нарушений ПБ	Главная измеренная	Объем работы		Примечание по выполнению работ
	наименование	инвентар			по плану	факт	
1	ЭМ 1/2	МК 100	Безопасное выполнение работ	м ³	2500	1800	Функциональные работы
2	СМ 100	МК 100	Безопасное выполнение работ	с/м	1	8	
3	СМ 100	МК 100	Безопасное выполнение работ	м ³	4	4	
4	СМ 100	МК 100	Безопасное выполнение работ	м ³	8	8	
Сметы №							
1	ЭМ 1/2	МК 100	Безопасное выполнение работ	м ³	2500	1800	Функциональные работы

Исполнитель: [подпись]
 Начальник участка: [подпись]

24 - РЕМОНТ УДАВИТЕЛЯ
 0.5 - ШТАБЕЛЬ
 34500 МК 100 10000
 АРБЕТЕР

на рабочем месте.

Рисунок 2.10 – Запись из журнала наряда заданий



Рисунок 2.11 – Рыхление забоя экскаватора бульдозером-рыхлителем

Как показали натурные наблюдения, снижение производительности происходит особенно летом, когда внутри забоя экскаватора имеет отрицательную температуру, несмотря на положительные значения температуры поверхностного слоя породы. Эти условия создают благоприятные условия для повторного смерзания взорванной горной массы. Обработка забоя в таких условиях ведется по всей ширине заходки, с вынужденной тратой времени на «выкапывание» отдельных кусков и горной массы, а также частым холостым черпанием для наполнения ковша и периодическим изменением угла (рисунок 2.12).

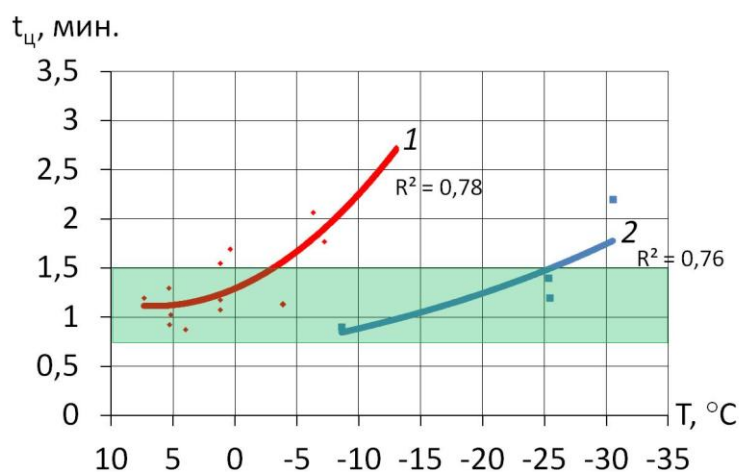


Рисунок 2.12 – Изменение продолжительности времени цикла драглайна от температуры поверхностного слоя породы в забое в различные периоды года: 1 – весна-лето, 2 – осень-зима

На графике данные времени рабочего цикла драглайна ЭШ-10/70 являются средними значениями за один хронометражный период равный 20-30 мин. В связи с этим, время цикла драглайна для этих периодов впервые предложено определять по отдельным эмпирическим зависимостям:

$$\text{Весна-лето: } t_{ц} = e^{0,34 - 0,044T_n + 9,58 \cdot 10^{-4}T_n^2}, \text{ мин.};$$

$$\text{Осень-зима: } t_{ц} = 0,63e^{-0,03T_n}, \text{ мин.},$$

где T_n – температура пород в забое, град.

Таким образом, продолжительность рабочего цикла драглайна при экскавации смерзающейся взорванной массы в условиях месторождений

криолитозоны является нелинейной параметрической функцией, отражающей его зависимость от температурного режима породы в забое экскаватора. Наличие отрицательной температуры в забое драглайна приводит к существенному снижению производительности, вплоть до полной остановки экскаватора.

2.3 Исследование гранулометрического состава взорванной горной массы в экскаваторном забое в условиях повторного смерзания

Работа выемочно-погрузочного оборудования существенно зависит от физико-технических свойств разрабатываемых пород. При выемке пород из массива наибольшее влияние имеют следующие их свойства: структурные особенности пород (размеры трещин, расстояние между ними и т.п.), прочность породы в куске, влажность породы, плотность [110]. Указанные факторы определяются естественными природными условиями – горно-геологическим строением массива. Разгрузка ковша зависит в основном от кусковатости и влажности.

В мерзлом состоянии прочность мягких, плотных, полускальных и скальных пород значительно выше прочности этих же пород, находящихся в талом (не мерзлом) состоянии, вследствие цементирующего действия льда или мелкодисперсного грунтового заполнителя трещин массива. Чем ниже температура породы и выше трещиноватость и влажность пород, тем больше их прочность в мерзлом состоянии.

Выемка и погрузка разрыхленной массы зависит в первую очередь от структуры массы, т.е. гранулометрического состава (средневзвешенного размера куска d_{cp}) и коэффициента разрыхления k_p , а также прочностных свойств ($\sigma_{сж}$, f), плотности в куске γ и абразивности породы. Первые два фактора существенно влияют на производительность и энергоемкость экскавации.

Гранулометрический состав (кусковатость) разрыхленной массы обычно характеризуется процентным содержанием фракций. На базе нескольких замеров

кусковатости разрыхленных (взорванных) пород методом фотопланометрии можно построить паспорта гранулометрического состава взорванной массы для каждого из забоев [104], что позволяет по одной из фракций судить об удельном весе других фракций во взорванной массе и изменении средневзвешенного размера куска d_{cp} . Характер распределения крупных негабаритных кусков, их долевое участие (%) в отдельных частях взорванной массы приводит к затруднению в работе выемочных средств, т.е. влияет на производительность экскаватора.

Процесс выемки пород драглайнами был подробно изучен проф. Н. Г. Домбровским [111]. При разработке скальных пород представляют интерес экспериментальные исследования д.т.н. Репина Н. Я. и к.т.н. Балаховского М. С. [112-114]. Во всех этих работах основной задачей исследований являлось установление влияния параметров БВР и качества дробления взорванной массы на процесс экскавации и производительность драглайнов различных моделей.

Известно, что в мерзлом состоянии прочность пород значительно выше прочности этих же пород в талом состоянии, вследствие цементирующего действия льда или мелкодисперсного грунтового заполнителя трещин массива. В работе Дроговейко И. З. [115] установлено изменение качества дробления взрывом мерзлых пород в зависимости от плотности, температуры и влажности (льдистости) породы. С понижением температуры грунта снижается удельный расход ВВ. С повышением льдистости возрастают скорость распространения волн напряжений и акустическая жесткость мерзлых пород, что ведет к большему проценту разрушаемости пород и тем самым оказывают влияние на кусковатость.

Известно, что гранулометрический состав (кусковатость) взорванной горной массы оказывает существенное влияние на производительность экскаватора. Наличие негабарита в большом количестве приводит к увеличению продолжительности рабочего цикла драглайна, а переизмельчение взорванной горной массы склонной к повторному смерзанию способствует увеличению прочности смерзания, что также, ведет к снижению производительности

экскаватора-драглайна. На разрезе Кангаласский были выполнены натурные исследования гранулометрического состава взорванной горной массы для оценки его влияния на производительность драглайна.

Как уже говорилось, при применении БВР уместно пользоваться понятием «кусковатость горной массы», т.е. количественное выделение фракций различной крупности, каждая из которых характеризуется определенными пределами размеров наибольших и наименьших кусков. Группировка кусков на фракции при этом производится по различным параметрам как прямо, так и косвенно характеризующим крупность кусков.

Прямо характеризуют крупность: 1) диаметр кусков, т.е. средний размер; 2) длина кусков, т.е. их максимальный размер; 3) объем кусков – описанный или истинный.

Косвенные параметры применяют значительно реже, чем прямые, причем исключительно при проведении исследовательских работ.

Оценивать кусковатость можно различными характеристическими показателями (критериями кусковатости). Критерии кусковатости могут быть простыми, если используется один численный показатель, и сложными, если используется комплекс из нескольких таких показателей. В зависимости от целевого назначения и применяемого способа измерений, в качестве критерия кусковатости используют [116]:

1. Параметры, характеризующие крупность единичного куска: а) среднего, б) максимального;
2. Параметры, характеризующие отдельные фракции: а) негабарит, б) мелочь, в) фракции кондиционных размеров;
3. Параметры, характеризующие кусковатую смесь в целом (интегральные характеристики): а) безразмерные или относительные, б) имеющие физические размерности.

Крупность среднего куска используют для оценки кусковатости горной массы, преимущественно при проведении исследовательских работ. Этот

параметр дает представление о средней крупности материала. Однако размеры среднего куска изменяются в значительно меньшем диапазоне, чем соответствующие показатели выхода негабарита.

Крупность максимального куска применяют для характеристики кусковатости при решении ряда производственных задач. Выделяют группу крупных кусков и в качестве расчетного принимают средний диаметр группы (иногда эту величину называют диаметром типичного максимального куска).

Главным практическим критерием кусковатости на большинстве горных предприятий является выход негабарита, обычно выражаемый в процентах от общей массы отбитого ископаемого.

Интегральные критерии кусковатости. К числу безразмерных критериев данного типа относятся: степень дробления (измельчения); показатель равномерности дробления; показатель кондиционности дробления.

В современной практике кусковатость горной массы после взрывной отбойки еще очень часто определяют на глаз. Иногда такой способ рассматривают как визуальный метод измерения кусковатости. Все методы измерения кусковатости можно разделить на два класса - прямые и косвенные методы. Различие между ними заключается в том, что при прямых методах либо производится разделение горной массы на фракции крупности, либо осуществляются непосредственные замеры геометрических параметров кусков; косвенные же методы основываются на текущем количественном учете, либо на экспериментальном определении величин, которые зависят от кусковатости, но не являются ее прямыми параметрами [116].

При проведении научно-исследовательских работ, требующих определения кусковатости горной массы, целесообразно пользоваться прямыми методами измерений. Из этих методов самым простым и надежным является планиметрический метод, основывающийся на фотографировании поверхности развала горной массы с дальнейшим линейным подсчетом кусков по фотографиям - фотопланограммам. Другие методы, например, метод объемных измерений,

являются более трудоемкими и поэтому менее пригодными для использования в производственных условиях при анализе объемов горной массы в десятки и сотни тысяч кубометров.

Поэтому в наших исследованиях гранулометрического состава взорванной горной массы в экскаваторном забое в условиях повторного смерзания использовали планиметрический метод с линейным подсчетом по фотопанограммам (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Натурные исследования кусковатости планиметрическим методом

При планиметрическом методе необходимо следить за тем, чтобы кусковатость находящейся в этом пункте руды или породы была как можно более характерной для всей анализируемой горной массы. Необходимым условием для успешного применения данного метода является беспорядочное расположение кусков в отбитой руде, что иногда может не иметь места. Для проведения измерений по данной методике требуются цифровой фотоаппарат и мерный квадрат, изготовленный из реек, на которые нанесена шкала с ценой деления 20 см (рисунок 2.14).

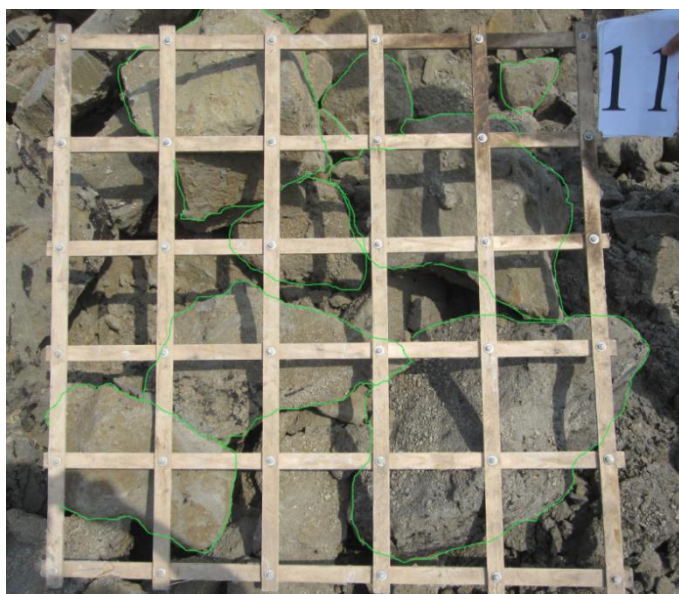


Рисунок 2.14 – Фотопанограмма для измерения кусков

Поверхность развала взорванных горных пород и экскаваторный забой условно разбиваются на полосы фотографирования. Полосы могут располагаться как по ширине, так и по длине блока. Наметив полосы фотографирования и разделив необходимое (по статистике) число фотопанограмм в целом для анализируемого блока на количество полос, получаем требуемое число фотопанограмм для отдельной полосы.

Фотографирование поверхности развала и забоя драглайна осуществляли вместе с мерным квадратом вдоль намеченных полос. При проведении замеров использовали мерный квадрат, имеющим сторону длиной 1 м. При проведении фотосъемки рядом с квадратом размещали контрольные карточки, на которой изображаются номер полосы и порядковый номер фотокадра. В журнале регистрации отмечали данные о дате взрыва и фотосъемки, порядковый номер блока, профиля и полосы.

Необходимое число фотопанограмм устанавливается на основании заданной величины коэффициента вариации при определенных методах измерений и горнотехнических условиях. Расчет необходимого числа фотопанограмм производился по формуле (2.5). При измерении кусковатости

горной массы следует ориентироваться на следующие минимальные показатели надежности: для производственных измерений $P=0,80$; для научно-исследовательских измерений $P=0,95$.

Нормированное отклонение принимается в зависимости от задаваемой надежности наблюдений и составляет 1,96 при $P=0,95$. Величина допустимой ошибки принимается в размере 10-15%. Коэффициент вариации задается в пределах 15-20%. В дальнейшем его величину рекомендуется корректировать по фактическим данным. Для экспериментального участка необходимое число фотопланограмм будет равно 6 при значении коэффициента вариации 15%, показателя надежности 0,95 и допустимой ошибки 12%.

Проведение исследований по этой методике в полевых условиях осуществлялись в соответствии требованиями, изложенными в основных инструкциях по технике безопасности: «Единым правилам безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом» и «Единых правил безопасности при взрывных работах» [117, 118]. Измерения производились как в развале взорванных пород, так и непосредственно в экскаваторном забое, который разделяется на три участка. Количество фотопланограмм на исследуемом блоке зависит от статистически определенного количества фотопланограмм и количества участков в блоке: $N=6 \times 3=18 \text{ шт.}$

После проведения фотосъемки поверхности развала или забоя драглайна обработка фотопланограммы для подсчета кусков осуществлялась в следующем порядке:

1. На фотопланограмме в пределах мерного квадрата наносились параллельные линии-индикатрисы путем соединения его противоположных делений.

2. По индикатрисам измерялись длины отрезков, приходящиеся на каждый отдельный кусок, а также длины отрезков, занятые мелким материалом, учитываемый суммарно.

3. По длине отрезков производилось разделение материала на фракции. При подсчете определялась суммарная длина отрезков по каждой из фракции. Результаты измерений представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Образец заполнения после обработки фотопланограммы №_ по блоку №_

Фотопланограмма №3	Содержание кусков крупностью, мм /%/						
	0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-800	>800
Суммарная длина отрезков	639	2914	0	0	0	0	0
%	18,0	82,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Общая суммарная длина отрезков							3553
Количество значений							29
Общее среднее значение							123

4. По результатам проведенных расчетов определялось процентное содержание каждой фракции. Для этого использовалась следующая зависимость:

$$\gamma_i = \frac{L_i}{L_o} \cdot 100, \quad (2.6)$$

где L_i - суммарная длина отрезков одной из фракции, мм;

L_o - суммарная длина отрезков всех фракций, мм.

5. Рассчитывается диаметр среднего куска по формуле:

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \text{ мм.}, \quad (2.7)$$

где x_i – среднее арифметическое границ i -ой фракции, мм;

n – число фракций.

6. После обработки каждой фотопланограммы в отдельности составлялась сводная таблица результатов измерений кусковатости по блоку в целом (таблица 2.3). Полученные результаты определения кусковатости использовались при оценке качества взрывной подготовки горных пород и производительности экскаваторов.

Таблица 2.3 – Сводная таблица результатов измерений кусковатости по блоку

Дата замера	Диаметр среднего куска, мм	Содержание кусков крупностью, мм /%/							
		0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-800	>800	
19 апреля	195	13,2	26,2	24,3	14,3	7,8	14,1	0	Развал
27 апреля	252	4,9	20,0	27,1	16,3	11,0	19,1	1,4	Забой
28 апреля	162	19,2	30,5	22,7	11,6	9,7	6,3	0,0	Забой
2 мая	190	13,2	24,8	22,5	15,7	10,7	13,1	0,0	Забой
5 мая	146	21,2	36,5	23,1	13,4	3,4	2,4	0,0	Забой
10 мая	213	7,0	26,6	24,3	18,8	7,6	13,3	2,4	Забой
11 мая	184	11,8	39,7	19,5	17,1	10,0	1,8	0,0	Забой
30 мая	173	14,7	28,5	27,4	14,9	6,7	7,8	0,0	Забой
21 июня	228	7,3	22,2	23,0	18,7	9,0	19,7	0,0	Развал
29 июня	237	8,9	24,9	13,3	15,2	8,0	24,3	5,4	Забой
18 июля	167	18,5	31,5	19,6	11,4	7,5	11,5	0,0	Забой
19 июля	240	10,7	17,9	15,5	12,9	15,8	26,0	1,2	Забой
2 августа	209	20,4	23,0	16,9	8,5	10,2	16,0	5,0	Забой

2.4 Оценка влияния гранулометрического состава взорванных ММГП на производительность драглайна в условиях повторного смерзания

По результатам выполненных исследований установлена зависимость среднего размера куска с производительностью драглайна при отработке взорванного массива смерзающихся пород в различные природно-климатические периоды с учетом температурного режима ММГП в забое драглайна [119]. В таблице 2.4 представлены характерные результаты определения кусковатости взорванного массива в развале в разные месяцы в течение календарного года.

По результатам установлено, что в различные температурно-климатические периоды гранулометрический состав взорванных ММГП неодинаков, что связано с их температурой в массиве. Температура в массиве взрываемого блока находится в интервале температур, где происходят основные фазовые переходы влаги.

Таблица 2.4 – Результаты измерений кусковатости взорванного массива ММГП по трем взрывам в течение календарного года.

Месяц взрыва	Средняя температура массива породы, °С	Процентное содержание гранулометрического состава пород по размерам фракций, (мм)						
		0-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-800	> 800
Май	- 2,1	8,9	20,4	17,4	10,6	9,6	30,8	2,2
Июнь	- 1,1	5,1	20,8	17,2	20,5	14,6	18,6	3,1
Июль	1,2	5,9	22,5	28,3	22,1	11,3	9,8	0

Такое состояние массива характеризуется наличием свободной воды, ослаблением льдоцементных связей между частицами, кристаллизацией приграничной фазы, а затем и свободной воды и сопровождается образованием новой поверхности раздела между взаимодействующими частицами. Исследованиями установлено, что при повышении средней температуры породы в массиве от $-2,1^{\circ}\text{C}$ до $+1,2^{\circ}\text{C}$ доля крупных фракций более 500 мм существенно снижается (до 3 раз), а доля фракций 201-300 мм возрастает в 1,5-2 раза (рисунок 2.15).

