

*На правах рукописи*

**Носов Александр Алексеевич**



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЕМОНТАЖА ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ  
РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С  
НЕУСТОЙЧИВЫМИ ПОРОДАМИ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ  
КРОВЛИ**

*Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2023

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент

*Карнов Григорий Николаевич*

**Официальные оппоненты:**

*Ермакова Инна Алексеевна*

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», кафедра математики, профессор;

*Семенов Вячеслав Владимирович*

кандидат технических наук, Акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», лаборатория горной геомеханики, заведующий лабораторией.

**Ведущая организация** – акционерное общество «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 21 сентября 2023 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета ГУ.2 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 21 июля 2023 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ  
Евгений Ростиславович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Наиболее эффективной схемой работы современных угольных шахт, характеризующейся низкой себестоимостью добычи и высокой производительностью труда, в настоящее время в России является схема «шахта-лава». Высокий уровень надежности и технические характеристики современного очистного оборудования вполне позволяют поддерживать нагрузку на очистной забой на уровне выше 10 000 тонн в сутки, а в рекордные периоды – свыше 50 000 тонн угля в сутки. Вместе с тем, в случае остановки подвигания лавы, шахта неминуемо терпит экономический ущерб, достигающий 80 и более миллионов рублей за одни сутки.

В результате анализа ситуации на современных шахтах России и мира установлено, что среди возможных причин остановки лавы следует выделить остановки в период ремонта очистного комплекса на новый выемочный участок. Данный период относится к числу неизбежных простоев, связанных, по меньшей мере, с необходимостью проведения планового ремонта очистного оборудования. Продолжительность простоев в данном случае составляет 40-60 суток, что в 2,5-4 раза превышает технически требуемую, а в отдельных случаях может достигать 180 суток и более. Размер экономического ущерба при этом достигает десятков и сотен миллионов рублей в год.

Наиболее трудоёмким и характеризующимся продолжительными простоями этапом ремонта очистного оборудования является демонтаж. Основной причиной увеличения продолжительности демонтажа являются затраты времени и труда на ликвидацию последствий и профилактику обрушений кровли в демонтажной камере. В отдельных случаях данные операции отнимают более 80 % от общего времени работ, причем основной причиной обрушения пород кровли в рабочее пространство демонтажной камеры является их низкая устойчивость.

При изучении опыта ведения демонтажных работ установлено, что слабая устойчивость пород непосредственной кровли над местом демонтажа является следствием воздействия на неё как природных,

так и техногенных факторов, т.е. как геологическим строением, так и опорным давлением лавы.

**Степень разработанности темы исследования.** Существенный вклад в решение вопросов, связанных с предотвращением обрушений пород кровли в очистных забоях и совершенствованием технологий демонтажа лав, внесли: А.А. Борисов, С.Т. Кузнецов, В.П. Зубов, Б.К. Мышляев, И.А. Ермакова, Г.Н. Карпов, В.В. Климов, а также зарубежные исследователи: С. Тадолини, Д. Ойлер и др.

Важно отметить, что повышение трещиноватости пород непосредственной кровли над демонтажной камерой, в том числе в случае природной неустойчивости, происходит на этапе формирования демонтажной камеры при всех известных вариантах технологий формирования. Таким образом, к настоящему времени не исследованы вопросы, связанные с обоснованием технологий демонтажа в условиях неустойчивых пород кровли, потому в основу рекомендуемой технологии следует заложить иной принцип формирования демонтажной камеры, позволяющий исключить или максимально снизить влияние неустойчивых пород на технологический процесс.

Содержание диссертации соответствует **паспорту научной специальности** по п.1 «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях», п.5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых».

**Объект исследования.** Технологические схемы демонтажных работ в условиях неустойчивых пород непосредственной кровли.

**Предмет исследования.** Минимально необходимая толщина и глубина заделки искусственного перекрытия в кровле демонтажной камеры и факторы, влияющие на данные параметры.

**Цель работы.** Сокращение продолжительности простев очистных механизированных комплексов на «шахтах-лавах» при ведении демонтажных работ в условиях неустойчивых пород кровли.

**Идея работы.** Поставленная цель достигается за счет замещения неустойчивых пород непосредственной кровли на закладочный массив, исключая обрушение пород кровли в пространство демонтажной камеры, что приводит к сокращению затрат времени на демонтаж.

**Задачи исследования:**

1. Анализ мирового опыта ведения демонтажных работ в лавах пологих пластов.

2. Разработка технологии, позволяющей обеспечить повышение эффективности демонтажа в рассматриваемых горно-геологических и горнотехнических условиях.

3. Исследование геомеханических процессов, происходящих в окрестности демонтажной камеры, формируемой согласно рекомендуемой технологии, путем проведения физического и компьютерного моделирования.

4. Разработка рекомендаций по определению параметров рекомендуемой технологии.

5. Оценка экономической эффективности рекомендуемой технологии и определение области её рационального применения.

**Научная новизна работы:**

1. Установлен характер распределения напряжений в окрестности демонтажной камеры, формируемой под закладочным массивом согласно рекомендуемой технологии.

2. Получены зависимости глубины заделки закладочного массива впереди конечного положения очистного забоя от глубины ведения горных работ для пластов различной мощности.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Доказана возможность сокращения сроков демонтажа не менее чем на 58% за счет применения рекомендуемой технологии, исключая отрицательное влияние неустойчивых пород непосредственной кровли на технологический процесс.

2. Применение рекомендуемой технологии позволяет увеличить годовую прибыль предприятия не менее чем на 10% за счет сокращения продолжительности простоев очистного оборудования.

3. Замещение неустойчивых пород кровли более прочным закладочным массивом позволяет повысить безопасности труда горнорабочих.

4. Разработаны рекомендации относительно основных параметров закладочного массива, возводимого над будущим местом демонтажа и способов его возведения.

5. Разработаны расчетные схемы компьютерного и физического моделирования напряженного состояния массива в окрестности демонтажной камеры, формируемой согласно рекомендуемой технологии.

6. Определена область рационального применения рекомендуемой технологии.

7. Результаты диссертационных исследований приняты в качестве альтернативной технологии в проектной и экспертной работе ООО «СПб-Гипрошахт», что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 25.05.2022 г.

**Методология и методы исследования.** Исследования были проведены с применением комплексного подхода, включающего: анализ опыта и научно-технической литературы по рассматриваемому вопросу; разработку рекомендуемой технологии; проведение компьютерного и физического моделирования для получения основных зависимостей и определения параметров рекомендуемой технологии, расчет экономической эффективности её применения для различных условий.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Использование при интенсивной отработке угольных пластов с неустойчивыми породами непосредственной кровли разработанной технологии демонтажа очистных механизированных комплексов, включающей проведение вспомогательной выработки в породах непосредственной кровли над трассой проведения демонтажной камеры, возведение во вспомогательной выработке закладочного массива и выполнение демонтажных работ под искусственным перекрытием, позволяет не менее чем на 58% сократить продолжительность простоев очистного оборудования в период его ремонта.

2. Безаварийное состояние демонтажной камеры, сформированной с использованием предлагаемой технологии, обеспечивается при глубине заделки искусственного перекрытия, определяемой в зависимости от глубины ведения работ и мощности пласта, и высоте закладочного массива, отвечающей требованиям его устойчивости в местах наибольшего обнажения и технологичности возведения.

3. Применение рекомендуемой технологии целесообразно в условиях отработки пологих угольных пластов мощностью до 5 м с неустойчивыми породами непосредственной кровли и глубиной ведения работ до 295 м.

**Степень достоверности результатов исследования** обеспечивается использованием современных надежных методов исследований и обработки полученной информации; высокой сходимостью результатов исследований, полученных при компьютерном и физическом моделировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности демонтажной камеры, а также неоднократной апробацией результатов в кругу представителей научного сообщества.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы были представлены на следующих семинарах и конференциях: X Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное освоение месторождений полезных ископаемых», 16.10.2020 г.; IV Международная научно-практическая конференция «Горное дело XXI века: технологии, наука, образование», 26.10-28.10.2021 г.

**Личный вклад автора:** сформулированы цель, идея и задачи диссертационного исследования; разработаны расчетные схемы и методики компьютерного и физического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород (МГП) в окрестности демонтажной камеры. Проанализированы и обобщены результаты экспериментов; произведен расчет экономической эффективности применения рекомендуемой технологии и определена область её рационального использования; сформулированы защищаемые положения и основные выводы.