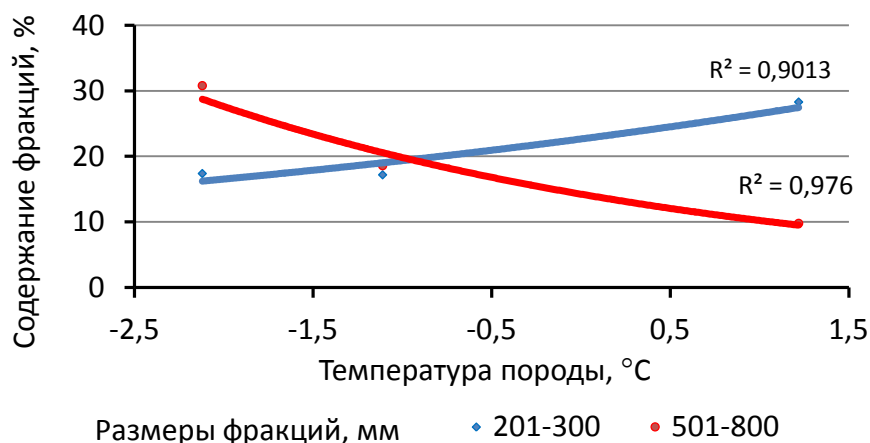


Рисунок 2.15 – Изменение доли мелких и крупных кусков в навале от температуры породы

При этом содержание фракций 101-200 мм существенно не изменяется. Так, доля крупных фракций более 500 мм при взрывании с одинаковыми параметрами БВР в мае (температура в массиве $-2,1^{\circ}\text{C}$) составила 30%, в июне ($-1,1^{\circ}\text{C}$) – около

20% и в июле (+1,2°C) – 10%, а доля фракций 201-300 мм увеличилась с 17% до 28%.

Натурными наблюдениями установлен гранулометрический состав кусков в рабочей зоне драглайна при отработке взорванного многолетнемерзлого массива в весенне-летний период и его зависимость от температуры породы в забое показана на рисунке 2.16.

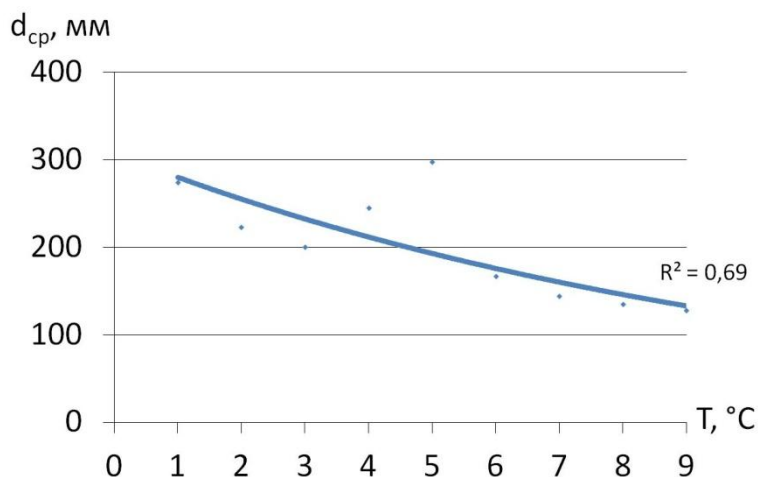


Рисунок 2.16 – Изменение размера среднего куска в рабочей зоне драглайна от температуры породы

Отмечено уменьшение размера среднего куска ($d_{ср}$) в 2 раза при повышении средней температуры пород (май-июль) от 1°C до 9°C, при этом доля крупных фракций 501-800 мм уменьшается примерно 3 раза, а мелких 101-200 мм возрастает в 1,3 раза. Вместе с тем следует подчеркнуть, что летом, в условиях высоких положительных температур, массив становится более однородным, а в случае его повторного смерзания, его прочность ($\sigma_{ср}$) будет выше, чем весной при сопоставимых температурах массива.

Для условий Кангаласского месторождения установлены зависимости производительности драглайна от температуры поверхностного слоя взорванного массива и размера среднего куска при последовательном обнажении забоя (рисунок 2.17).

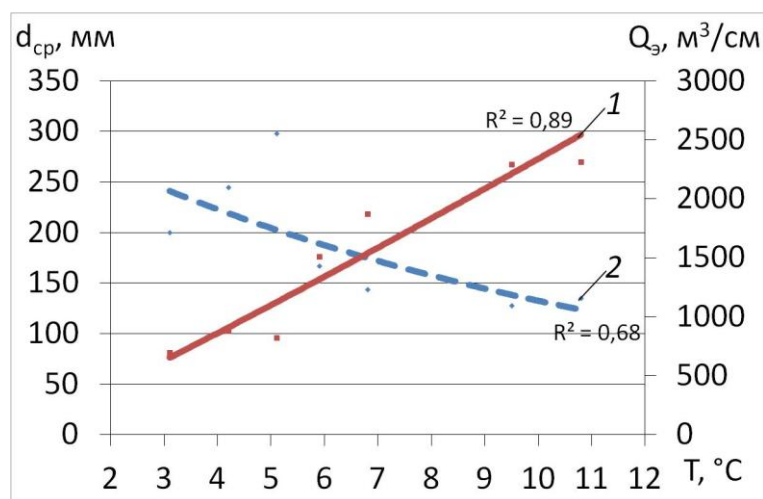


Рисунок 2.17 – Зависимость производительности драглайна от размера среднего куска и температуры пород в забое: 1 – производительность, 2 – размер среднего куска

Полученные зависимости показывают, что с повышением температуры поверхностного слоя и уменьшением размера среднего куска от 300 мм до 100 мм производительность драглайна увеличивается с 500 до 2500 м³/смену. При достижении температуры поверхностного слоя 5 и 7°C наблюдается устойчивый разбор забоя с производительностью драглайна более 1000 м³/смену.

Таким образом, проведенными натурными исследованиями впервые установлены зависимости производительности драглайна от температурного режима породы в забое и размера среднего куска при последовательном обнажении забоя в условиях повторно смерзающихся взорванных пород на месторождениях криолитозоны.

2.5 Исследование влияния параметров забоя и технологической схемы отработки блока на производительность драглайна в условиях повторного смерзания взорванной горной массы

Для обоснования рациональных параметров экскавации смерзающейся взорванной горной массы в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны, по разработанной в лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН программе, выполнены расчеты температурного режима во вскрышном

уступе до производства взрывных работ и развале взорванного вскрышного уступа [120]. Вышеупомянутыми натурными наблюдениями и расчетами установлено, что температурный режим в разные периоды года в развале ММГП различен. Характерные изолинии температуры пород в развале взорванного блока показаны на рисунке 2.18.

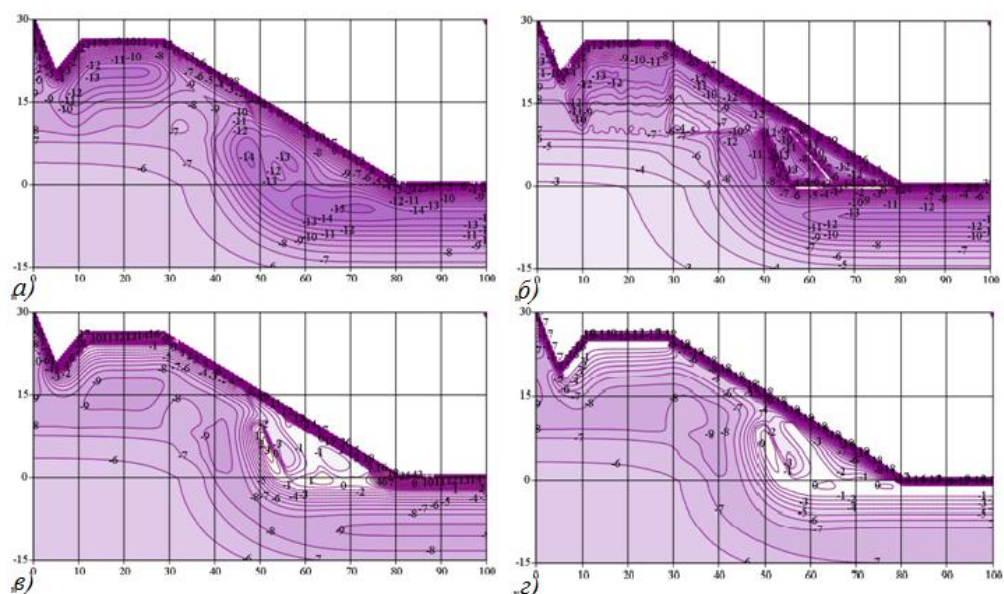


Рисунок 2.18 – Схемы формирования температурных полей взорванного массива ММГП через месяц после взрыва: а) – 1 мая, б) – 1 июля, в) – 1 августа, з) – 1 октября

Полученные результаты исследований свидетельствуют также о том, что формирование температурных полей носит не хаотичный, а упорядоченный характер послойного распространения температуры по всей длине взорванного блока. Для первой половины года характерно наличие отрицательной температуры по всему сечению развала взорванной породы. При этом на глубине 2 метров и ниже она может достигать -16°C , но в среднем в нижней зоне развала кусков породы температура составляет -8°C . Для второй половины года, при ведении взрывных работ характерно наличие положительных температур в поверхностном слое развала. Некоторая часть породы в развале, перемещенная взрывом в контур отвала, может сохранять положительную температуру достаточно длительное время.

В условиях отрицательных температур взорванного массива, стабильная и максимальная производительность драглайна будет обеспечиваться в первую очередь наибольшим объемом растепленного слоя на поверхности развала. Исходя из практики, верхний слой развала (глубина слоя до 2 м) довольно легко обрабатывается шагающим экскаватором. Дальнейшая обработка нижележащих слоев взорванной ММГП ограничивается глубиной оттаявшего слоя, который в свою очередь, зависит от климатических условий и физико-механических свойств вскрышных пород. Исходя из данных, полученных натурными исследованиями температуры на поверхности забоя экскаватора, минимальная температура в забое после обработки растепленного слоя породы составляет в среднем $-1,5^{\circ}\text{C}$ в весенне-летний период. В зависимости от температуры воздуха, среднесуточное растепление взорванных мерзлых пород с учетом ежесуточного удаления талого слоя составляет в диапазоне 0,2-0,25 см в весенне-летний период [121], а по мере повышения температуры воздуха, соответственно, растепление взорванного массива увеличивается.

С учетом распределения температурных полей взорванного массива ММГП и особенностей условий месторождений криолитозоны для эффективной технологии экскавации драглайном наиболее приемлемой является схема обработки взорванного блока с послойным снятием растепленного слоя породы по длине экскаваторного блока. В этом случае, драглайн устанавливается на временном отвале или на поверхности развала ближе к границе выработанного пространства, для увеличения дальности перемещения породы экскаватором в отвал. Когда драглайн располагается на временном отвале, он последовательно снимает растепленный слой и подготавливает себе горизонтальную площадку, для перевалки оставшейся породы во внутренний отвал. По этой подготовленной площадке экскаватор меняет свое расположение и также снимает растепленный слой по всему экскаваторному блоку, затем возвращается на исходную позицию и снимает очередной растепленный слой взорванной породы. При таком расположении уменьшается коэффициент переэкскавации, увеличивается

приемная способность отвалов и мощность обрабатываемой вскрыши, но и увеличивается продолжительность рабочего цикла драглайна за счет угла поворота в 180° .

При расположении на поверхности развала драглайн может находиться на некотором расстоянии у кровли откоса развала так, чтобы при обработке слоя поверхности развала попутно снимать растепленный слой породы с откоса развала, или на расстоянии максимального радиуса копания от верхней бровки откоса развала (рисунок 2.19).

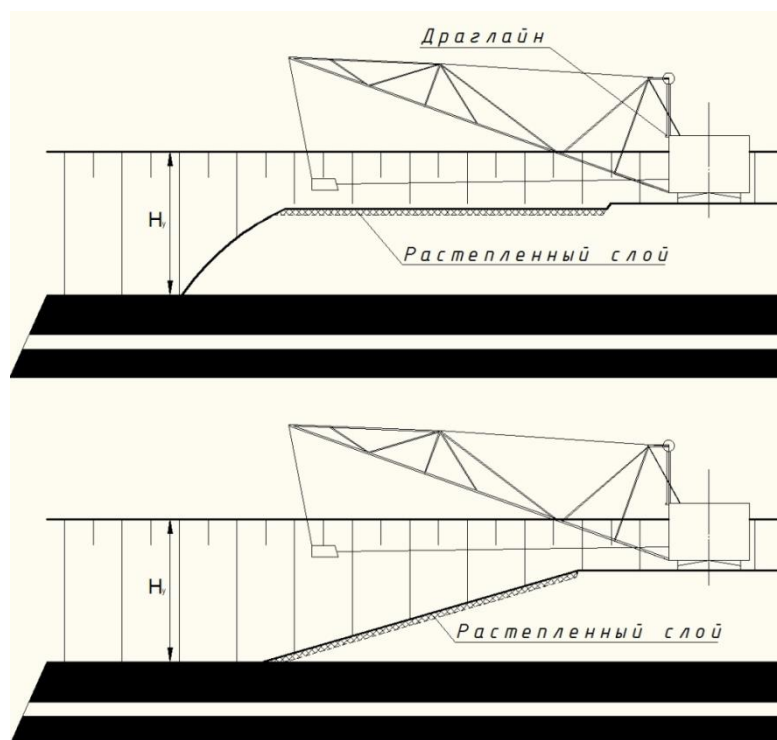


Рисунок 2.19 – Схемы обработки взорванного блока с послойным снятием растепленного слоя породы по длине экскаваторного блока

Экскаватор снимает растепленный слой вдоль взорванного блока по направлению фронта горных работ. В зависимости от длины взорванного блока перемещается и также снимает растепленный слой, затем возвращается на исходную первую позицию и снимает очередной слой. При таком расположении драглайна уменьшается средний угол поворота на разгрузку и, следовательно, уменьшается продолжительность рабочего цикла. Таким образом, технология

последовательного послойного снятия породы с поверхности развала по всей длине блока обеспечит наибольшую производительность в условиях отрицательных температур в развале взорванной горной массы в весенне-летний период. На данную технологию обработки смерзающегося взорванного массива получен патент РФ. [122].

Отработанная часть блока оставляется для растепления и разупрочнения этого поверхностного слоя под воздействием солнечной инсоляции в процессе обработки оставшейся части блока. Объем следующего растепленного слоя зависит от параметров блока, температуры поверхности растепляемого слоя породы, количества теплоты, излучаемой солнцем. Следует отметить, что суточная оттайка при различных периодах накопления талого слоя и температуры мерзлого слоя зависит от периодичности удаления этого слоя, который в процессе его накопления может становиться теплоизолятором и препятствовать дальнейшей оттайке [121].

Данная схема обеспечит необходимое растепление на всей рабочей площади забоя (поверхности развала), разупрочнение породы и соответственно будет наиболее эффективной с точки зрения производительности экскаватора-драглайна. В каждом конкретном случае производительность экскаватора-драглайна будет определяться температурой экскавируемой породы в забое. Объем растепленного слоя на поверхности развала в свою очередь будет определяться параметрами забоя драглайна, шириной заходки и высоты уступа.

Зависимость объема растепленного слоя на поверхности развала при данных схемах обработки взорванного массива горных пород зависит от параметров забоя. Например, при ширине экскаваторной заходки - 45 м, длине блока - 100 м и средней глубине оттайки - 0,25 м (при температуре воздуха +20°C), объем растепленного слоя за сутки будет равным $45 \times 100 \times 0,25 = 1125 \text{ м}^3$. Это значит, что в этих условиях будет обеспечена стабильная работа экскаватора-драглайна с производительностью не менее $1125 \text{ м}^3/\text{смену}$. Изменение объема

растепленного слоя на поверхности развала в зависимости от ширины заходки представлено на рисунке 2.20.

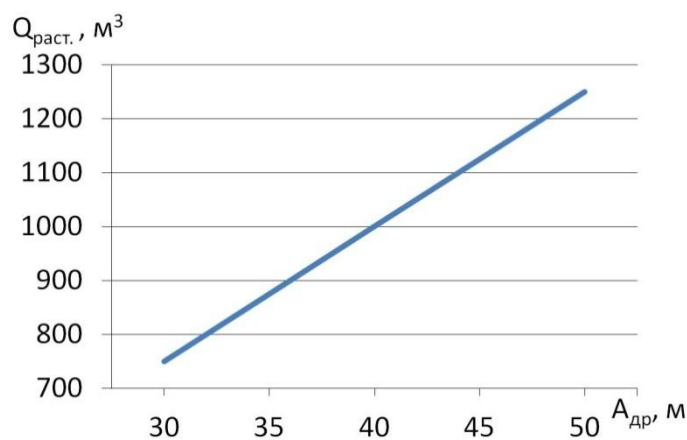


Рисунок 2.20 – Объем растепленного слоя в зависимости от ширины заходки драглайна (A_{др})

Из рисунка следует, что при увеличении ширины заходки в забое объем растепленного слоя увеличивается, соответственно производительность драглайна увеличивается в 1,5 раза при увеличении ширины заходки от 30 м до 45 м. В условиях, когда драглайн снимает растепленный слой породы с откоса развала, высота уступа взрываемого блока будет определяющим фактором формирования объема растепленного слоя на откосе развала.

В соответствии с предложенной технологией, отработка взорванного уступа с отрицательной температурой породы начинается с верхней части развала и предполагает последовательное снятие растепленных слоев породы по длине экскаваторного блока. При других схемах отработки блока драглайном, когда он располагается на кровле уступа и отрабатывает блок нижним черпанием или на отработанном участке (кровле угольного пласта) и отрабатывает блок верхним черпанием от верхней до нижней кромки откоса уступа, то производительность будет намного ниже, чем при послойной отработке блока. При таких схемах и само распределение температуры взорванных пород по откосу забоя по высоте будет различным. В нижней части откоса уступа будут преобладать максимально низкие температуры, которые могут привести к плохому разбору забоя. Поэтому

при таких схемах отработки слоя прогноз производительности драглайна требует особо тщательного исследования [123].

Рекомендуемые параметры экскавации (высота уступа, ширина заходки, сменное подвигание забоя и производительность в зависимости от температуры породы) рассчитаны и приведены в 4 главе диссертации, а также переданы рекомендации на разрез «Кангаласский» филиал АО ХК «Якутуголь».

Выводы

1. Установлены особенности формирования температурного режима в развале взорванных ММГП в разные периоды года (весна-лето, осень-зима). Показано, что в весенне-летний период температура поверхностного слоя отбитых кусков навала зависит от хладозапаса, накопленного ММГП в зимний период, а также величины солнечной инсоляции, а в осенне-зимний период - тепловой инерции массива, разогреваемого летом и воздействия низких температур окружающего воздуха.

2. Экспериментально установлено влияние температуры поверхностного слоя смерзающихся горных пород взорванного массива на производительность драглайна. Так, фактическое время рабочего цикла драглайна с понижением температуры поверхностного слоя пород забоя (от $+5^{\circ}\text{C}$ до -17°C) увеличивается в среднем в несколько (до 3,5) раз и, соответственно, резко снижается его производительность.

3. В условиях месторождений криолитозоны для вычисления продолжительности времени цикла драглайна в разные периоды года выведены эмпирические формулы:

$$\text{Весна-лето: } t_{\text{ц}} = e^{0,34 - 0,044T_n + 9,58 \cdot 10^{-4}T_n^2}, \text{ мин.};$$

$$\text{Осень-зима: } t_{\text{ц}} = 0,63e^{-0,03T_n}, \text{ мин.},$$

где T_n – температура пород в забое, град.

Таким образом, продолжительность рабочего цикла драглайна при экскавации смерзающейся взорванной массы в условиях месторождений криолитозоны является нелинейной параметрической функцией, отражающей его зависимость от температурного режима породы в забое экскаватора. Наличие отрицательной температуры в забое драглайна приводит к существенному снижению производительности, вплоть до полной остановки экскаватора.

4. Установлен характер изменчивости гранулометрического состава кусков породы в развале и забое драглайна при отработке смерзающихся взорванных ММГП, при этом отмечено, что при повышении температуры поверхности породы, доля крупных фракций более 500 мм существенно снижается (до 3 раз), а доля фракций 201-300 мм возрастает в 1,5-2 раза.