**Публикации.** Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе: в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получены патент на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка используемой литературы, включающего 103 источника. Диссертация изложена на 208 страницах машинописного текста, содержит 99 рисунков и 45 таблиц.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю доценту кафедры РМПИ Карпову Г.Н., доценту кафедры РМПИ Ковальскому Е.Р., доценту кафедры РМПИ Никифорову А.В. и доценту Сидоренко А.А.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и идея работы, определены задачи и методы исследования, представлены защищаемые положения, описаны: научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений работы, практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** изучены особенности технологий формирования демонтажных камер при отработке пологих угольных пластов очистными механизированными комплексами (ОМК) и способы повышения устойчивости пород непосредственной кровли демонтажных камер. Проведен анализ и выявлена основная причина увеличения сроков демонтажных работ. Представлена диаграмма распределения затрат времени на выполнение основных операций при демонтаже ОКМ. Представлена разработанная технология формирования демонтажных камер, исключая отрицательное влияние пород непосредственной кровли демонтажной камеры на



продолжительность основных операций по демонтажу очистного оборудования.

**Во второй главе** представлены методика и результаты проведения физического моделирования на эквивалентных материалах. Описаны горно-геологические условия, физико-механические свойства моделируемых горных пород с учетом коэффициента структурного ослабления и расчетные физико-механические свойства эквивалентных материалов. Описаны этапы проведения исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности демонтажной камеры, формируемой согласно рекомендуемой технологии, проанализированы результаты моделирования. Определена ширина опережающей части закладочного массива, при которой сохраняется устойчивое состояние демонтажной камеры в исследуемых условиях.

**В третьей главе** приведена методика и результаты компьютерного моделирования методом конечных элементов НДС МГП в окрестности демонтажной камеры, формируемой согласно рекомендуемой технологии. Описан характер распределения напряжений в окрестности демонтажной камеры на каждом из этапов формирования. Исследована устойчивость пород в окрестности формируемой камеры на всех этапах работ при различной глубине заделки закладочного массива впереди конечного положения забоя. Произведена оценка сходимости результатов компьютерного и физического моделирования.

**В четвертой главе** содержится обоснование параметров предлагаемой технологии формирования демонтажной камеры в условиях шахты «Талдинская-Западная-2» пл. 69. Описан порядок и основные параметры технологии при проведении широкой закладываемой горной выработки в породах неустойчивой кровли, а также порядок ведения закладочных работ. Изложен порядок работ по демонтажу оборудования очистного механизированного комплекса согласно рекомендуемой технологии. Выполнена оценка экономической эффективности от возможного внедрения разработанной технологии.

**Основные результаты исследований** отражены в следующих защищаемых положениях:

**1. Использование при интенсивной отработке угольных пластов с неустойчивыми породами непосредственной кровли разработанной технологии демонтажа очистных механизированных комплексов, включающей проведение вспомогательной выработки в породах непосредственной кровли над трассой проведения демонтажной камеры, возведение во вспомогательной выработке закладочного массива и выполнение демонтажных работ под искусственным перекрытием, позволяет не менее чем на 58% сократить продолжительность простоев очистного оборудования в период его перемонтажа.**

В результате проведенного анализа опыта ведения демонтажных работ было установлено, что устойчивость пород непосредственной кровли над местом ведения демонтажа напрямую зависит от её трещиноватости. В свою очередь, трещиноватость определяется как природными особенностями строения массива горных пород, так и параметрами применяемой технологии формирования демонтажной камеры (способ формирования, скорость подвигания лавы на завершающем этапе отработки, ширина камеры и пр.). Выбор способа формирования демонтажной камеры обуславливает характер и продолжительность воздействия опорного давления лавы на породы в месте проведения демонтажа, оказывая существенное влияние на их устойчивость к моменту начала работ по демонтажу очистного оборудования.

Согласно общепринятой классификации, существующие технологии формирования демонтажных камер можно разделить на две группы. К технологиям первой группы относятся те, при которых формирование демонтажной камеры осуществляется очистным комплексом в процессе выемки угля с одновременным монтажом перекрытия и установкой крепи. Вторая группа технологий предусматривает заблаговременное формирование демонтажной камеры с последующим вводом в нее механизированного комплекса.

Технологии первой группы характеризуются наличием продолжительного (1-3 недели) этапа снижения темпов подвигания очистного забоя, обусловленного необходимостью возведения защитного перекрытия у кровли демонтажной камеры. Снижение скорости подвигания приводит к увеличению продолжительности

воздействия опорного давления лавы на породы впереди забоя. Таким образом в зону длительного воздействия повышенных напряжений попадают именно те породы, которые на этапе демонтажа располагаются непосредственно над рабочим пространством камеры. В дальнейшем это приводит к существенному увеличению простоев, связанных с ликвидацией последствий вывалов кровли в демонтажной камере.