5. Для условий Кангаласского месторождения установлены зависимости производительности драглайна от температуры поверхностного слоя взорванного массива и размера среднего куска при последовательном обнажении забоя. Производительность драглайна увеличивается с 500 до 2500 м³/смену при повышении температуры поверхностного слоя и уменьшении размера среднего куска от 300 мм до 100 мм. При достижении температуры поверхностного слоя 5÷7°С наблюдается устойчивый разбор забоя с производительностью драглайна более 1000 м³/смену.

6. Обоснование производительности драглайна и выбор параметров экскавации обеспечивающих эффективную выемку смерзающейся взорванной горной массы в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны, необходимо производить с учетом изменения температуры и влажности горной массы в экскаваторном забое и массиве ММГП, гранулометрического состава породы в забое, а также схемы отработки блока и параметров забоя в разные периоды производства горных работ (весна-лето, осень-зима).

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ТРУДНОСТИ ЭКСКАВАЦИИ ВЗОРВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД, СКЛОННЫХ К ПОВТОРНОМУ СМЕРЗАНИЮ

3.1 Исследования прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез

Как выше отмечалось, производительность выемочного оборудования является основным технико-экономическим показателем эффективности открытых горных работ. Методика расчета производительности драглайнов такая же, как для всех видов выемочного оборудования, и показывает, сколько горной породы извлекает экскаватор из массива или развала за единицу времени. Существуют различные методики расчета производительности экскаваторов, предложенные ведущими учеными [98, 110, 124]. На настоящее время отсутствует единая универсальная методика расчета производительности экскаваторов, учитывающей все факторы которые в той или иной степени влияют на точность расчета производительности. К основным факторам влияния обычно относятся физико-механические свойства разрабатываемых горных пород, технологические параметры забоя, тип и параметры экскаватора, а также сложно поддающиеся к учету факторы (организационные, человеческий фактор машиниста-экскаватора и климатические условия). При этом, основные искомые технологические показатели (время рабочего цикла, угол поворота экскаватора, емкость ковша), для расчета производительности выемочных машин поддаются определению расчетным либо экспериментальным путем, после которых рекомендуется использовать поправочные коэффициенты, формулы и т.п.

В условиях экскавации взорванного массива пород месторождений криолитозоны, склонного к повторному смерзанию, производительность драглайна в таких условиях зависит от температурного режима породы в забое, влияющего на прочностные характеристики взорванной горной массы. Ввиду отсутствия напорного усилия на ковше драглайна, отработка забоя ведется по

всей его площади, в местах где есть возможность осуществить копание взорванной горной массы, с вынужденной тратой времени на «выкапывание» отдельных кусков и горной массы, частым холостым черпанием для наполнения ковша и периодическим изменением угла поворота. Многолетними натурными наблюдениями на разрезе «Кангаласский» отмечено, что в каких-то условиях экскавация смерзшейся взорванной горной массы драглайном ведется достаточно успешно, а в каких-то необходимо повторное рыхление бульдозером или привлечение экскаватора-мехлопаты вместо драглайна.

Эти особенности процесса экскавации предопределили необходимость обоснования в таких условиях области применения данного типа выемочной техники. Для решения поставленной задачи была разработана методика оценки относительного показателя трудности экскавации породы $P_{\text{Э}}$, предложенного академиком В.В. Ржевским, на основе сопоставления пород по экскавируемости, зависящих от свойств пород [125].

Как известно, горные породы подразделяют на сыпучие, мягкие, плотные, скальные, полускальные, и на разрушенные, характеризующиеся различными физико-технологическими свойствами. Ряд этих свойств используется для расчета или определения различных параметров и показателей [126, 127]. При выемке из массива (мягкие, плотные и полускальные породы) показатель трудности экскавации породы $P_{\text{Э}}$ определяется по формуле (3.1):

$$P_{\text{Э}}' = 0,3\lambda \cdot (0,2\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сдв}} + \sigma_{\text{р}}) + 0,3 \cdot \gamma, \quad (3.1)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$, – предел прочности при сжатии, кгс/см²; $\sigma_{\text{сдв}}$ – предел прочности при сдвиге, кгс/см²; $\sigma_{\text{р}}$ – предел прочности при растяжении, кгс/см²; γ – объемный вес породы, кгс/дм³; λ – коэффициент структурного ослабления пород в массиве в направлении копания.

Относительный показатель трудности экскавации разрушенных пород (взорванных) определяется по формуле (3.2):

$$P_{\text{Э}}'' = 0,022 \left(A + \frac{10A}{k_p^9} \right), \quad A = \gamma d_{\text{ср}} + 0,1\sigma_{\text{сдв}}, \quad (3.2)$$

где: $\sigma_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг, кгс/см²; $d_{ср}$ – средний размер кусков взорванной породы в развале, см; k_p – коэффициент разрыхления породы в развале; γ – объемный вес породы, кгс/дм³.

Для разрушенных и не разрушенных пород относительный показатель трудности экскавации имеет по 10 классов, и определяется с учетом коэффициентов, которые учитывают конкретную модель и типоразмер выемочного оборудования.

Для расчета Π_3 необходимо знать предел прочности на сдвиг (срез) исследуемой породы. В натуральных условиях нет возможности исследовать прочностные характеристики смерзшегося взорванного массива ММГП. Поэтому была разработана специальная методика исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез [128] для последующей оценки показателя трудности экскавации. Для этого сконструирован уникальный специализированный стенд (рисунок 3.1) для проведения испытаний на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП, способ изготовления которых защищен патентом РФ. [129].



Рисунок 3.1 – Стенд для проведения испытаний на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП

Так как одной из составляющей в формуле определения показателя трудности экскавации для разрушенных пород является предел прочности на сдвиг (срез), то необходимо установить, в соответствии с разработанной методикой, зависимость прочности смерзшихся горных пород на срез от влажности (W), температуры (t), гранулометрического состава (d_{cp}) и плотности упаковки (P).

Отличием разработанной методики от существующих, является то, что образцы не имеют плоскости смерзания и имитируют взорванный массив. Они состоят из включений разного размера, смороженные с песчаником при различной влажности, температуре и плотности упаковки.

Стенд для лабораторных исследований. Конструкция стенда для лабораторных исследований прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез показан на рисунке 3.2.

Он состоит из каркаса, который включает раму (1), основание (2) и укосины (3). Рама и укосины выполнены из прямоугольной профильной трубы размером 120x80x6 мм. Укосины (3) придают жесткость конструкции. Основное оборудование стенда располагается на основании из листа горячекатаного, толщиной 6 мм (2).

Устройство для размещения исследуемого породного материала (срезная коробка) включает две одинаковые по размерам кассеты-обоймы, внутренний диаметр которого составляет 350 мм и высота – 87,5 мм. Нижняя часть – неподвижная обойма (4), верхняя часть – подвижная обойма (5).

Для создания постоянного давления на образец при испытании на срез предусматривается использовать груз (6), масса которого рассчитывается исходя из условий экскавации. Сила давления, с которой груз давит на образец, рассчитывается по формуле (3.3):

$$F = PS = \rho ghS, \quad (3.3)$$

где, S – площадь поверхности, m^2 ;

ρ – плотность скелета исследуемого грунта, kg/m^3 ;

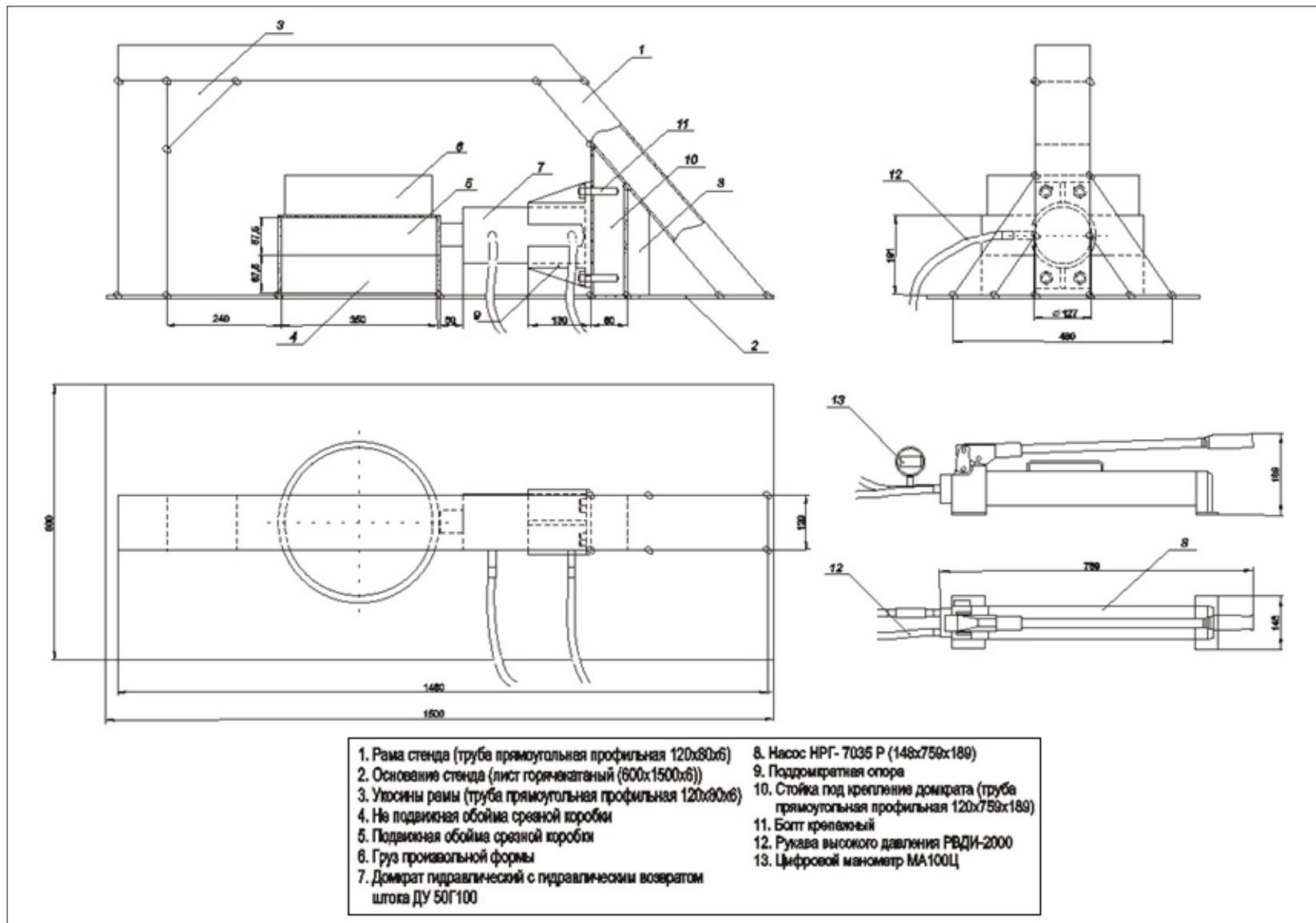


Рисунок 3.2 – Схема оригинального стенда для проведения испытаний на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – толщина стружки, м.

Плотность скелета исследуемых пород составляет 1500 кг/м³. Толщина стружки (h) определяется из условий экскавации. При врезании ковша в грунт достигается постепенное увеличение толщины срезаемой стружки грунта. Для расчетов принимаем приближенное значение $h = 0,4$ м. Площадь S на которую будет давить груз вместе с подвижной обоймой (5) равна площади поверхности цилиндрического образца и составляет 0,0962 м².

Таким образом, сила будет равна:

$$F = 1500 \cdot 9,8 \cdot 0,4 \cdot 0,0962 = 565,656 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2 (H) = 57,68 \text{ кгс}$$

Расчетная масса груза составляет 57,7 кг. Так как подвижная обойма имеет массу равную 15 кг, то необходимая масса груза составляет $57,7 - 15 = 42,7$ кг. Таким образом, для создания постоянного давления на образец при испытании на срез необходимо использовать груз с массой равной 43 кг.

Механизм создания горизонтальной сдвигающей силы осуществляется, с помощью гидравлического домкрата с гидравлическим возвратом штока (7) и ручного насоса (8) с распределителем. Домкрат крепится на стойке (9) из профильной прямоугольной трубы в поддомкратной опоре (10) с помощью крепежных болтов (11). Давление от насоса к домкрату передается через рукава высокого давления (12). Для фиксации срезающего усилия устанавливается цифровой манометр (13), который подключен к измерительному комплексу «Мера». Обработка полученных результатов производится программой «Digital Master». Значения измерения давления на манометре выводятся в Барах. Для дальнейшего использования полученных значений Бар переводятся в МПа согласно Международной системе единиц: 1 мегапаскаль [МПа] = 10 бар [бар].

Конструкция срезного прибора может выдерживает горизонтальное сдвигающее усилие на образец до 56 тс. В зависимости от площади среза образца 750 см² и предела прочности на сжатие вскрышных пород Кангаласского

месторождения в мерзлом состоянии 7 МПа [130], необходимое расчетное усилие составляет 35 тс.

Калибровка гидросистемы стенда. Для оценки точности полученных показаний была выполнена калибровка гидросистемы стенда и манометра на сертифицированной машине UTS-250. Калибровка производилась по заданным значениям давления: 50, 100, 150, 200, 250 и 300 Бар, которые фиксировались по манометру стенда. Данные калибровки по двум сериям испытаний представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Данные калибровки гидросистемы на UTS-250

Значение давления по манометру, Бар	50	100	150	200	250	300
Значение давления в МПа	5	10	15	20	25	30
Нагрузка на UTS-250, – 1 эксперимент, кН.	38,52	78,71	118,05	156,56	196,26	234,79
Нагрузка на UTS-250, – 2 эксперимент, кН.	39,12	77,97	117,54	156,68	196,03	235,05
Расчетная нагрузка, кН.	39,3	78,5	117,8	157,1	196,3	235,6
Погрешность экспериментальной нагрузки к расчетной, %	2,0/1,5	0,2/0,7	0,2/0,3	0,3/0,3	0,1/0,2	0,3/0,2

Расчетная нагрузка, развиваемая системой, определялась как:

$$F = P \cdot S,$$

где P – давление в гидросистеме, МПа;

S – площадь поперечного сечения поршня домкрата, мм².

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ мм}^2,$$

где, D - диаметр поршня, равный 100 мм;

Тогда, например, при давлении в системе 5 МПа и площади поршня 7850 мм², расчетная нагрузка составляет $F = 5 \cdot 7850 = 39250$ Н, что соответствует 39,3 кН.

На рисунке 3.3 представлен поверочный график зависимости изменения расчетной нагрузки и нагрузки полученной при двух испытаниях, от давления в системе.

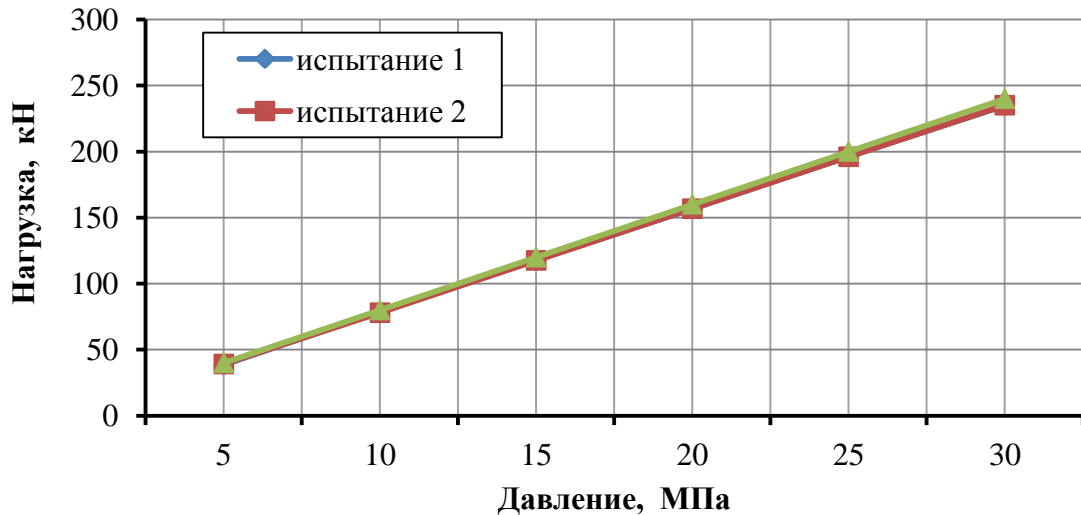


Рисунок 3.3 – Изменение нагрузки при задаваемом давлении в гидросистеме

Полученные результаты имеют хорошую сходимость. Погрешность в расхождении расчетной нагрузки и полученной при испытании на UTS-250 составляет, в среднем, 0,5%, что является достаточной точностью для проведения эксперимента.

Обоснование размеров испытываемого образца. Для изготовления образцов были отобраны по ГОСТ 12071-2001 [105] вскрышные породы с разреза Кангаласский, представляющие собой средне- и мелкозернистые песчаники. Влажность отобранных проб определены по ГОСТ 12248-2010 [106].

Прочностные свойства горных пород желательно определять на образцах большого размера, элементарный объем должен быть достаточным (наличие их структурных и текстурных элементов), чтобы они обладали всеми свойствами породы. [131]. Минимальный размер образца для большинства горных пород следует выбирать большим, примерно, чем 6-7 средних диаметров зерен породы [126].

Сопротивление срезу грунтов нарушенного сложения можно определять на образцах формы прямоугольного параллелепипеда с соотношением меньшей стороны к большей 1:1,5 и высотой, равной половине меньшей стороны параллелепипеда или согласно ГОСТ 12248-2010 на образцах формы цилиндра,

диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/3 до 1/2 диаметра. Максимальный размер фракции грунта (включений, агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца [106]. Форма образца выбрана цилиндрическая.

Необходимые размеры образца, соотношение включений к связующему, размеру включений определяются по данным практики, а также на основе положений теории подобия, предусматривающей геометрическое подобие образца и природы, геометрическое подобие гранулометрических составов, равенство объемных весов, геометрический масштаб принят 1:1000 [126, 132]. Исходя из гранулометрического состава исследуемого взорванного массива, на разрезе Кангаласский средний диаметр кусков составляет 300 мм. Поэтому при изготовлении включений, при формировании образца, их размер принят 30×30×30 мм [126].

При длительных испытаниях прочность кубика супесчаного гравия с галькой размерами 200×200×200 мм практически соответствует прочности образца неограниченно большого размера, о котором отметил в своей работе В.Н. Тайбашев [10]

Учитывая, вышесказанное для наших исследований были приняты следующие размеры: диаметр образца – 350 мм, а высота – 175 мм. Объем полученного образца составляет 16828,4 см³. Необходимое количество породы для изготовления одного такого образца с объемным весом породы 1,6 г/см³, составляет 26,9 кг. Для перемещения образцов внутри лабораторного помещения предусматривается использование тележки.

Изготовление смерзшегося образца, структурно сопоставимого с взорванным массивом горных пород. Испытания проводились на образцах различной структуры и плотности, состоящих из средне- и мелкозернистого песчаника. С точки зрения материаловедения, образец, состоящий из песчаника средне- и мелкозернистого, можно назвать матрицей, состоящей из сплошной среды, а образец с включением – композиционный материал, состоящий из матрицы (или связующего) и включенных в нее элементов (или наполнитель).

Поэтому, в дальнейшем в методике, изготовленные элементы кубической формы принято называть включениями (рисунок 3.3).

Процесс изготовления смерзающегося образца с включениями состоит из двух этапов [133-135]. Перед испытанием образца, вычисляют объемный вес исследуемого грунта, для этого:

- взвешивают породу в образце и вычисляют объем образца;
- отношение массы к объему (г/см^3) записывают в таблицу измерений.

Плотность исследуемого грунта составляет $1,5 \text{ г/см}^3$.



Рисунок 3.4 – Образец, структурно сопоставимый с взорванным массивом горных пород: 1 – включения; 2 – связующее

1 этап: В специально изготовленный деревянный поддон укладывают сетку из металлических полос. Размер ячеек соответствует размеру включений, который в данный момент необходим для проведения эксперимента. Поддон с ячейками наполняют породой и уплотняют, удержанием 10-20 сек на вибростоле.

Для предотвращения прилипания при замораживании породы, на дно поддона укладывают полосы из пластикового материала. Поддон с породой устанавливают в холодильную камеру «Castlcool» и замораживают до заданной температуры. Замораживание производят при температурах: -5 , -10 , -15°C . Время пребывания в холодильной камере подбирается с таким расчетом, чтобы порода в

поддоне полностью промерзла и приняла температуру окружающей среды камеры. Измерение температуры внутри образца проводят контактным термометром «CENTER-314». Экспериментально установлено, что за сутки порода в поддоне полностью замораживается. Для предотвращения оттаивания включений, работы по изготовлению включений и разбор поддона с ячейками после заморозки проводят в климатической камере, с регулируемым уровнем отрицательных температур от -5 до -20°C.

2 этап: Для лучшего сцепления со связующим (матрицей), изготовленные мерзлые включения выдерживают при комнатной температуре, до появления конденсата на поверхности. Продолжительность влияния положительной температуры для протаивания на глубину 1 мм рассчитывается из формулы профессора Стефана [30]:

$$h = \sqrt{\frac{2\lambda T_s \tau}{\rho \omega L_{ice}}}, \text{ откуда } \tau = \frac{h^2 \rho \omega L_{ice}}{2\lambda T_s},$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; T_s – температура поверхности почвы, °К; τ – продолжительность теплого периода, с; L_{ice} – удельная теплота таяния льда, Дж/кг; ω – влажность породы, кг/кг; ρ – плотность породы, кг/м³.

Исходя из условий эксперимента, для образцов различной влажности и температуры, необходимая продолжительность пребывания при положительной температуре показана в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Необходимое время воздействия положительной температуры (сек) для протаивания на глубину 1 мм

Влажность, %	5	10	15
Температура, град.			
-5	31,1	62,3	93,4
-10	31,7	63,5	95,2
-15	32,4	64,7	97,1

Коэффициент теплопроводности песчаника составляет $\lambda=1,5$; температура поверхности образцов варьируется от -5 до -15°C, что составляет 268,1-258,1 К;

удельная теплота таяния льда $L_{ice} = 334000$ Дж/кг; влажность породы $\omega = 0,05 - 0,15$ кг/кг; плотность породы 1500 кг/м³. Таким образом, необходимое время нахождения образцов в теплом помещении составит $0,5 - 1,5$ мин в зависимости от влажности и температуры породы в образце.

Затем работы по изготовлению образца проводят в холодильной камере. Перемешивают включения со связующим (в соотношении 70% на 30%) в талом состоянии (положительной температуры) и помещают в специально изготовленную разъемную цилиндрическую форму (гильзу). Связующее должно быть той же влажности, что и включения. При условии уплотнения образцов, их уплотняют соответствующей нагрузкой по заданию на проведение эксперимента. Уплотнение производят с усилием, заданным условием на проведение эксперимента в течение 5 мин [106]. После гильзу с породой устанавливают в климатическую камеру и замораживают до заданной температуры, по условию эксперимента, и выдерживают в холодильной установке, контроль температуры осуществляется электронным термометром с датчиком из нержавеющей стали. Время замораживания установлено экспериментально и составляет одни сутки при влажности 5%, при влажности образца 10% и 15% - двое суток.

Выбор основных влияющих факторов. В работе Скубы Л.П. отмечено, что на процесс вторичного смерзания оказывает влияние давление, с которым куски горной массы прижимаются друг к другу во взорванном развале, температура пород, температура и влажность воздуха, время смерзания [33]. Так же на прочность смерзания влияют влажность и гранулометрический состав пород.

Прочностные характеристики смерзшегося взорванного массива определяются величиной площадки контакта отдельных кусков породы, увеличиваются по глубине навала и достигают максимального значения на контакте кусков с подошвой массива. На куски находящиеся внутри развала взорванной породы действует статическое давление, в связи, с чем они и прижимаются друг к другу. Эти условия характеризуют плотность упаковки. Так

плотность упаковки образцов структурно сопоставимых с взорванным массивом в 1,6 и 3,1 МПа соответствуют примерным условиям сжимающего давления пород на глубинах 10 и 20 метров от поверхности развала взорванной горной массы.

На основе анализа априорной информации включению в эксперимент подлежат 4 варьируемых фактора по три значения (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Основные характеристики для проведения испытаний и изготовления образцов

	Название	Вариация	Размерность
1.	Температура замораживания образцов (t)	-5	°C
		-10	
		-15	
2.	Влажность пород (w)	5	%
		10	
		15	
3.	Размер включений кубической формы	10 x 10 x 10	мм
		20 x 20 x 20	
		40 x 40 x 40	
4.	Нормальное давление при формировании образца (P)	Без уплотнения	МПа (т)
		1,6 (1,3)	
		3,1 (2,5)	

Т.е. число уровней каждого фактора 3, а число факторов 4. Уровни выбирались таким образом, чтобы их сочетание отвечало значению параметра оптимизации, по возможности более близкому к оптимальному. Таким образом, число всех сочетаний уровней факторов, а, следовательно, и число опытов в полном факторном эксперименте, определяется выражением: $3^4 = 81$ опыт. Исходя из того, что в каждом опыте испытанию подвергается 6 образцов, необходимое число экспериментов составит 486. В ходе эксперимента и обработки полученных данных возможно исключение из процесса исследования несущественных факторов. Остаются только те варьируемые факторы, отклик которых потенциально пригоден для описания исследуемого процесса. При этом могут быть приняты решения об изменении направления ведения и объема эксперимента.

Порядок проведения эксперимента. После замораживания, разъемная гильза разбирается, и подготовленный образец укладывается в нижнюю неподвижную кассету-обойму (4) срезной коробки и закрывается верхней подвижной обоймой (5) оставляя между обоймами зазор в 1-2 мм. Сверху на образец укладывается груз массой 42,7 кг для передачи нормального давления и подвергают испытанию на специально сконструированном стенде. Испытание считается законченным, если происходит мгновенный срыв одной части пород, находящейся в верхней кассете или общая деформация среза превысит 5 мм [136]. Значения сопротивления срезу автоматически фиксируются по цифровому манометру (13), который подключен к измерительному комплексу «Мера».

По окончании испытаний верхняя подвижная обойма (5) снимается, поверхность среза на нижней и верхней частях тщательно обследуют, производится описание характерных особенностей. Поверхности среза фотографируют.

Обработку полученных результатов производят программой «Digital Master», которая установлена на ноутбуке, и имеет следующие возможности:

- фиксация изменения параметров цифрового манометра;
- опрос параметров с последующим их сохранением в файле;
- построение графиков опрашиваемых параметров по ранее сохраненным данным;
- просмотр передаваемых / принимаемых пакетов данных.

Результаты испытаний заносят в журнал (таблица 3.7).

Число образцов и порядок обработки результатов измерений. При исследовательских испытаниях согласно ГОСТ 2153.2 – 84 количество образцов должно быть не менее 6 при условии обеспечения надежности α результатов не ниже 0,8 и относительной погрешности ε не более 20%, и не менее 10 при условии обеспечения надежности α результатов не ниже 0,95 и относительной погрешности ε не более 10% [137].

Необходимое число измерений определяется по формуле (2.5) [107]:

$$n = t^2 \frac{v^2}{K_{\text{доп}}^2},$$

где n – число испытаний;

$K_{\text{доп}}$ – допустимая ошибка, %;

t – нормированное отклонение;

v – коэффициент вариации, %.

$$v = \frac{S}{\sigma_{\text{ср}}},$$

где S – среднее квадратическое или стандартное отклонение;

$\sigma_{\text{ср}}$ – среднее значение результатов измерений.

Нормированное отклонение принимается в зависимости от задаваемой степени надежности наблюдений и составляет 1,96 при $\alpha=0,95$ (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Величина нормированного отклонения

Нормированное отклонение, t	Задаваемая надежность, α
1,0	0,68
1,04	0,7
1,15	0,75
1,28	0,8
1,44	0,85
1,65	0,9
1,96	0,95
2,0	0,99
3,0	0,997
4,0	0,999

Величина допустимой ошибки принимается в размере 10-15%. Коэффициент вариации задается в пределах 15-20%. В дальнейшем его величину рекомендуется корректировать по фактическим данным.

$$n = 1,96^2 \frac{15^2}{12^2} \approx 6.$$

Определение фактической надежности α результатов испытаний и уточнение необходимого числа образцов n производят по таблице 3.5 по

заданному максимальному значению относительной погрешности ε , вычисленному значению коэффициента вариации ν и числу испытанных образцов n .

Таблица 3.5 – Определение фактической надежности α результатов испытаний

Значение ε/ν	Надежность α , %, при числе образцов n										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,4	33	44	52	58	63	66	70	74	76	79	81
0,6	45	59	68	75	80	84	87	89	91	92	94
0,8	54	71	79	85	90	92	94	96	96	98	98
1,0	61	77	86	91	94	96	97	98	99	99	99
1,2	66	82	90	94	96	98	99	99	100	100	100
1,4	70	86	93	96	98	99	99	100	100	100	100
1,6	73	89	95	98	99	99	100	100	100	100	100

Если определенное таким образом значение надежности меньше заданного, то испытывают дополнительное число образцов. После испытания обработку результатов повторяют для нового числа образцов. Так как количество образцов при исследовательских испытаниях определено не менее 6, то при обработке результатов измерений необходимо последовательно выполнять следующие операции:

1. Вычислять среднее значение прочности срезавшихся пород на срез σ из $n=6$ измерений:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_1 + \dots + \sigma_n}{n} = \frac{\sum \sigma_n}{n};$$

2. Определять погрешность отдельных измерений $V_i = \sigma - \sigma_i$;

3. Вычислять квадраты погрешностей отдельных измерений V_i^2 ;

4. Если несколько измерений резко отличаются по своим значениям от остальных измерений, то проверяют, не являются ли они промахом. При исключении одного или нескольких измерений п.п. 1...4 повторяют;

5. Определять среднее квадратичное отклонение результата серии измерений по формуле

$$S_a = \frac{\sqrt{\sum(\sigma_i - \sigma)^2}}{n - 1};$$

6. Задавать значение надежности α (по таблице 3.4);

7. Определять коэффициент Стьюдента $t_\alpha(n)$ для выбранной надежности α и числа проведенных измерений n , по таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Определение коэффициента Стьюдента $t_\alpha(n)$

$\alpha \backslash n$	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	0,33	0,73	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	0,29	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,28	0,58	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,27	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,27	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,27	0,55	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,26	0,55	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,26	0,54	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,26	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
15	0,26	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
20	0,26	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
25	0,26	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7

8. Находить границы доверительного интервала:

$$\Delta x = t_\alpha(n) \cdot S_a,$$

где $t_\alpha(n)$ – коэффициент Стьюдента;

S_a - среднее квадратичное отклонение.

9. Окончательный результат записывают в виде:

$$\sigma_{\text{срез.}} = \sigma_{\text{ср.}} \pm \Delta x,$$

где $\sigma_{\text{ср.}}$ – среднее арифметическое;

Δx – доверительный интервал.

После испытания обработку результатов повторяют для нового числа образцов, вычисления производят с точностью до 0,01 МПа. Полученные результаты испытаний записываются в таблицу, образец заполнения представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Образец заполнения результатов испытаний прочности на срез

20.11.2015		06.11.2015		24.11.2015	
-5°C; W=10%; без уплотнения		-10°C; W=10%; без уплотнения		-15°C; W=10%; без уплотнения	
№ образца	$\sigma_{\text{среза}}$, МПа				
1	0,2	0,28	0,28		0,35
2	0,23	0,26	0,26		0,38
3	0,22	0,28	0,28		0,43
4	0,19	0,38			0,33
5	0,23	0,31	0,31		0,32
6	0,24	0,3	0,3		0,39
Среднее значение	0,22	0,3	0,29		0,37
Стандартное отклонение	0,02	0,04	0,02		0,04
Коэффициент вариации	9%	14%	7%		11%
при количестве образцов n	1,48	1,48	1,53		1,48
Доверительный интервал	0,03	0,06	0,03		0,06

3.2 Результаты лабораторных исследований прочности смерзшихся горных пород на срез и оценка показателя трудности экскавации взорванных горных пород

В рамках исследований получены данные о прочности на срез образцов однородной структуры (без включений), при изменении температуры, влажности и плотности упаковки [138]. Все исследования проведены в соответствии разработанной методики исследования прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез, с с доверительной вероятностью 0,95 и коэффициентом вариации в пределах 15-20%. Результаты проведенных испытаний на образцах однородной структуры, приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты испытаний прочности на срез образцов однородной структуры

		Прочность на срез ($\sigma_{ср}$), МПа								
		Б/У			1,6			3,1		
Уплотнение нагрузкой, МПа		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Влажность, %		5	10	15	5	10	15	5	10	15
Температура, °С	-5	0,07	0,08	0,2	0,11	0,36	0,77	0,12	0,62	1,08
	-10	0,1	0,12	0,28	0,16	0,5	1,17	0,23	1,01	1,77
	-15	0,1	0,16	0,34	0,19	0,81	1,65	0,26	1,24	2,13

Как видно из таблицы 3.8, с увеличением нагрузки при уплотнении образцов однородной структуры и понижении температуры прочность на срез увеличивается. При понижении температуры от -5°C до -15°C наблюдается увеличение прочности на срез в среднем в 2 раза при разных влажностях образцов горной породы. По полученным данным исследований установлен характер изменения прочности на срез смерзшихся вскрышных пород однородной структуры при их различной влажности, температуре и плотности упаковки. При увеличении влажности и плотности упаковки прочность на срез увеличивается, а при повышении температуры – уменьшается.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что образцы влажностью 5% не смерзаются и это является критической влажностью, при которой повторное смерзание пород Кангаласского месторождения не происходит. Поэтому при дальнейших экспериментальных исследованиях были установлены минимальные значения влажности и температуры, которые составили соответственно 10% и -5°C , а максимальные значения – 15% и -15°C .

В рамках исследований получены данные о прочности на срез неуплотненных образцов (состояние пород в поверхностном слое развала) нарушенной структуры с включениями размером 20x20x20 мм и 40x40x40 мм, при изменении температуры и влажности и приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты испытаний на срез неуплотненных образцов однородной и нарушенной структуры с включениями размером 20x20x20 мм и 40x40x40 мм

Температура, °С	$\sigma_{ср}$, МПа, при W=10%			$\sigma_{ср}$, МПа, при W=15%		
	Однородные (без включений)	С включениями 20x20x20 мм	С включениями 40x40x40 мм	Однородные (без включений)	С включениями 20x20x20 мм	С включениями 40x40x40 мм
-5	0,08	0,22	0,22	0,2	0,55	0,45
-10	0,12	0,34	0,29	0,28	0,85	0,71
-15	0,16	0,37	0,37	0,34	0,89	0,85

Как видно из таблицы 3.9, показатели прочности на срез образцов нарушенной структуры с включениями изменяются незначительно при всех диапазонах температур и влажностей. Прочность на срез образцов нарушенной структуры с включениями в среднем в 2,6 раза больше чем значения образцов однородной структуры (без включений).

При минимальных и максимальных значениях влажности и температуры были проведены испытания для оценки влияния гранулометрического состава взорванных пород на прочность на срез при различной плотности упаковки [139] (рисунок 3.5). Полученные данные прочности на срез представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты испытаний прочности на срез при минимальных и максимальных значениях влажности и температуры и при различной плотности упаковки

Температура/ влажность	Уплотнение нагрузкой, МПа	20x20x20 мм	40x40x40 мм	50x50x50 мм
-5 °С 10%	Б/У	0,22	0,22	0,21
	1,6	0,25	0,29	0,28
	3,1	0,42	0,4	0,41
-15 °С 15%	Б/У	0,89	0,85	0,68
	1,6	1,52	1,2	0,99
	3,1	1,74	1,67	1,36

Также ниже показаны характерные графики изменения прочности на срез от температуры и влажности (рисунок 3.6) и плотности упаковки (рисунок 3.7).

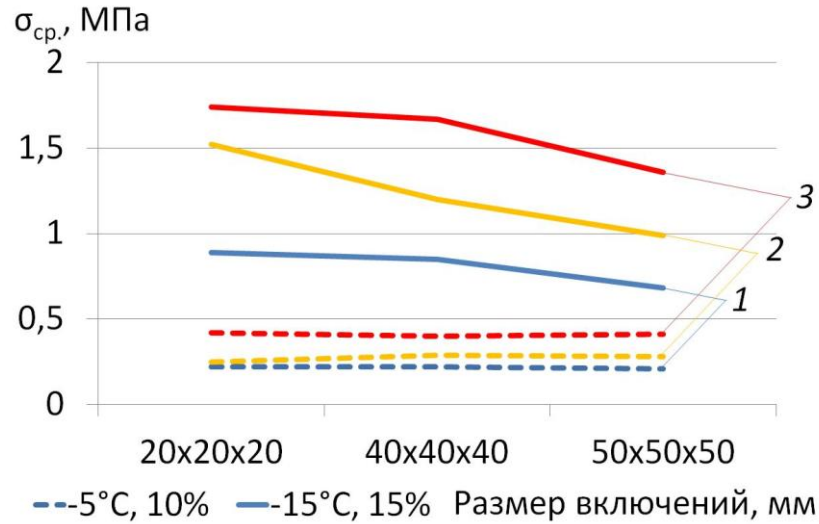


Рисунок 3.5 – Влияние размера включений на прочность на срез образцов нарушенной структуры при минимальных значениях влажности (10%), температуры (-5°C) и максимальных значениях влажности (15%), температуры (-15°C): 1 – плотность упаковки (P) без уплотнения, 2 – P = 1,6 МПа, 3 – P = 3,1 МПа

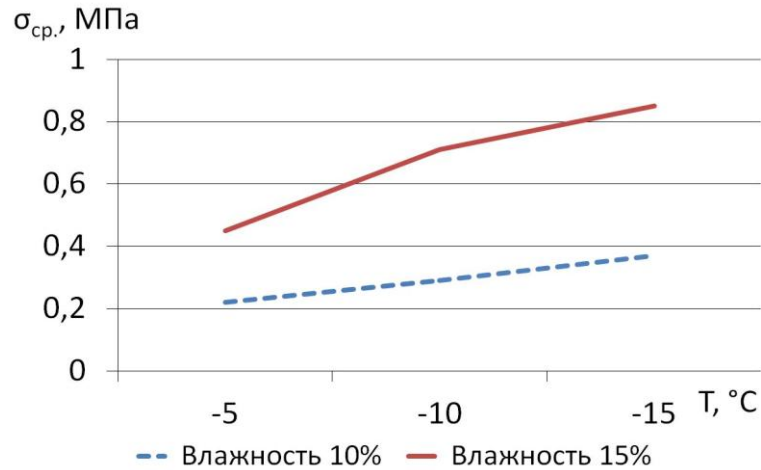


Рисунок 3.6 – Влияние температуры и влажности на прочность на срез образцов нарушенной структуры с включениями 40x40x40 мм

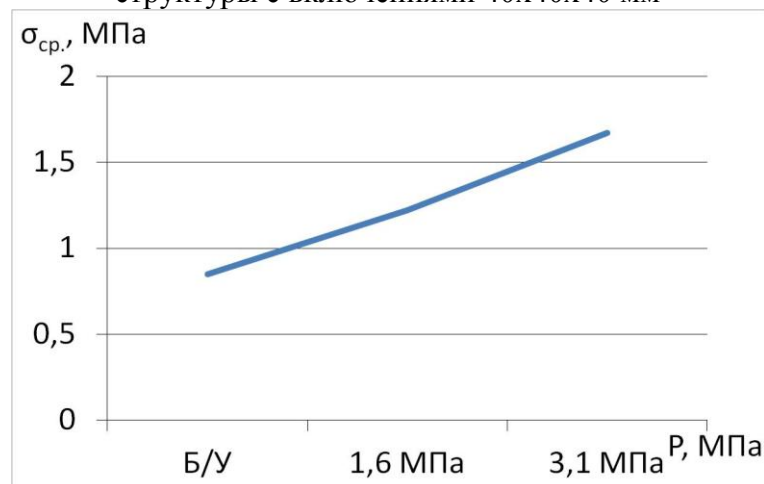


Рисунок 3.7 – Влияние плотности упаковки на прочность на срез образцов нарушенной структуры с включениями 40x40x40 мм

Из рисунка 3.5 наглядно видно, что при минимальных значениях влажности 10% и температуры -5°C значения прочности на срез образцов нарушенной структуры практически одинаковы, т.е. размер включений не оказывает существенного влияния на прочность на срез в этих условиях. Значения прочности на срез образцов однородной структуры подвергшихся уплотнению нагрузками в 1,6 и 3,1 МПа больше примерно в 1,4 раза, чем образцов нарушенной структуры. Как и следует из предыдущих испытаний – чем больше плотность упаковки на образцах структурно сопоставимых с взорванным массивом, тем прочнее они становятся. При максимальных значениях влажности 15% и температуры -15°C , значения прочности на срез образцов нарушенной структуры уменьшаются с увеличением размера включений от 20x20x20 мм до 50x50x50 мм.