Технологии второй группы характеризуются наличием уменьшающегося целика угля, расположенного между заблаговременно проведенной выработкой и приближающимся к ней забоем лавы. При подходе лавы к выработке, целик и породы в его окрестности переходят в запредельное напряженное состояние, что приводит к их разрушению и продолжительным простоям комплекса еще до момента его полного ввода в демонтажную камеру. Также при длительной остановке комплекса на этом этапе наблюдаются значительные смещения пород кровли, приводящие к снижению её устойчивости. В результате применение технологий второй группы, при возникновении описанных проблем, приводит к критическому увеличению продолжительности простоев, связанных с ликвидацией последствий вывалов, а в отдельных случаях – к частичной потере дорогостоящего очистного оборудования.

В ходе анализа продолжительности основных этапов ведения демонтажных работ были рассмотрены 20 случаев демонтажа очистных комплексов в схожих горнотехнических условиях. В таблице 1 приведены результаты этого анализа с выделением доли затрат времени на ликвидацию последствий вывалов пород кровли в рабочее пространство от общего времени демонтажа. Строки 1-7, 8-12 и 13-20 таблицы 1 указывают на проведение работ в условиях устойчивых, среднеустойчивых и неустойчивых пород непосредственной кровли соответственно.

В результате проведенного анализа установлено, что в условиях устойчивых пород непосредственной кровли затраты времени на ликвидацию последствий вывалов изменялись от 0 до 39%. В условиях среднеустойчивых пород – от 47 до 53%. В условиях неустойчивых пород – от 58 до 87%. В среднем доля затрат времени на ликвидацию последствий обрушений кровли при демонтаже соста-

вила 27%, 51% и 70% соответственно. Важно отметить, что ни одна из рассмотренных технологий не позволяет полностью исключить негативное влияние вывалов пород кровли в рабочее пространство демонтажной камеры.

Автором разработана и запатентована технология формирования демонтажной камеры, предусматривающая заблаговременную замену неустойчивых пород непосредственной кровли над местом заложения будущей демонтажной камеры искусственным массивом (рисунки 1 и 2).

Таблица 1 – Затраты времени при демонтаже очистных механизированных комплексов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

Лава	Время на формирование камеры, сут	Время демонтажа, сут	Срок ликвидации последствий вывалов, сут	Доля времени на ликвидацию вывалов
6705	8	11	0	0,00
5205	0	25	5	0,20
6702	4	21	5	0,20
2451	4	27	11	0,35
5202	8	24	12	0,38
6706	9	24	13	0,39
5203	10	23	13	0,39
2453	10	28	18	0,47
2591	18	24	22	0,52
1310	16	26	22	0,52
6704	16	26	22	0,52
5204	11	32	23	0,53
7005	30	18	28	0,58
1745	26	22	28	0,58
6701	21	36	37	0,65
1312	16	42	38	0,66
6703	39	26	45	0,69
1324	28	52	60	0,75
5205	57	59	96	0,83
7006	48	106	134	0,87

На рисунке 1 представлено поперечное сечение демонтажной камеры, сформированной согласно рекомендуемой технологии. Геометрические параметры закладочного массива обуславливают размеры закладочной выработки, заранее проводимой в породах неустойчивой кровли над местом заложения демонтажной камеры. В свою очередь, ширина выработки, обеспечивающая требуемую ширину закладочного массива ( $b$ ), должна определяться по формуле (1):

$$b = x_1 + x_2 + x_3, \quad (1)$$

где  $b$  – общая ширина проводимой выработки, м;  $x_1$  – длина поддерживающей части перекрытия механизированной крепи, м;  $x_2$  – технологически требуемая ширина демонтажной дорожки, кратная ширине захвата очистного комбайна, м (как правило, составляющая 1,6 или 2,4 м);  $x_3$  – ширина опережающей части закладочного массива (глубина заделки закладочного массива впереди конечного положения очистного забоя), м.

Значение параметров  $x_1$  и  $x_2$  имеют технический характер и зависят от типа механизированной крепи. Величина заделки  $x_3$  должна обеспечивать устойчивое состояние угольного пласта под закладочным массивом и требует определения для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий. Высота закладочного массива (толщина плиты искусственного перекрытия) напрямую влияет на стоимость его возведения. Следовательно, с точки зрения повышения экономической эффективности технологии, следует принимать её минимально возможной. С другой стороны, уменьшение высоты массива отрицательно сказывается на его несущей способности, что также влияет на эффективность применения рекомендуемой технологии. Поэтому высота закладочного массива принимается по комбинации следующих параметров: минимальная толщина плиты, обеспечивающая сохранение её устойчивого состояния; минимальная высота камеры, проводимая конкретным проходческим комбайном.

Для реализации предлагаемой технологии требуется организовать временный поверхностный закладочный комплекс. Закладочный материал предполагается транспортировать по выработкам шахты при помощи трубопровода в смешанном режиме (самотечном и самотечно-пневматическом). Возведение закладочного массива по

длине выработки осуществляется в восходящем порядке. Заполнение выработки закладочным массивом ведется с разделением её на участки (блоки) с помощью деревянной опалубки.

Демонтаж очистного механизированного комплекса согласно рекомендуемой технологии может осуществляться в восходящем или нисходящем порядке, а также в двух направлениях одновременно в зависимости от угла наклона демонтажной камеры. Крепление зоны обрушения осуществляется при помощи пилотной крепи (рисунок 2). С целью плавного опускания блоков закладочного массива, после извлечения механизированной крепи, со стороны выработанного пространства и вдоль краевой части угольного массива устанавливаются два ряда деревянных стоек, а на стыке блоков выкладываются деревянные костры.

Таким образом, применение рекомендуемой технологии позволяет полностью заменить неустойчивую кровлю демонтажной камеры искусственным нетрепчататым массивом с заданными физико-механическими свойствами. На основе анализа структуры затрат времени на демонтаж очистного оборудования в условиях неустойчивой непосредственной кровли полностью исключается фактор ликвидации последствий вывалов, составляющий в среднем 70% от общего времени демонтажа при минимальных значениях в 58%.

**2. Безаварийное состояние демонтажной камеры, сформированной с использованием предлагаемой технологии, обеспечивается при глубине заделки искусственного перекрытия, определяемой в зависимости от глубины ведения работ и мощности пласта, и высоте закладочного массива, отвечающей требованиям его устойчивости в местах наибольшего обнажения и технологичности возведения.**

При ведении работ по демонтажу очистного оборудования на этапах ввода механизированного комплекса под искусственное перекрытие и демонтажа секций механизированной крепи искусственная кровля демонтажной камеры локально обнажается, образуя временно незакрепленные участки различных размеров. На рисунке 3 изображена стадия ведения работ, когда при демонтаже секции крепи образуется пролет обнаженной искусственной кровли максимальных

размеров (6,0 м×3,0 м). Мощность (толщина) искусственного перекрытия в данном случае должна обеспечивать его устойчивое состояние. В данном случае перекрытие работает как плита, заделанная с трёх сторон, а ее толщина рассчитывается из условий одновременного сопротивления сдвигу и растяжению. Величина эквивалентного пролета плиты из бетона класса В27,5 определяется по формуле (2):

$$l_э = \frac{ab}{a + b}, \quad (2)$$

где  $l_э$  – эквивалентный пролет, м;  $a$  – ширина плиты, м;  $b$  – длина плиты, м.

Условия прочности описываются формулами (3 и 4):

$$l_э \leq 1,63h_{эм} \sqrt{\frac{\sigma_p}{\gamma H}}, \quad (3)$$

$$l_э \leq 2h_{эм} \frac{\sigma_{сдв}}{\gamma H}, \quad (4)$$

где  $h_{эм}$  – требуемая толщина искусственной плиты из затвердевшего закладочного массива, м;  $\sigma_p$  и  $\sigma_{сдв}$  – пределы прочности на растяжение и на сдвиг искусственной плиты соответственно, МПа;  $\gamma$  – средний объемный вес вышележащей толщи горных пород, МН/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина залегания искусственной плиты, м.

Основываясь на принятой горнотехнической ситуации минимальная необходимая толщина закладочного массива составит: исходя из условия сопротивления изгибу – 1,45 м; исходя из условия сопротивления сдвигу – 0,75 м.

Для обеспечения технологических условий проведения и закладки описываемой выработки её минимальная высота должна составлять 2 м (минимальная высота выработки проводимой комбайном типа КП-21 в рассматриваемых условиях). Таким образом, в конкретном случае, реализация технологии возможна в двух вариантах: с полной закладкой выработки на высоту 2 м; частичной закладкой на высоту 1,45 м и заполнением пространства над закладкой костровой крепью или иным материалом.

С целью определения глубины заделки (параметра  $x_3$ ) и качественной оценки НДС массива в окрестности формируемой демон-

тажной камеры проведены исследования, включающие физическое и компьютерное моделирование процесса формирования демонтажной камеры (рисунки 4 и 5) в условиях пласта 69 шахты «Талдинская-Западная-2». Характерной особенностью в данном случае является наличие слоя неустойчивой кровли мощностью 2 м непосредственно над пластом.