Таким образом, установлено, что прочность на срез образцов нарушенной структуры увеличивается с понижением температуры, а также с увеличением влажности и плотности упаковки. Установлено, что размер включений в образцах нарушенной структуры при минимальных значениях влажности 10% и температуры -5°C (сопоставимых для вскрышных пород Кангаласского месторождения) не оказывает существенного влияния на прочность на срез. Однако с увеличением влажности и понижении температуры породы прочность на срез образцов изменяется в сторону снижения в зависимости от увеличения размера включений.

Выполненными экспериментальными исследованиями установлено, что при влажности 15% и температуре заморозки породы -15°C и при уплотнении образцов нарушенной структуры до 3,1 МПа значения прочности на срез в зависимости от размера среднего куска (1,67 и 1,76 МПа), сопоставимы с прочностными характеристиками однородного массива в тех же диапазонах температуры, влажности и уплотнения нагрузкой в 1,6 МПа (рисунок 3.8).

Полученные результаты показывают, что взорванный массив ММГП, склонный к повторному смерзанию, является сложной средой, обладающей

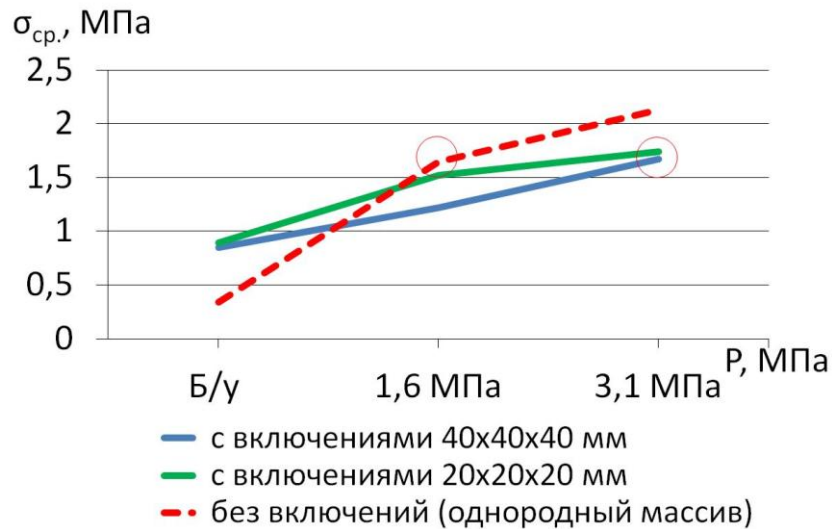


Рисунок 3.8 – Зависимость прочности на срез образцов нарушенной структуры с разным размером включений и без включений, при температуре -15°C и влажности 15% от плотности упаковки (б/у – без уплотнения, соответствует условиям расположения пород на поверхности развала, 1,6 МПа – соответствует условиям сжимающего давления пород на глубине 10 м от поверхности развала, 3,1 МПа – на глубине 20 м от поверхности развала

свойствами как нарушенного, так и однородного массива. Поверхность развала взорванной породы в условиях незначительных усилий нормального давления по высоте можно отнести к нарушенной (взорванной среде), а оставшаяся нижняя часть развала породы, в условиях более значительного давления, обладает свойствами однородной среды (не нарушенного массива ММГП), что приводит к значительным трудностям экскавации, либо невозможности ее осуществления без дополнительного рыхления смерзшегося горного массива.

На основе полученных лабораторным путем значений предела прочности на срез на образцах нарушенной структуры рассчитаны показатели трудности экскавации (таблица 3.11) [140-142].

Таблица 3.11 – Изменение показателя трудности экскавации образцов с включениями $d_{cp} = 40$ мм при влажности породы 15% и температуры смерзания -15°C от плотности упаковки

	Нарушенная структура с включениями $d_{cp} = 40$ мм,		
	Без уплотнения	P = 1,6 МПа	P = 3,1 МПа
Предел прочности на срез, МПа	0,85	1,22	1,67
Показатель трудности экскавации	4,19	6	7,4

В.В. Ржевский установил, что эффективная экскавация разрушенных пород драглайном зависит от массы и емкости ковша. При увеличении емкости ковша с 4 до 15 м³ использование драглайнов по показателю трудности экскавации (P_3) расширяется с 4 до 8. Установлено, что для условий разреза «Кангаласский» стабильная работа экскаватора-драглайна при экскавации взорванного смерзающегося массива ММП будет обеспечена при показателе трудности экскавации до 6, что соответствует отработке верхней части развала (рисунок 3.9).

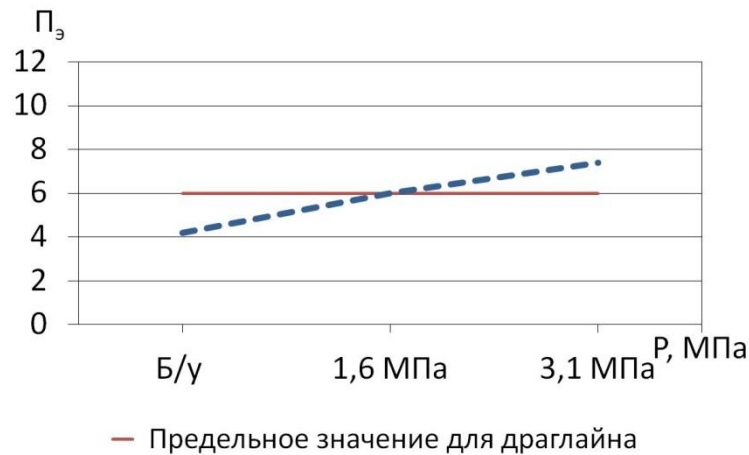


Рисунок 3.9 – Изменение показателя трудности экскавации в зависимости от плотности упаковки для условий разреза «Кангаласский» (б/у – без уплотнения, соответствует условиям расположения пород на поверхности развала, 1,6 МПа – соответствует условиям сжимающего давления пород на глубине 10 м от поверхности развала, 3,1 МПа – на глубине 20 м от поверхности развала)

Средняя часть развала по высоте и ниже характеризуются показателем трудности экскавации 6 и более. В этих условиях экскавации смерзающегося взорванного массива существенно затруднен разбор забоя, снижается наполнение ковша, что, в конечном счете, приводит к увеличению времени рабочего цикла экскаватора и снижению его производительности. Полученные результаты расчетов подтверждаются многолетней практикой ведения горных работ на разрезе «Кангаласский».

Таким образом, разработанная методика позволила обосновать область эффективного применения драглайна ЭШ-10/70 для условий разреза

«Кангаласский» на основе установленных закономерностей изменения прочности на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом, в зависимости от температуры, влажности, гранулометрического состава и плотности их упаковки.

Выводы

1. Разработан оригинальный стенд для исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез, на образцах структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП.

2. Проведены исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород для последующей оценки показателя трудности их экскавации и обоснования условий эффективного применения бестранспортной технологии на разрезе «Кангаласский».

3. В результате экспериментальных исследований, установлено, что образцы влажностью 5% не смерзаются и это является критической влажностью, при которой повторное смерзание пород Кангаласского месторождения не происходит.

4. Экспериментально установлено, что прочность на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП, растет с понижением температуры, а также с увеличением влажности и плотности упаковки. Размер включений в образцах нарушенной структуры при минимальных значениях влажности 10% и температуры -5°C (по условиям эксперимента, для вскрышных пород Кангаласского месторождения) не оказывает существенного влияния на прочность на срез. Однако с увеличением влажности и понижении температуры породы прочность на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом, изменяется в сторону снижения в зависимости от увеличения размера включений.

5. Установлено, что взорванный массив ММГП, склонный к повторному смерзанию является сложной средой, обладающей свойствами как нарушенного, так и однородного массива. Поверхность развала взорванной породы в условиях незначительных усилий нормального давления по высоте можно отнести к нарушенной (взорванной среде), а оставшаяся нижняя часть развала породы, в условиях более значительного давления, обладает свойствами однородной среды (не нарушенного массива ММГП), что приводит к значительным трудностям экскавации, либо невозможности ее осуществления без дополнительного рыхления смерзшегося горного массива.

6. Установлено, что для условий разреза «Кангаласский» стабильная работа экскаватора-драглайна при экскавации взорванного смерзающегося массива ММГП будет обеспечена при показателе трудности экскавации до 6, что соответствует отработке верхней части развала. Средняя часть развала по высоте и ниже характеризуются показателем трудности экскавации 6 и более. В этих условиях экскавация смерзшегося взорванного массива максимально затруднена.

ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ И ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА (ВЕСНА-ЛЕТО, ОСЕНЬ-ЗИМА)

4.1 Рекомендации по выбору и обоснованию рациональных технологических параметров разработки массива взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию для условий разреза «Кангаласский»

Бестранспортная система разработки – наиболее экономичная система при открытом способе разработки полезных ископаемых. Основным выемочным оборудованием при бестранспортной технологии вскрышных работ является драглайн. Наибольшее распространение данная технология получила на угольных месторождениях. В настоящее время на открытых горных работах в РФ задействованы порядка 270 шт. драглайнов различной единичной мощности [143]. Также бестранспортная технология с применением драглайнов используется при разработке россыпных месторождений [144-146].

Для эффективного ведения бестранспортной технологии горных работ при разработке пластовых месторождений в условиях криолитозоны необходимо учитывать температурный режим пород, изменение гранулометрического состава пород в развале и забое, параметры забоя и схему отработки экскаваторного блока. Для условий Кангаласского месторождения обоснованы рациональные параметры и переданы рекомендации для их использования на разрезе.

Обоснование рациональных параметров экскавации драглайном осуществлено расчетами соответствующих параметров при изменении температуры, ширины заходки и высоты уступа, а также при различных технологических схемах выкладки вскрыши в отвал. Расчетными параметрами являются сменное подвигание забоя и производительность драглайна в зависимости от температуры и периода года. При расчетах используются

эмпирические выражения (2.6, 2.7) времени рабочего цикла в разные периоды года, предложенный в разделе 2.2 диссертационной работы.

Высоты вскрышных уступов приняты 15 м, 20 м, и 25 м, ширина заходки выбрана 40 м и 50 м. Рекомендуемые параметры экскавации драглайном при различной высоте уступа и ширины заходки и значения температуры пород в забое в разные периоды года представлены в таблице 4.1. и 4.2.

Таблица 4.1. – Рекомендуемые параметры экскавации с отсыпкой отвала конусом в весенне-летний период

Показатели и параметры	Модель драглайна			
	ЭШ-11/70			
Модель драглайна на вскрышном уступе	ЭШ-11/70			
Модель драглайна на породном прослое	ЭШ-11/70			
Ширина вскрышной заходки (м)	40	40	40	40
Ширина выработанного пространства (м)	40	40	40	40
Высота вскрышного уступа(м)	15	15	15	15
Угол откоса вскрышного уступа (град.)	75	75	75	75
Мощность верхнего пласта полезного ископаемого (м)	10	10	10	10
Мощность породного прослоя (м)	2	2	2	2
Мощность нижнего пласта полезного ископаемого(м)	5	5	5	5
Угол откоса предотвала(град.)	45	45	45	45
Угол откоса пластов полезного ископаемого (град.)	80	80	80	80
Угол откоса яруса отвала (град.)	45	45	45	45
Объем экскаваторной заходки в целике (м ³ /п.м.)	600	600	600	600
Высота предотвала (м)	16,3	16,3	16,3	16,3
Объем развала породы (м ³ /п.м.)	690	690	690	690
Коэффициент сброса	0,22	0,22	0,22	0,22
Объем породы на верхней поверхности развала (м ³ /п.м.)	92	92	92	92
Глубина отвальной ёмкости (м)	3,2	3,2	3,2	3,2
Общий объем работ по переэкскавации (м ³ /п.м.)	78	78	78	78
Итоговый коэффициент переэкскавации	0,11	0,11	0,11	0,11
Производительность экскаватора по целику (м ³ /мес)	34898	64938	70912	82636
Сменное подвигание забоя по целику (м)	2,4	4,5	4,9	5,7
Количество смен в день	2	2	2	2
Количество рабочих дней	24	24	24	24
Длина экскаваторного блока (м)	116	216	236	275
Длина экскаваторного блока с учетом разработки междупластья (м)	112	210	229	267
Температура породы в забое (град.)	-12	-1	1	5

Величину сменного подвигания забоя драглайна рекомендуется определять на основе установленной взаимосвязи между временем цикла драглайна и температурой пород в забое по формуле 4.1:

$$L = \frac{60 \cdot T_{см} \cdot E \cdot K_{нк} \cdot K_{ис}}{T_{ц} \cdot B \cdot h \cdot K_p^2 \cdot (1 - K_c)(1 + K_n)}, \text{ м/смену,} \quad (4.1)$$

где $T_{см}$ - время смены, час;

E – ёмкость ковша, м³;

$K_{нк}$ – коэффициент наполнения ковша;

$K_{ис}$ – коэффициент использования экскаватора во времени;

B – ширина экскаваторной заходки, м;

h – высота вскрышного уступа, м;

K_p, K_c, K_n – коэффициенты разрыхления, сброса и переэкскавации соответственно.

Таблица 4.2. – Рекомендуемые параметры экскавации с отсыпкой отвала конусом в осенне-зимний период

Показатели и параметры	Модель драглайна			
Модель драглайна на вскрышном уступе	ЭШ-11/70			
Модель драглайна на породном прослое	ЭШ-11/70			
Ширина вскрышной заходки (м)	40	40	40	40
Ширина выработанного пространства (м)	40	40	40	40
Высота вскрышного уступа(м)	15	15	15	15
Угол откоса вскрышного уступа (град.)	75	75	75	75
Мощность верхнего пласта полезного ископаемого (м)	10	10	10	10
Мощность породного прослоя (м)	2	2	2	2
Мощность нижнего пласта полезного ископаемого(м)	5	5	5	5
Угол откоса предотвала(град.)	45	45	45	45
Угол откоса пластов полезного ископаемого (град.)	80	80	80	80
Угол откоса яруса отвала (град.)	45	45	45	45
Объём экскаваторной заходки в целике (м ³ /п.м.)	600	600	600	600
Высота предотвала (м)	16,2	16,2	16,2	16,2
Объем развала породы (м ³ /п.м.)	690	690	690	690
Коэффициент сброса	0,23	0,23	0,23	0,23
Объем породы на верхней поверхности развала (м ³ /п.м.)	92	92	92	92
Глубина отвальной ёмкости (м)	3,2	3,2	3,2	3,2
Общий объем работ по переэкскавации (м ³ /п.м.)	67	67	67	67
Итоговый коэффициент переэкскавации	0,1	0,1	0,1	0,1
Производительность экскаватора по целику (м ³ /мес)	161263	138800	123105	85887
Сменное подвигание забоя по целику (м)	11,2	9,6	8,5	5,9
Количество смен в день	2	2	2	2
Количество рабочих дней	24	24	24	24
Длина экскаваторного блока (м)	537	462	410	286
Длина экскаваторного блока с учетом разработки междупластья (м)	522	449	398	278
Температура породы в забое (град.)	1	-4	-8	-20

В таблицах 4.1 и 4.2 показаны все исходные данные для расчетов производительности в зависимости от температуры пород, а также сменного подвигания забоя экскаватора-драглайна. На основании расчетов и полученных результатов установлено следующее:

- при высоте вскрышного уступа свыше 20 м выкладка в контур отвала междупластья и отсыпка внутреннего отвала конусом существующим оборудованием - ЭШ-10/70 невозможна исходя из его конструктивных характеристик;

- при формировании предотвала по всей ширине рабочей зоны до контура внутреннего отвала предыдущей заходки, радиус разгрузки драглайна на коэффициент переэкскавации не влияет. При этом, коэффициент переэкскавации одинаков для схем с веерной и конусной отсыпкой отвала;

- с увеличением ширины заходки, для обеих схем отсыпки отвала коэффициент переэкскавации увеличивается;

- при бестранспортной выемке междупластья наиболее предпочтительной является схема веерной отсыпки, обеспечивающая максимальные объемы размещения породного прослоя в предварительно созданные отвальные емкости на боковой и верхней поверхностях внутреннего отвала.

Отмечено, что для периода осень-зима в диапазоне температур от $+1^{\circ}\text{C}$ до -20°C разница в производительности драглайна составляет в среднем 1,87-1,88 раза. При этом, для периода весна-лето при изменении температуры поверхностного слоя забоя от -12°C до $+5^{\circ}\text{C}$ месячная производительность драглайна увеличивается более значительно – в 2,37 раза.

Данными рекомендациями для двух природно-климатических периодов весна-лето и осень-зима для условий разработки Кангаласского месторождения определены производительность и сменное подвигание забоя драглайна при различных параметрах экскавации при высоте вскрышных уступов 15 м, 20 м, и 25 м, ширине заходки 40 м и 50 м, а также изменении температуры от -12°C до $+5^{\circ}\text{C}$ в весенне-летний период и от $+1^{\circ}\text{C}$ до -20°C в осенне-зимний период.

4.2 Способ разработки смерзающихся вскрышных пород в весенне-летний период

Процесс формирования температурного режима в развале взорванных многолетнемерзлых пород сложен, и определяется многими факторами, которые не раз отмечались в диссертационной работе. Определить зоны устойчивого смерзания взорванной породы, с высокой степенью вероятности можно зная динамику температурных полей в массиве многолетнемерзлых пород в различные периоды года и характер распределения кусков породы в развале после взрыва.

Температурный режим взорванных вскрышных пород на карьерах расположенных в зонах распространения многолетней мерзлоты в значительной степени определяет эффективность работы выемочного оборудования и стабильность работы предприятия. Процесс его формирования во взорванных вскрышных породах многоэтапный и определяется температурно-климатическими условиями, качеством взрывной подготовки и технологией отработки блока. При взрывании вскрышного уступа, распределение кусков в развале происходит в соответствии с известной схемой деформации массива при взрывных работах [147], из которой также очевидно, что слой разрушенной породы с устойчивой отрицательной температурой находится в самой нижней части развала.

Таким образом, для обеспечения стабильной работы драглайна без значительного снижения производительности в весенне-летний период отработки блока необходимо в первую очередь экскавировать породы с верхней части развала на определенную глубину, желательно максимально, по всей длине блока, выкладывая их в предотвал и конечный контур отвала. При этом на кровле пласта полезного ископаемого в пределах экскаваторной заходки оставляют слой породы с отрицательной температурой. Это позволяет вскрыть зону устойчивого смерзания и обеспечить растепление взорванной породы в блоке с соответствующим снижением ее прочности. Оставленный слой породы

экскавируется в конечный контур отвала после уборки верхней части развала по всей длине экскаваторного блока [148].

Усилить эффект растепления зоны устойчивого смерзания можно: во первых путем рыхления ее поверхности бульдозером-рыхлителем, создавая дополнительные поверхности усиливающие воздействие солнечной инсоляции; во вторых - обработкой поверхностно-активными веществами, понижающими температуру и прочность смерзания кусков породы. Но предложенные способы требуют дополнительных затрат на приобретение техники и материалов, а также привлечение дополнительной рабочей силы.

Предлагаемый способ разработки вскрышных пород заключается в послышной экскавации драглайном взорванных пород вскрышного уступа в пределах экскаваторной заходки, по всей длине блока с оставлением некоторого слоя породы с отрицательной температурой на кровле пласта полезного ископаемого. Это будет способствовать растеплению и разупрочнению этого слоя под воздействием солнечной инсоляции в процессе отработки блока и обеспечит стабильную работу драглайна без значительного снижения производительности в течение всего периода отработки блока.

Оставляемый слой породы с отрицательной температурой на кровле пласта полезного ископаемого рассчитывается по следующей формуле 4.2 [30]:

$$h_o = \sqrt{\frac{2\lambda T_{cp} t_o}{Q_o} + h_{o.n.}^2}, \quad (4.2)$$

где t_o – время оттаивания, ч;

T_{cp} – средняя температура за рассматриваемый промежуток времени, град.;

t_o – температура поверхности, град.;

$h_{o.n.}$ – глубина оттаивания в начальный момент, м;

Q_o – затраты тепла на оттаивание 1 м³ мерзлой породы, ккал/м³;

λ – коэффициент теплопроводности пород, ккал/м·ч·°С.

Предлагаемая технология имеет следующие преимущества:

- для использования данного способа не требуется привлечение дополнительной горной техники и материалов для разупрочнения зон смерзания взорванных вскрышных пород, а также дополнительного штата работников;

- под воздействием солнечной инсоляции в процессе отработки блока достигается растепление и разупрочнение зоны смерзания и обеспечивается стабильная работа драглайна без значительного снижения производительности в течение всего периода отработки блока;

- увеличивается фактическая длина взрываемого блока за счет стабильной работы драглайна и увеличения его производительности;

- сокращается количество взрывных блоков, чем обеспечивается снижение простоев на перегоны экскаватора.

Способ осуществляется следующим образом. После производства буровзрывных работ на вскрышном уступе экскаватор начинает экскавацию развала взорванной породы с кровли пласта полезного ископаемого в предотвал и конечный контур отвала. Драглайн устанавливается на временном отвале или на поверхности развала ближе к границе выработанного пространства, для увеличения дальности перемещения породы экскаватором в отвал. Когда драглайн располагается на временном отвале, он последовательно снимает растепленный слой и отсыпает впереди себя горизонтальную площадку, продвигаясь по которой вдоль фронта горных работ, переваливает оставшуюся в пределах заходки породу во внутренний отвал. По этой подготовленной площадке экскаватор меняет свое расположение и также снимает растепленный слой по всему экскаваторному блоку, затем возвращается на исходную позицию и снимает очередной растепленный слой взорванной породы. При таком расположении уменьшается коэффициент переэкскавации, увеличивается приемная способность отвалов и мощность обрабатываемой вскрыши, но и увеличивается продолжительность рабочего цикла драглайна за счет угла поворота в 180°.

При расположении на поверхности развала драглайн может находиться на некотором расстоянии у кровли откоса развала так, чтобы при отработке слоя поверхности развала попутно снимать растепленный слой породы с откоса развала, или на расстоянии максимального радиуса копания от верхней бровки откоса развала (см. рисунок 2.19). Экскаватор снимает растепленный слой вдоль взорванного блока по направлению фронта горных работ, затем возвращается на исходную первую позицию и снимает очередной слой. При таком расположении драглайна уменьшается средний угол поворота на разгрузку и, следовательно, уменьшается продолжительность рабочего цикла.

Таким образом, технология последовательного послойного снятия породы с поверхности развала по всей длине блока обеспечит наибольшую производительность в условиях отрицательных температур в развале взорванной горной массы. При этом, отработанная часть блока оставляется для растепления и разупрочнения этого поверхностного слоя под воздействием солнечной инсоляции в процессе отработки оставшейся части блока. Объем следующего растепленного слоя зависит от параметров блока, температуры поверхности растепляемого слоя породы, количества теплоты, излучаемой солнцем и периода года. Следует отметить, что суточная оттайка при различных периодах накопления талого слоя и температуры мерзлого слоя зависит от периодичности удаления этого слоя, который в процессе его накопления может становиться теплоизолятором и препятствовать дальнейшей оттайке [121].

Объем растепленного слоя на поверхности развала в свою очередь будет определяться параметрами забоя драглайна, шириной заходки и высоты уступа. Объем растепленного слоя на поверхности развала при данных схемах отработки взорванного массива горных пород определяется следующим образом. Например, при ширине экскаваторной заходки 45 м, длине блока 100 м, температура воздуха 20°C, при которой глубина оттайки составляет в среднем 0,25 м, то объем растепленного слоя за сутки будет равным $45 \cdot 100 \cdot 0,25 = 1125 \text{ м}^3$. Это значит, что в этих условиях будет обеспечена стабильная работа экскаватора-драглайна с

производительностью не менее 1125 м³/смену. При увеличении ширины заходки от 30 до 50 м, объем растепленного слоя увеличивается в 1,5 раза, соответственно производительность драглайна также увеличивается. В условиях, когда драглайн снимает растепленный слой породы с откоса развала, высота уступа взрываемого блока будет определяющим фактором формирования объема растепленного слоя на откосе развала.

Предложенная схема обеспечит необходимое растепление на всей рабочей площади забоя (поверхности развала), разупрочнение породы и соответственно будет наиболее эффективной с точки зрения производительности экскаватора-драглайна. В каждом конкретном случае производительность экскаватора-драглайна будет определяться температурой экскавируемой породы в забое.

В связи с тем что, в осенне-зимний период растепление ММГП не проявляется и замедляется процесс повторного смерзания взорванного массива, схема отработки взорванного блока с послойным снятием растепленного слоя породы не будет актуальной. В большинстве случаев, при отработке вскрышного уступа драглайном применяют торцевой забой [124]. Известно, что драглайны могут работать как нижним или верхним черпанием, так и одновременно и нижним и верхним черпанием. В первом случае экскаватор устанавливается на верхней площадке уступа, во втором – на кровле пласта и в третьем – а промежуточной площадке вскрышного уступа. Из перечисленных вариантов расположения экскаватора с наибольшей производительностью драглайна является вариант с торцевым забоем с нижним черпанием, при минимальном угле поворота экскаватора от места черпания к месту разгрузки [98]. Также, известно, что работа с верхним черпанием ведет к снижению производительности драглайна в среднем на 25-30%, поэтому вариант с верхним черпанием не рассматривается [98, 149]. Поэтому в осенне-зимний период отработки взорванного блока, когда, рекомендуется бестранспортная схема с торцевым забоем и нижним черпанием, расположением драглайна на кровле развала (рисунок 4.1).

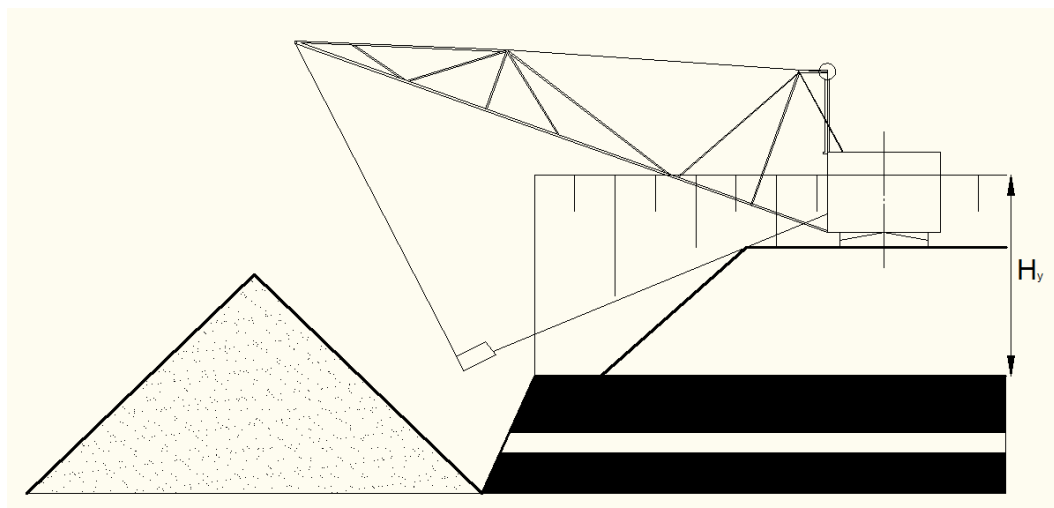


Рисунок 4.1 Схема с торцевым забоем и нижним черпанием, расположением драглайна на кровле развала

4.3 Устройство для снижения негативного влияния процесса повторного смерзания взорванной горной массы в условиях криолитозоны

В условиях повышенной обводненности и наличия мощных линз льда в разрабатываемом блоке буровзрывным способом, предложено устройство для предотвращения повторного смерзания взорванных ММГП [45]. Суть его заключается в использовании раствора ПАВ в герметичной оболочке, размещаемого в устьевой части взрывной скважины, и предназначенного для орошения породы в участках с повышенной влажностью или наличия линз льда взрываемого блока, что в конечном итоге обеспечит снижение прочности повторного смерзания кусков взорванной породы. Такой результат достигается тем, что в условиях криолитозоны в качестве наполнителя применяется раствор HCl в концентрации 15-75%, предотвращающий смерзание горных пород.

Важным условием обеспечивающим положительный эффект предлагаемого способа снижения негативного влияния процесса повторного смерзания взорванной горной массы в условиях криолитозоны является водопроницаемость горных пород. По степени водопроницаемости, взорванные горные породы можно разделить на 3 группы или категории, которые показаны в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Степень водопроницаемости взорванных горных пород

Категория взорванных горных пород	K_{ϕ} , м/сут
Хорошо водопроницаемые (характеризуются наличием большого числа промежутков между кусками, содержание мелкозема, например, супеси < 10%)	> 10
Водопроницаемые (характеризуются наличием небольшого числа промежутков между кусками, содержание мелкозема 10÷35%, мелкозем представлен песками, супесью)	1÷10
Слабоводопроницаемые (характеризуются наличием небольшого числа промежутков между кусками, содержание мелкозема 10÷35%, мелкозем представлен глинами, суглинками, мергелями)	0,01÷1

В условиях месторождений криолитозоны рекомендуется применять такие устройства для предотвращения повторного смерзания взорванных ММГП в хорошо водопроницаемых и водопроницаемых горных породах.

Водопроницаемость горных пород связана с пористостью сложной зависимостью и определяется не столько общей пористостью, сколько средними размерами пор, их поперечниками. Размеры пор в случае взорванных пород зависят от гранулометрического состава – чем крупнее зерно, тем легче проницаема порода для гравитационной воды. Существуют способы расчета водопроницаемости по данным гранулометрического анализа.

Коэффициент проницаемости раствора HCl (м^2) для несвязного грунта рассчитывается по формуле (4.3) [150]:

$$K_0 = \frac{m_0^2 d^2}{184\alpha^2(1 - m_0)^2}, \quad (4.3)$$

где m_0 – коэффициент пустотности; d – эквивалентный диаметр шара, м; α – коэффициент формы зерен (блоков).

Величина d определяется из соотношения (4.4) [151]:

$$\frac{1}{d} = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{d_i}, \quad (4.4)$$

где P_i – относительное массовое содержание различных фракций с размером зерен (блоков) d_i .

Коэффициент формы $\alpha = 1$ в случае идеально круглых шаров, При незначительных размерах фракций зерен и хорошей их окатанности $\alpha = 1,22 \div 1,38$. С увеличением размера фракций и при наличии значительной полигональности их формы величина α увеличивается и может принимать значения $\alpha = 4,5$ [150].

Коэффициент фильтрации K_ϕ (м/с) рассчитывается по формуле (4.5) [151]:

$$K_\phi = K_0 \frac{\rho g}{\mu}, \quad (4.5)$$

где ρ – плотность жидкости или газа, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – динамическая вязкость жидкости или газа, Н·с/м².

Для условий разреза «Кангаласский», согласно по формулам (4.3-4.5) был рассчитан коэффициент фильтрации раствора HCl во взорванный массив $K_\phi = 8,5 \cdot 10^{-5}$ м/с или $K_\phi = 7,3$ м/сут.

Таким образом, после взрывного разрушения массива горных пород раствор HCl, находящийся герметичной оболочке над устьем скважины, гарантированно проникнет во взорванный массив на глубину не менее 7,3 метра за сутки и тем самым предотвратит его повторное смерзание. Взорванный массив после орошения раствором сохранит рыхлое состояние, вследствие чего произойдет снижение негативного влияния повторного смерзания взорванной горной массы.

Устройство для предотвращения повторного смерзания взорванных ММГП показано на рисунке 4.2 и включает: 1 – ВВ, 2 – забойка, 3 – патрон-боевика, 4 – детонирующий шнур. Над устьем скважины установлена герметичная оболочка – 5, с наполнителем – 6 (раствор HCl в концентрации 15-75% предотвращающий смерзание горных пород) размещенная в полом цилиндре – 7, при этом, полый цилиндр выполняют из картона, а его нижнюю часть для придания ему дополнительной устойчивости присыпают буровой мелочью – 8.

Исследованиями Винокурова А. П., выполненными в ИГДС СО РАН было установлено, что раствор HCl, снижает прочность вторичного смерзания при обработке поверхности смораживания. Прочность смерзания образцов горной породы в естественном состоянии (без применения раствора соляной кислоты)

имеет линейную зависимость и с понижением температуры с -5°C до -20°C возрастает в 2,8 раза (рисунок 4.3) [152].

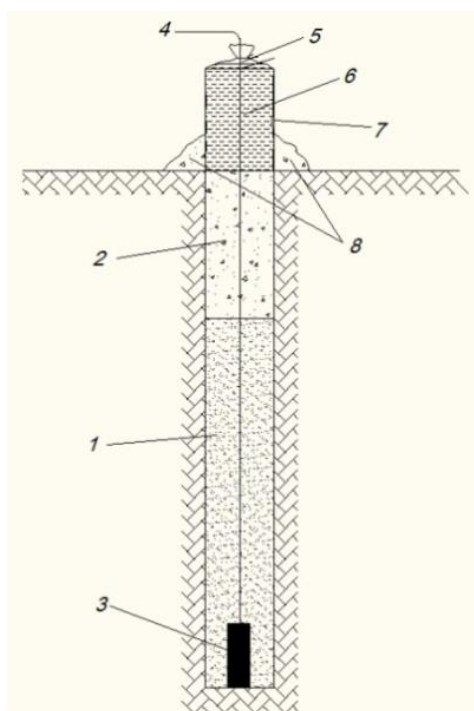


Рисунок 4.2 – Схема конструкции взрывной скважины, над устьем которой располагается раствор HCl, в герметичной упаковке

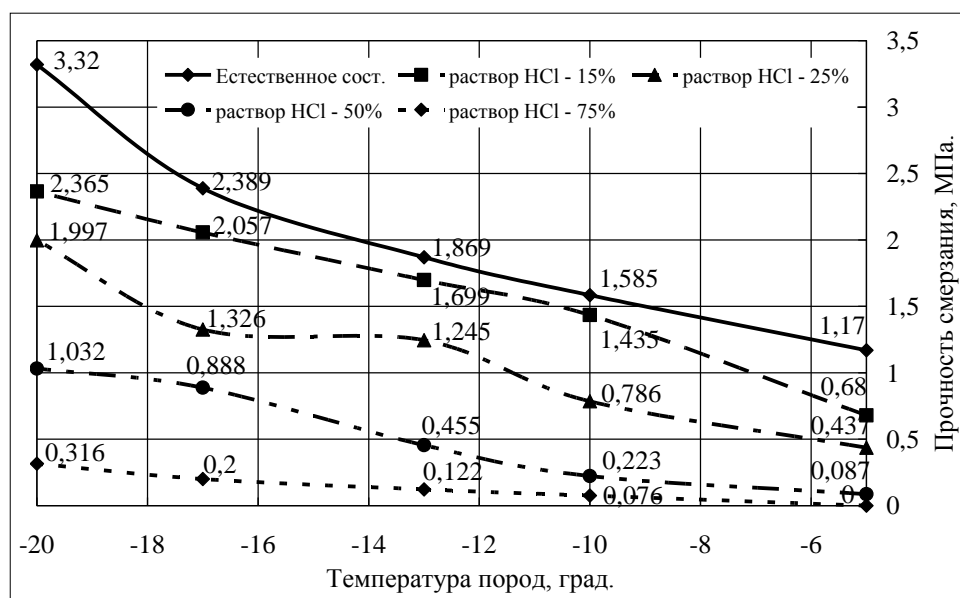


Рисунок 4.3 – Зависимость прочности смерзания пород от температуры при нанесении на смазываемые поверхности раствора HCl различной концентрации

При нанесении на смораживаемые поверхности раствора HCl в концентрациях от 15% до 75% происходит снижение прочности смерзания образцов вследствие взаимодействия раствора соляной кислоты с общим объёмом влаги растепленного слоя породы.

Винокуровым А. П. установлено, что снижение прочности смерзания в 1,7 раза происходит уже при нанесении 15% (2,1% - факт.) раствора HCl на смораживаемые поверхности образцов для температуры -5°C , а с понижением до -20°C в 1,4 раза. При 25% (3,2% - факт.) минерализации раствора и температуры -5°C прочность снижается в 2,6 раза. Наиболее существенное снижение прочности (вплоть до талого состояния) в 13-20 раз при -5 - 10°C происходит при минерализации 50%-75% (6,1%-10,3% - факт.) раствором HCl [152].

В таблице 4.4 представлены данные фактической минерализации плоскостей смораживания от исходной концентрации, учитывающие глубину растепленного слоя и количества находящейся в нем влаги.

Таблица 4.4 – Фактическая минерализация образцов породы

Исходная концентрация раствора HCl, %	Фактическая концентрация раствора HCl после взаимодействия с породной влагой, %	Средняя концентрация раствора HCl в зоне смораживания, %
15	1,9÷2,2	2,1
25	2,9÷3,5	3,2
50	5,9÷6,2	6,1
75	7,8÷10,7	10,3

В интервале температуры массива $-5 \div -7^{\circ}\text{C}$ при концентрации от 25% до 50% раствора HCl, нанесенного на смораживаемые поверхности образцов породы, прочность смерзания снижается соответственно в 2,6 и 13 раз, Применение же раствора 75% концентрации для пород с температурой от -20°C до -10°C приводит к снижению прочности в 10 и более раз, а при температуре -5°C образцы породы не смерзаются.

Изменение минерализации горных пород раствором соляной кислоты 3-х процентной концентрации приводит к снижению прочности смерзания в 2,6-2,8 раза для песчаных пород, имеющих температуру в массиве $-5 \div -7^{\circ}$ [152].

Преимуществом предложенного устройства для предотвращения повторного смерзания взорванных ММГП являются:

- предотвращение повторного смерзания взорванных многолетнемёрзлых горных пород;
- стабильная работа горной техники в условиях повторного смерзания взорванных ММГП;
- увеличение фактического объема взрываемого блока по условию смерзания породы.

Выводы

1. Обоснованы рациональные параметры и технология ведения вскрышных работ в разные периоды года (весна-лето, осень-зима), в частности, в весенне-летний период высоту уступа следует принимать в диапазоне от 15 м до 25 м, а ширину заходки 40 и 50 м при послойной отработке взорванного экскаваторного блока и превентивным орошением зон повторного смерзания растворами ПАВ, для осенне-зимнего периода рекомендуется бестранспортная схема с торцевым забоем и нижним черпанием, расположением драглайна на кровле развала с высотой вскрышного уступа до 25 м и шириной вскрышной заходки 40 м.

2. Для снижения влияния процесса повторного смерзания ММГП на эффективность бестранспортной системы разработки на месторождениях криолитозоны предложена технология последовательного послойного снятия породы с поверхности развала по всей длине блока, которая обеспечит наибольшую производительность в условиях отрицательных температур в развале взорванной горной массы.

3. Разработано устройство для предотвращения повторного смерзания взорванных ММГП, с применением раствора HCl в концентрации 15-75% в разрабатываемом блоке буровзрывным способом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано решение важной научно-практической задачи обоснования производительности драглайна и рациональных параметров экскавации взорванных ММГП, позволяющее снизить негативное влияние процесса их повторного смерзания на эффективность бестранспортной системы разработки.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что основными факторами, характеризующими процесс смерзания взорванных ММГП, являются температура и влажность горных пород, а также природно-климатические условия. Получена оценка их влияния на эффективность ведения открытых горных работ при разработке пластовых месторождений в условиях криолитозоны.

2. Установлены особенности формирования температурного режима в развале взорванных ММГП в разные периоды года и влияние температуры поверхностного слоя смерзающихся горных пород на производительность драглайна. Так, фактическое время рабочего цикла драглайна с понижением температуры поверхностного слоя пород забоя (от $+5^{\circ}\text{C}$ до -17°C) увеличивается в среднем в несколько (до 3,5) раз и, соответственно, снижается его производительность.

3. Определена зависимость производительности драглайна от температуры поверхностного слоя взорванного массива при последовательном обнажении забоя. При одной и той же отрицательной температуре породы в забое драглайна, снижение производительности экскаватора происходит в наибольшей степени в весенний период, когда процесс смерзания наиболее интенсивен.

Для вычисления продолжительности времени цикла драглайна в разные периоды года выведены эмпирические формулы:

$$\text{Весна-лето: } t_{\text{ц}} = e^{0,34-0,044T_{\text{п}}+9,58 \cdot 10^{-4}T_{\text{п}}^2}, \text{ мин.};$$

$$\text{Осень-зима: } t_{\text{ц}} = 0,63e^{-0,03T_{\text{п}}}, \text{ мин.},$$

где $T_{\text{п}}$ – температура пород в забое, $^{\circ}\text{C}$.

4. По результатам натуральных исследований установлен характер изменения гранулометрического состава кусков породы в развале и забое драглайна, при этом отмечено, что при повышении температуры поверхности породы доля крупных фракций (>500 мм) существенно снижается (до 3 раз), а доля фракций 201-300 мм возрастает в 1,5-2 раза.

5. Разработан специализированный стенд и проведены исследования прочности смерзшихся вскрышных пород на срез на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, что позволило оценить показатель трудности их экскавации и обосновать условия эффективного применения бестранспортной технологии при открытой разработке месторождений криолитозоны на примере разреза «Кангаласский».

6. Экспериментально установлено, что прочность на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом ММГП, растет с понижением температуры, а также с увеличением влажности и плотности упаковки. Размер включений в образцах нарушенной структуры при минимальных значениях влажности 10% и температуры -5°C (по условиям эксперимента, для вскрышных пород Кангаласского месторождения) не оказывает существенного влияния на прочность на срез. Однако с увеличением влажности и понижении температуры породы прочность на срез образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом, изменяется в сторону снижения в зависимости от увеличения размера включений.

7. Обоснованы рациональные параметры и технология ведения вскрышных работ в разные периоды года (весна-лето, осень-зима), в частности, в весенне-летний период высоту уступа следует принимать в диапазоне от 15 м до 25 м, а ширину заходки 40 и 50 м при послойной отработке взорванного экскаваторного блока и превентивным орошением зон повторного смерзания растворами ПАВ, для осенне-зимнего периода рекомендуется бестранспортная схема с торцевым забоем и нижним черпанием, расположением драглайна на кровле развала с высотой вскрышного уступа до 25 м и шириной вскрышной заходки 40 м.

Последующее развитие представленной научной работы послужит основой для дальнейших исследований по обоснованию области эффективного использования различных типов выемочного оборудования при открытой разработке месторождений криолитозоны с учетом фактора повторного смерзания взорванного горного массива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондарев, Э. А. О теплофизических критериях процесса смерзания / Э. А. Бондарев, Л. И. Файко // Физика льда и льдотехника. – Якутск : Якутский филиал СО АН СССР, 1974. – С. 152 – 157.
2. Цытович, Н. А. Некоторые опыты по определению сил смерзания / Н. А. Цытович // Бюллетень N 25 Ленинградского отделения Всесоюзного института сооружений. – Л., 1932.
3. Вологодина, И. С. Силы смерзания мерзлых грунтов с деревом и бетоном. Лабораторные исследования мерзлых грунтов / И. С. Вологодина – М. : Изд-во АН СССР, 1936.
4. Цытович, Н. А. Механика мерзлых грунтов / Н. А. Цытович – М. Высшая школа, 1978. – 448 с.
5. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. – М. : Стройиздат, 1971. – Т. I, II.
6. Вялов, С. С. Методика определения характеристик ползучести длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов / С. С. Вялов, С. Э. Городецкий, В. Ф. Ермаков [и др.]. – М. : «Наука», 1966.
7. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов / Производственный научно-исследовательский ин-т по инженерным изысканиям в строительстве ; Госстрой СССР ; НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1973. – 191 с.

8. Садовский, А. В. Прочность смерзания грунтов с материалами фундамента / А. В. Садовский // II Международная конференция по мерзлотоведению. – Якутск, 1978. – Вып. 7. – С. 210 – 214.

9. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов : учебное пособие / С. С. Вялов. – М. : Высшая школа, 1978. – 447 с.

10. Тайбашев, В. Н. Физико-механические свойства мерзлых крупнообломочных пород / В. Н. Тайбашев ; Всесоюзный научно-исследовательский институт золота и редких металлов (ВНИИ-1). – Магадан, 1973. – 160 с. – Т. XXXIII: Мерзлотоведение.

11. Пчелинцев, А. М. Лабораторные исследования примерзания грунтов к различным поверхностям / А. М. Пчелинцев // Физико-химические процессы в промерзающих грунтах и способы управления ими : сборник трудов ; НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (НИИОСП). – М. : Стройиздат, 1974. – Вып. 64. – С. 152 – 157.

12. Бороздин, В. С. Динамика образования льда на контакте смерзающихся частиц / В. С. Бороздин // Физико-химические процессы в промерзающих грунтах и способы управления ими : сборник трудов ; НИИОСП. – М. : Стройиздат, 1974. – № 64. – С. 82 – 83.

13. Тютюнов, И. А. Физико-химические основы формирования прочности мерзлых грунтов / И. А. Тютюнов // Физико-химические процессы в промерзающих грунтах и способы управления ими : сборник трудов ; НИИОСП. – М. : Стройиздат, 1974. – Вып. 64. – С. 3 – 21.

14. Савельев, И. Б. О прочности связи льда с грунтом в зоне контакта / И. Б. Савельев // Труды ПНИИС Госстроя СССР. – М., 1974. – Т. 44. – С. 95 – 97.

15. Панченко, Д. Ф. Зависимость смерзания горной массы от ее водофизических свойств / Д. Ф. Панченко, Л. И. Василенко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1987. – № 4. – С. 115 – 117.

16. Методы определения механических свойств мерзлых грунтов : учебное пособие ; под ред. Э. Д. Ершова, Л. Т. Роман. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 160 с.

17. Царапов, М. Н. Закономерности формирования прочностных характеристик оттаивающих грунтов при сдвиге : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.08 / Царапов Михаил Николаевич. – М., 2007. – 21 с. (Библиотека геологического факультета МГУ).

18. Васильев, С. И. Исследование прочностных характеристик сезонно-мерзлых грунтов Сибири и Севера / С. И. Васильев // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 5. – С. 93 – 99.

19. Волохов, С. С. Прочность смерзания мерзлых грунтов с материалами трубопроводов / С. С. Волохов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2010. – № 5. – С. 25 – 28.

20. Коновалов, А. А. К теории прочности мерзлого грунта / А. А. Коновалов // Криосфера Земли. – 2009. – Т. XIII, № 1. – С. 31 – 39.

21. Роман, Л. Т. Определение прочности и деформации мерзлых грунтов вдавливанием сферического штампа /Л. Т. Роман, М. Н. Царапов, Д. Н. Кривов // Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий (Сергеевские чтения 2010) : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, г. Москва, 23-24 марта 2010 г. – М. : Изд-во РУДН, 2010. – Вып. 12. – С. 398 – 403.

22. Роман, Л. Т. Механика мерзлых грунтов / Л. Т. Роман ; МГУ им. М.В. Ломоносова. Геологический факультет. – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. – 426 с.

23. Y. Lai, X. Xu, Y. Dong., S. Li Present situation and prospect of mechanical research on frozen soils in China / Y. Lai, X. Xu, Y. Dong., S. Li // Cold Regions Science and Technology. 2013 March. Vol. 87. pp. 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.12.001>.

24. Zhang Z., Ma W., Zhang Z. Scientific concept and application of frozen soil engineering system // Cold Regions Science and Technology. 2018 February. Vol. 146.pp. 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.11.017>.

25. D. Zhanga, E. Liua, X. Liua, G. Zhanga, B. Songa A new strength criterion for frozen soils considering the influence of temperature and coarse-grained contents / D. Zhanga, E. Liua, X. Liua, G. Zhanga, B. Songa // Cold Regions Science and Technology. 2017 November. Vol. 143. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.006>.

26. Yang Y., Lai Y., Li J. Laboratory investigation on the strength characteristic of frozen sand considering effect of confining pressure // Cold Regions Science and Technology. 2010 March. Vol. 60. pp. 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.11.003>.

27. Добровольский, Г. Н. Смерзаемость взорванных многолетнемерзлых осадочных вскрышных пород Кангаласского угольного разреза / Г. Н. Добровольский, С. П. Альков, Л. П. Скуба // Колыма. – 1985. – № 9. – С. 14 – 18.

28. Басистов, М. А. Буровзрывные работы при рыхлении мерзлых грунтов на строительстве БАМа / М. А. Басистов, А. П. Семин, Р. Г. Фазылов, С. Н. Букин // Взрывное дело : сборник № 86/43: Дробление горных пород взрывом / Научно-техническое горное общество ; под ред. Б. Н. Кутузова, Е. П. Максимовой. – М. : Недра, 1984. – С. 149 – 157.

29. Дмитриев, А. П. Термодинамические процессы в горных породах : учебник для вузов / А. П. Дмитриев, С. А. Гончаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1990. – 360 с.

30. Общее мерзлотоведение : учебник для вузов ; под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.

31. Дугарцыренов, А. В. Обоснование и анализ механизма вторичного смерзания взорванной горной массы / А. В. Дугарцыренов, В. С. Сорокин, Г. В. Шубин // Ресурсосберегающие технологии при открытой отработке полезных ископаемых Севера : сборник научных трудов. – Якутск : ЯНЦ СО АН СССР, 1990. – С. 138 – 142.

32. Каймонов, М. В. О механизме процессов смерзания отбитой горной породы на рудниках Севера / М. В. Каймонов, В. И. Попов, А. С. Курилко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 10. – С. – 162 – 165.

33. Скуба, Л. П. Исследование влияния физико-географических факторов на эффективность освоения месторождений Севера и Дальнего Востока (На примере Нерюнгринского угольного месторождения) : дис. ... д-ра техн. наук : 11.00.11 / Скуба Любовь Прокофьевна. – М., 2000. – 445 с. (РГБ ОД, 71 02-5/183-2).

34. Винокуров, А. П. Экспериментальные исследования в лабораторных условиях процессов смерзаемости горных пород / А. П. Винокуров, С. А. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. № 5. С. 111 – 116.

35. Курилко, А. С. Экспериментальные исследования прочности смерзшихся сыпучих горных пород / А. С. Курилко, М. В. Каймонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 69 – 71.

36. Булыгин, А. А. К исследованию физико-механических свойств материалов / А. А. Булыгин, А.А., Ермичев, В.А., Петрушкин, Г.Ф., Оозев, В.П. // Вопросы комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ : Труды Пермского сельскохозяйственного института. – 1969. – Т. 69. – С. 3 – 6.

37. Теплофизические свойства горных пород / Э. Д. Ершов, И.А. Комаров, В.Г. Чеверев [и др.]. – М. : Изд.-е МГУ, 1984. – 204 с.

38. Каймонов, М. В. Влияние теплофизических и технологических факторов на смерзание отбитой горной массы / М. В. Каймонов, Ю. А. Хохолов, А. С. Курилко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – Отдельный выпуск 4: Дальний Восток-1. – С. 166 – 175.

39. Винокуров, А. П. Экспериментальные исследования процесса вторичного смерзания горных пород в условиях минерализации поровой влаги / А. П. Винокуров // Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых горнодобывающей промышленности : материалы Региональной научно-практической конференции, г. Якутск 25-26 октября 2006 г. – Якутск, 2006. – С. 10 – 15.

40. Бибииков, П. Я. Центрифугирование, как метод борьбы со смерзанием готовой продукции щебеночных заводов / П. Я. Бибииков, М. Ю. Абрамов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 2. – С. 245 – 249.

41. Михайлов, А. Г. О липкости и смерзаемости пород в горном деле // Проблемы смерзания и липкости минерального сырья в процессах его добычи, транспортировки и переработки : материалы постоянно действующего Российского заочного семинара, г. Якутск, Вып.1. – Якутск : Якутский научный центр СО РАН, 1994. – Вып. 1. – С. 61 – 63.

42. Зеньков, С. А. Применение водных растворов хлористых солей для борьбы с адгезией грунта на рабочие органы землеройных машин в условиях Севера / С. А. Зеньков, Н. А. Балахонов, А. А. Казимиренок // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2015. – Т. 1. – С. 21 – 25.

43. Свинцов, А. П. Определение расхода химических реагентов для предотвращения смерзания грунтов / А. П. Свинцов, С. Н. Кривошапка, Ю. В. Николенко, Н. А. Сташевская // Жилищное строительство. – 2010. – № 9. – С. 21 – 23.

44. Гуцин, А. А. Аналитический обзор реагентов для предотвращения смерзания угля / А. А. Гуцин, А. Ю. Ермаков, А. М. Мирошников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 3. – С. 256 – 268.

45. Патент на полезную модель № 155251, Российская Федерация, МПК F42D 1/08. Устройство для предотвращения смерзания : № 2015116197/03 : заявл. 28.04.2015 : опубл. 27.09.2015 / Панишев С. В., Ермаков С. А., Алькова Е. Л., Максимов М. С., Козлов Д. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН // Бюл. № 27.

46. Патент на изобретение № 2685671, Российская Федерация, МПК C09K 3/18 E21F 5/06. Профилактическая смазка для предотвращения прилипания, примерзания и смерзания вскрышных горных пород : № 2018122874 : заявл. 22.06.2018 : опубл. 22.04.2019 / Кондрашева Н. К., Зырянова О. В., Киреева Е. В. ;

заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет.

47. Бурцев, С. В. Безвзрывные технологии подготовки скальных горных пород к перемещению конвейерным транспортом / С. В. Бурцев, Я. В. Левченко, В. В. Таланин, К. С. Ворошилин // Уголь. – 2018. – № 10. – С. 8 – 17. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-8-17.

48. Буткевич, Г. Р. Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 33 – 34.

49. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – М. : «Наука», 1979. – 384 с.

50. Латышев, О. Г., Корнилков, М. В. Направленное изменение фрактальных характеристик, свойств и состояния пород поверхностно-активными веществами в процессах горного производства. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2016. 407 с.

51. Латышев, О. Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.

52. Латышев, О. Г. Прогноз буримости горных пород на основе имитационного моделирования процесса / О. Г. Латышев, К. А. Карасев, О. О. Казак // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – №4. – С. 83 – 87.

53. Kahraman S., Canpolat A., Fener M. The influence of microwave treatment on the compressive and tensile strength of igneous rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020, vol. 129, article 104303. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104303.

54. Рассказов, М. И. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения Делькен / М. И. Рассказов, М. И. Потапчук, Д. И. Цой, А. А. Терешкин, А. В. Гладырь // Проблемы недропользования. – 2020. – № 2 (25). – С. 116 – 126. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.116.

55. Николаев, Н. И., Леушева, Е. Л. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности бурения твердых горных пород / Н. И. Николаев, Е.

Л. Леушева // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – Т. 14. – № 15. – С. 38 – 47. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.15.5.

56. Каспарьян, Э. В. Исследование условий динамических разрушений в массивах скальных пород / Э. В. Каспарьян, Н. Н. Кузнецов, А. Н. Шоков, А. К. Пак // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 69 – 84. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-69-84.

57. Коршунов, Г.И. Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью / Г.И. Коршунов, Е.В. Мазаник, А.Х. Ерзин, А.В. Корнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 3. – С. 55 – 61.

58. Норов, Ю. Д. Изучение влияния водных растворов ПАВ на изменение прочности горного массива / Ю. Д. Норов, У. М. Мардонов, О. Э. Тошев // Горный журнал. – 2005. – № 3. – С. 15 – 16.

59. Панишев, С. В. Повышение эффективности разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения Якутии путем их разупрочнения с использованием поверхностно-активных веществ / С. В. Панишев, Д. В. Хосоев, А. И. Матвеев // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 98 – 104. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-98-104.

60. Хосоев, Д. В. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на прочность мерзлых пород Кангаласского месторождения / Д. В. Хосоев // Горная промышленность. – 2013. – № 5. – С. 88 – 89.

61. Анистратов, Ю. И. Перспективы расширения сферы применения безвзрывных технологий в открытой угледобыче / Ю. И. Анистратов, Р. М. Штейнцаг, Г. Я. Воронков, А. Г. Кузнецов, П. Р. Хаспеков // Горная промышленность. – 1998. – № 2. – С. 14 – 19.

62. Чебан, А. Ю. Повышение эффективности селективной выемки богатых руд путем их предварительного физико-химического разупрочнения / А.Ю. Чебан, А. Г. Секисов, М. И. Рассказов, Д. И. Цой, А. А. Терешкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 9. – С. 29 – 41.

63. Васильев, С. И. Способ предохранения грунтов Восточно-Сибирского региона от сезонного промерзания / С. И. Васильев, В. М. Мелкозеров // Информационный листок № ИЛ 029-078-2008. – Красноярск : ЦНТИ, 2008.

64. Разработать и внедрить эффективные способы, обеспечивающие расширение области применения бестранспортной системы разработки : отчет НИР НИИОГР / науч. рук. Ю. Г. Скурихин, исполн. Г. А. Еремин. Иркутск, отд, - N1000108000-52 – Иркутск, 1985. – 67 с.

65. Шадрин, А. И. Влияние погодно-климатических факторов на надежность экскаваторов угольного разреза «Баганурский» / А. И. Шадрин, Орхон Лхамжав // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10. – С. 71 – 74.

66. Жученко, Е. Е. Определение оптимальной продолжительности сезона работы шагающих драглайнов в условиях Севера / Е. Е. Жученко, К. Н. Хинданов // Повышение эффективности технологии разработки россыпных месторождений : сборник научных трудов ; Всесоюзный научно-исследовательский институт золота и редких металлов (ВНИИ-1). – Магадан, 1989. – С. 14 – 17.

67. Ефимов, С. С. Безопасная влажность и некоторые физические характеристики ряда углей Якутских месторождений / С. С. Ефимов, В. Н. Гаврильев, Л. М. Никитина // Теплофизические и массообменные свойства гигроскопических материалов : сборник научных ; Институт физико-технических проблем Севера ЯФ СО АН СССР. – Якутск : Издательство ЯФ СО АН СССР, 1977. – С. 70 – 82.

68. Панишев, С. В. Обоснование рациональных параметров бестранспортной системы разработки многолетнемерзлых вскрышных пород : монография ; отв. редактор С. А. Ермаков / Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт горного дела Севера. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. – 88 с.

69. Панишев, С. В. Основные направления развития технологий открытой разработки пластовых месторождений / С. В. Панишев, Н. Ф. Осипова // Горный

информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – Отдельный выпуск 2 : Якутия-1. – С. 274 – 280.

70. Панишев, С. В. Повышение эффективности вскрышных работ на разрезе «Кангаласский» / С. В. Панишев, В. В. Сердобинцев // Наука и образование. – 2005. – № 1. – С. 17 – 20.

71. Панишев, С. В. Выбор и обоснование рациональных технологических параметров бестранспортной технологии разработки взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию / С. В. Панишев, С. А. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 156 – 161.

72. Панишев, С. В. Применение бестранспортной технологии в условиях угольного месторождения криолитозоны / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, Е. Л. Алькова, М. В. Каймонов // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России : Труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-кор. РАН Новопашина М.Д., г. Якутск, 13-15 сентября 2011 г. – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2011. – С. 116 – 120.

73. Открытая разработка угольных месторождений Якутии : учебное пособие / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, А. М. Бураков, Б. Н. Заровняев, С. Н. Григорьев ; рец. : В. А. Шерстов. – М. : «Вузовская книга», 2008. – 244с.

74. Антонюк, О. В. Модернизация рабочего оборудования экскаватора-драглайна / О. В. Антонюк, В. С. Прокопенко // Научный альманах. – 2017. – № 3-3 (29). – С. 26 – 28.

75. Дёмин, А. А. Навесной рыхлитель для ковша драглайна – новая технология подготовки к разработке штатным ковшом / А. А. Демин // Механизация строительства. – 2013. – № 12. – С. 14 – 16.

76. Зеньков, С. А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу / С. А. Зеньков, Н. А. Балахонов, К. А. Игнатъев // Вестник МГСУ. – 2014. – № 2. – С. 98 – 104.

77. Зеньков, С. А. Анализ теорий адгезии влажных связных грунтов к различным твердым поверхностям / С. А. Зеньков, Д. А. Минеев // Наука России: Цели и задачи : сборник научных трудов по материалам V Международной научной конференции, г. Екатеринбург, 10 октября 2017 г. – Екатеринбург : НИЦ «Л-Журнал», 2017. – С. 12 – 15.

78. Маликов, О. Ю. Специальный рабочий орган для разработки смерзшихся сыпучих материалов / О. Ю. Маликов, В. А. Севастьянов, А. М. Соколов // Известия высших учебных заведений - Машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 40 – 42.

79. Горшков, А. С. Резание смерзшейся грунто-ледяной массы клиновым резцом / А. С. Горшков, В. Ф. Кулепов, А. Д. Шурашов, И. С. Никандров // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16387> (дата обращения 23.11.2019).

80. Сташко, К. В. Повышение производительности драглайнов за счет уменьшения времени цикла экскавации / К. В. Сташко, К. А. Стариков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 5. – С. 121 – 126.

81. Erdem, B. Duzgun, HSB. Dragline cycle time analysis / Journal of scientific and industrial research, 2005, vol. 64, pp. 19–29.

82. Drygin, M., Kurychkin, N., Bakanov, A. Ways of increasing excavator fleet productivity in Russian coal open pits (Kuzbass case study) // The 1st Scientific Practical Conference. «International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza)» / E3S Web Conf. 2017. vol. 15, p. 7.

83. Rai, P. Performance assessment of draglines in opencast mines / Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 2004, vol.11, pp. 493-498.

84. Demirel, N. Effects of the rock mass parameters on the dragline excavation performance / Journal of Mining Science, 2011, vol. 47, № 4, pp. 442-450.

85. Проноза, В. Г. Оценка взаимосвязи длин фронта работ и трассы подъема драглайна на навал / В. Г. Проноза // Новые технологические решения открытой разработки угольных месторождений. – Кемерово, 1991. – С. 33 – 38.

86. Проноза, В. Г. Бестранспортная система разработки с перемещением породы в призмах волочения / В. Г. Проноза, М. С. Подгорный, А. П. Ивашкин // Уголь. – 1985. – № 4. – С. 31 – 34.

87. Грачев, Ф. Г. Выемка разноструктурных вскрышных пород при бестранспортной системе разработки / Ф. Г. Грачев, В. К. Репетух // Горный журнал. – 1981. – № 10. – С. 16 – 18.

88. Либерцев, О. Н. Увеличение объемов перемещения пород вскрыши энергией взрыва при бестранспортной системе разработки : дис. ... канд. техн. наук / Либерцев О. Н. – Л. : ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1984. – 310 с.

89. Веницкий, Л. С. Перспективные схемы вскрышных работ на разрезах Экибастузского бассейна / Л. С. Веницкий, А. А. Грачев, А. М. Терещенко // Добыча угля открытым способом : обзорная информация ; ЦНИЭИУголь. – М., 1979. – 32 с.

90. Леоненко, И. А. Повышение эффективности разработки месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири / И. А. Леоненко, Г. К. Островский, В. П. Федорко. – Иркутск : Изд-во ИЛИ, 1984. – С. 69 – 73.

91. Жариков, И. Ф. О возможности повышения коэффициента сброса при взрывном перемещении вскрышных пород / И. Ф. Жариков, А. А. Симонов // Новая технология и техника для открытой добычи : научные сообщения ; Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – М., 1985. – Вып. 238. – С. 23 – 30.

92. Медоев, В. К. Исследование и выбор параметров взрыва при отработке вскрышных пород угольных разрезов с концентрационными горизонтами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Медоев В. К. – М., 1978. – 16 с.

93. Певзнер, Л. Д. К проблеме автоматизированного управления шагающим драглайном: программирование процесса экскавации // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 59 – 63.

94. Coetzee, C.J., Els, D.N.J., Dymond, G.F. Discrete element parameter calibration and the modeling of dragline bucket filling // Journal of Terramechanics, 2010, vol. 47, pp. 33–44.

95. Хтэй, Вин Зо. Алгоритмическое и аппаратное обеспечение бортовой информационной системы шагающего драглайна / Хтэй, Вин Зо, Л. Д. Певзнер, И. О. Темкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 2. – С. 190 – 196.
96. Vynne, J. F. Innovative dragline monitoring systems and technologies CIM Journal, Vol. 1, No. 1, 2010.
97. Connolly, M., Jessett, A. Integrated Support Centres - The future of dragline fleet monitoring / Procedia Engineering, 2014, vol. 83, pp. 90–99.
98. Репин, Н. Я. Выемочно-погрузочные работы : учебное пособие. – 2-е изд., стер. / Н. Я. Репин, Л. Н. Репин. – М. : Горная книга, 2010. – 267 с.
99. Максимов, М. С. О проблеме вторичного смерзания пород и его влиянии на эффективность бестранспортной разработки месторождений криолитозоны / М. С. Максимов // Рациональное освоение недр. – 2020. – № 2 – С. 44 – 53. – DOI: 10.26121/RON.2020.99.52.00.
100. Панишев, С. В. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны / Панишев, С. В., Ермаков С. А. / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 2. – С. 132 – 138.
101. Просёлков, Ю. М. Теплопередача в скважинах / Ю. М. Просёлков. – М. : Недра, 1975. – 224 с.
102. Термическая характеристика скважин в районах многолетнемерзлых пород. – М. : Недра, 1976. – 119 с.
103. Руководство по применению полупроводниковых терморезисторов для геотермических измерений / В. Т. Балобаев, Б. В. Володько, В. И. Девяткин [и др.]. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, – 1985. – 48 с.
104. Панишев, С. В. Особенности разработки смерзающихся вскрышных пород драглайном в условиях пластового месторождения криолитозоны / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, М. С. Максимов, Е. Л. Алькова // Горный информационно-

аналитический бюллетень. Отдельный выпуск : Дальний Восток. – 2013. – № ОВ 4. – С. 38 – 49.

105. ГОСТ 12071-2001 Грунты. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов. Введен в действие 01.02.2000 г. взамен ГОСТ 12071-84 – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 16 с.

106. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М. : Стандартинформ, 2012. – 106 с.

107. Панишев, С. В. Комплексный мониторинг температурного режима многолетнемёрзлых горных пород Кангаласского угольного разреза / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, М. В. Каймонов, М. С. Максимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 9. – С. 62 – 70.

108. Панишев, С. В. Мониторинг производительности драглайна с использованием тепловизионной съемки забоя и системы лазерного сканирования в условиях пластового месторождения криолитозоны / С. В. Панишев, С. А. Ермаков, М. С. Максимов, Д. С. Козлов, И. В. Васильев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 117 – 122.

109. Методические рекомендации по статистической обработке экспериментальных данных в горном деле / составители : Г. М. Бурмин, Ю. С. Кулешов, А. М. Тараносов. – Новокузнецк : ВостНИГРИ, 1974. – 62 с.

110. Беляков, Ю. И. Выемочно-погрузочные работы на карьерах / Ю. И. Беляков. – М. : Недра, 1987. – 268 с.

111. Домбровский, Н. Г. Экскаваторы. Общие положения. Вопросы теории и проектирования, исследования и применения / Н. Г. Домбровский. – М. : Машиностроение, 1969. – 240 с.

112. Репин, Н. Я. Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов / Н. Я. Репин. – М. : Недра, 1987. – 256 с.

113. Балаховский, М. С. Развитие и повышение производительности драглайнов : Экспресс-информация / М. С. Балаховский, С. А. Кнышев, П. И. Весилоо. – М. : ЦНИЭИуголь, 1979. – 30 с.
114. Балаховский, М. С. Рациональные приемы управления драглайнами на вскрышных работах / М. С. Балаховский. – М. : ЦНИЭИуголь, 1978. – 40 с.
115. Дроговейко, И. З. Разрушение мерзлых грунтов взрывом / И. З. Дроговейко. – М. : Недра, 1981. – 243 с.
116. Барон, Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 130 с.
117. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ 03-498-02) : Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 9 сентября 2002 года N 57. – М. 2003. – 110 с.
118. Единые правила безопасности при взрывных работах (ПБ 13 – 407 – 01) : Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 30 января 2001 года N3. Введены в действие с 01.03.2002. – М., 2002. – 260 с.
119. Панишев, С. В. Комплексный мониторинг работы драглайна на угольном месторождении криолитозоны / С. В. Панишев, Д. С. Козлов, М. С. Максимов, // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – Специальный выпуск 30 : Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера. – С. 185 – 192.
120. Каймонов, М. В. Моделирование динамики температурного поля многолетнемерзлых горных пород карьеров после взрывной отбойки / М. В. Каймонов, С. В. Панишев // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2016. – № 3. – С. 185 – 191.
121. Проходка разведочных траншей в мерзлых дисперсных породах путем послонной выемки их в летний период : учебно-методическое пособие / составители : В. А. Шерстов, Ю. А. Хохолов, Г. И. Попов ; отв. редактор Р. М. Скрыбин ; рец. : Г. О. Киприянов, С. В. Панишев ; М-во образования и науки РФ,

Якут. гос. ун-т им. М.К. Аммосова, Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 2004. – 27 с.

122. Патент на изобретение № 2542007 Российская Федерация, МПК E 21 C 41/26. Способ разработки смерзающихся вскрышных пород : № 2013159241/03 : заявл. 30.12.2013 : опубл. 20.02.2015 / Панишев С. В., Ермаков С. А., Каймонов М. В., Зарубин В. А., Зедгенидзе А. И., Максимов М. С., Козлов Д. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН // Бюл. № 5.

123. Панишев, С. В. К вопросу прогноза производительности драглайна при экскавации смерзающейся взорванной горной массы в условиях месторождений криолитозоны / С. В. Панишев, М. В. Каймонов, М. С. Максимов, Е. Л. Алькова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. – Т.9, – № 3. С. 138 – 141.

124. Ржевский, В. В. Открытые горные работы : учебник для вузов. Ч. I : Производственные процессы / В. В. Ржевский. – М. : Недра, 1985. – 509 с.

125. Ржевский, В. В. Процессы горных работ / В.В. Ржевский. – М. : Недра, 1978. – 541 с.

126. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер, Е. С. Ватолин, М. Ф. Кунтыш ; под ред. М. М. Протодяконова. – М. : Недра, 1969. – 392 с.

127. Ямщиков, В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород, и процессов : учебник для вузов / В. С. Ямщиков. – М. : Недра, 1982. – 296 с.

128. Алькова, Е. Л. Экспериментальные исследования прочности на срез мерзлых горных пород на образцах большого размера / Е. Л. Алькова, С. В. Панишев, Д. С. Козлов, М. С. Максимов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 145 – 149.

129. Патент на изобретение № 2629610 Российская Федерация, МПКG01N 33/24. Способ изготовления смерзшихся образцов, структурно сопоставимых с

взорванным массивом горных пород : № 2016121595 : заявл. 31.05.2016 : опубл. 30.08.2017 / Панишев С. В., Ермаков С. А., Алькова Е. Л., Максимов М. С., Козлов Д. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН // Бюл. № 25.

130. Корректировка горно-транспортной части проекта реконструкции разреза «Кангаласский» (пересмотр 2001 г.). Проектная документация. Российская Федерация. ОАО «Дальвостниипроектуголь». – Владивосток, 2010 – Т.3. – 118 с.

131. Руппенейт, К. В. Введение в механику горных пород / К. В. Руппенейт, Ю. М. Либерман. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во литературы по горному делу, 1960. – 356 с.

132. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Т I. : Полевые методы ; под ред. Е. М. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 423 с.

133. Максимов, М. С. Подготовка образцов смерзшихся горных пород для испытаний прочности на срез / М. С. Максимов, Д. С. Козлов // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 297 – 300. – DOI:10.15372/FPVGN2019060350

134. Алькова, Е. Л. Методический подход к экспериментальным исследованиям прочности смерзшихся дисперсных пород / Е. Л. Алькова // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* – 2015. № 7. Спец. выпуск. 30. : Геомеханические и геологические проблемы освоения недр Севера – С. 356 – 364.

135. Maksimov, M.S. Preparation of frozen rock samples for shear tests / Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 773 M.S Maksimov and D.S Kozlov 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 773 012075 3p. (In Russian) – doi:10.1088/1755-1315/773/1/012075.

136. ГОСТ 30416-96 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М. : МНТКС, 1996. – 22 с.

137. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1984. – 7 с.

138. Панишев, С. В. Исследование прочностных характеристик мерзлых образцов однородной и нарушенной структуры / С. В. Панишев, М. С. Максимов, Е. Л. Алькова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11–2. – С. 383 – 388.

139. Максимов, М. С. Исследование влияния размеров включений на прочность смерзшихся образцов горных пород на срез / М. С. Максимов, С. В. Панишев, Е. Л. Алькова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 139 – 147. – DOI:10.25018/0236_1493_2021_121_0_139.

140. Панишев, С. В. К оценке показателя трудности экскавации смерзающегося взорванного массива горных пород / С. В. Панишев, Е. Л. Алькова, М. С. Максимов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 3. – С. 31 – 36.

141. Алькова, Е. Л. Оценка относительного показателя трудности экскавации взорванного массива в условиях криолитозоны / Е. Л. Алькова, С. В. Панишев, М. С. Максимов // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 11. – С. 32 – 38. – DOI: 10.17513/use.37511.

142. Алькова, Е. Л. Исследование влияния содержания мелкой и крупной фракции на показатель трудности экскавации смерзающегося взорванного массива горных пород / Е. Л. Алькова, С. В. Панишев, М. С. Максимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 29 – 38.

143. Топливо-энергетический комплекс России из космоса. Угольные разрезы, тепловые станции, промышленная экология / И. В. Зеньков, В. В. Коростовенко, В. А. Миронкин [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 616 с. – (Сер. «Горнодобывающая промышленность России из космоса»).

144. Михайленко, Г. Г. Повышение эффективности разработки открытым способом глубокозалегающих россыпей криолитозоны Северо-востока / Г. Г.

Михайленко, А. И. Зинченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск : Дальний Восток. – 2013. – № ОВ 4. – С. 15 – 26.

145. Михайленко, Г. Г. Ресурсосберегающие технологии повышения интенсивности ведения открытых горных работ при эксплуатации многолетнемерзлых россыпей / Г. Г. Михайленко // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2023. – № 39. – С. 76 – 81.

146. Ческидов, В. И. К вопросу применения драглайнов на алмазородных месторождениях Якутии / В. И. Ческидов, А. Н. Акишев, Г. Г. Саканцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 4. – С. 111 – 123.

147. Гальянов, А. В. Трансформация структуры горных массивов при взрывных работах на карьерах / А. В. Гальянов, В. Н. Рождественский, А. Н. Блинов ; Институт горного дела УрО РАН. – Екатеринбург, 1999. – 140 с.

148. Панишев, С. В. Рекомендации по отработке драглайном взорванного многолетнемерзлого массива / С. В. Панишев, М. В. Каймонов, Д. С. Козлов, М. С. Максимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 10. – С. 66 – 71.

149. Беляков, Ю. И. Экскаваторные работы : справочник рабочего / Ю. И. Беляков. – М. : Недра, 1992. – 288 с.

150. Хямяляйнен, В. А. Тампонаж обрушенных пород / В. А. Хямяляйнен, Л.П. Понасенко, Ю.В. Бурков, Г.С. Франкевич, В.А. Жеребцов // РАЕН. Кузбас. гос. техн. ун-т, 2000. – 107 с.

151. Басниев, К. С. Подземная гидромеханика : учебник для вузов / К. С. Басниев, Н. И. Кочина, М. В. Максимов. – М. : Недра, 1993. – 416 с.

152. Винокуров, А. П. Экспериментальные исследования процесса вторичного смерзания горных пород в условиях минерализации поровой влаги / А. П. Винокуров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – Отдельный выпуск 2 : Якутия -1. – С. 188 – 193.





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 155251

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СМЕРЗАНИЯ

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015116197

Приоритет полезной модели 28 апреля 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 03 сентября 2015 г.

Срок действия патента истекает 28 апреля 2025 г.

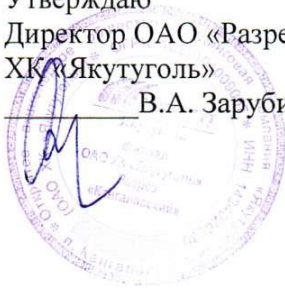
Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



Утверждаю
 Директор ОАО «Разрез Кангаласский»
 ХК «Якутуголь»

 В.А. Зарубин



Утверждаю
 Директор ИГДС СО РАН

 д.т.н. С.М. Ткач



АКТ
 приемки – передачи

Настоящий акт составлен в том, что Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук разработаны и переданы для использования ОАО «Разрез Кангаласский» ХК «Якутуголь» «Рекомендации по выбору и обоснованию рациональных технологических параметров разработки массива взорванных вскрышных пород, склонных к повторному смерзанию».

В рекомендациях определены производительность и длина экскаваторного блока при различных параметрах вскрышных уступов, и рассмотренных технологических схемах выкладки вскрыши в отвал для условий разработки правобережного участка Кангаласского месторождения.

_____ апреля 2015г.

Зав. лабораторией ОГР
 ИГДС СО РАН к.т.н.,

 С.А. Ермаков/

Отв. исполнитель
 С.н.с. лаб. ОГР, к.т.н.

 /С.В. Панишев/

Гл. инженер ОАО «Разрез Кангаласский»
 ХК «Якутуголь»

 /А.И. Зедгенидзе/