В процессе проведения эксперимента качественным показателем аварийного состояния демонтажной камеры являлось видимое разрушение пласта. Так, при глубине заделки закладочного массива более либо равной мощности пласта (4 м) видимых разрушений призабойной зоны не отмечалось (рисунок 6). При последующем перемещении забоя наблюдалось разрушение основной кровли и активный отжим краевой части пласта. Спустя непродолжительное время зафиксировано полное разрушение угля призабойной зоны (рисунок 7). На данном этапе эксперимент был завершен.

С целью дополнительных исследований и проверки сходимости результатов физического моделирования был выполнен этап исследований, включающий компьютерное моделирование НДС МГП в ранее рассмотренной области. Использовалась упругопластическая модель Кулона-Мора, широко распространенная при решении горно-геомеханических задач, включающая условия перехода материала в область запредельного деформирования, что позволяет воспроизводить потерю материалом несущей способности. Расчетная схема, повторяющая условия и этапы отработки физической модели, представлена на рисунке 5.

Физико-механические свойства горных пород были приняты в соответствии с условиями шахты «Талдинская-Западная-2». Процесс формирования камеры осуществлялся в течение 22 стадий, в точности повторяющих условия реализации рекомендуемой технологии и процесс отработки физической модели в лабораторных условиях.

Результаты, полученные при компьютерном моделировании, полностью подтверждают выводы, полученные при отработке физической модели (рисунки 8 и 9). Искомый параметр глубины заделки закладочного массива ( $x_3$ ) был определен при переходе призабойной части массива в запредельное состояние, потере его несущей способности и характерного перераспределения концентрации напряжений в



исследуемой области (рисунок 10). При этом, минимально требуемая глубина заделки в обоих случаях составила 4 м, что численно равно вынимаемой мощности пласта (высоте демонтажной камеры). В результате, полученный вид поперечного сечения закладываемой выработки, демонтажной камеры и параметры опалубки в условиях пласта 69 шахты «Талдинская-Западная-2» представлены на рисунках 11-13.

### **3. Применение рекомендуемой технологии целесообразно в условиях отработки пологих угольных пластов мощностью до 5 м с неустойчивыми породами непосредственной кровли и глубиной ведения работ до 295 м.**

Для определения области рационального использования рекомендуемой технологии были проведены дополнительные исследования, основанные на отработке 18-ти дополнительных компьютерных моделей с изменяемыми параметрами глубины работ (150-450 м) и мощности обрабатываемого пласта (3 м, 4 м и 5 м). Отработка моделей производилась аналогично ранее описанным исследованиям до перехода призабойной части массива в запредельное состояние.

На основании полученных результатов были получены графики зависимостей минимальной глубины заделки искусственного массива впереди очистного забоя от глубины расположения демонтажной камеры при различных мощностях пласта (рисунок 14).

Из представленных графиков следует, что описанные параметры находятся в зависимости вида  $y = a \cdot \ln(x) + b$ . Величина коэффициента детерминации ( $R^2$ ) изменяется от 0,81 до 0,96, что связано с выбором относительно большого шага моделирования выемки угля, соответствующего реальной величине 0,8 м. С учетом предельно возможной глубины заделки закладочного массива в 5 м, обусловленной максимальной шириной пролета закладываемой выработки и габаритами современного очистного оборудования установлено, что максимальной глубиной применения рекомендуемой технологии при вынимаемой мощности пласта 3, 4 и 5 метров будет 295, 225 и 200 метров соответственно.

Экономический эффект от внедрения рекомендуемой технологии выражается в дополнительной прибыли, получаемой от сокращения простоя лавы. Следовательно, эффективность её применения прямо зависит от суточной нагрузки. На рисунке 15 представлен график зависимости минимально требуемого сокращения продолжительности простоя лавы от суточной нагрузки, полученный в результате выполненных автором технико-экономических расчетов. Читать график следует так: например, сокращение продолжительности демонтажа менее чем на 10 суток при нагрузке на лаву 10 000 т/сут экономически нецелесообразно.

Согласно проведенным расчетам, применение рекомендуемой технологии в рассматриваемых условиях позволит увеличить годовую добычу предприятия на 700 тыс. т. в год. Реализация угля, добытого в этот период, позволит получить чистую прибыль в размере 1,7 млрд. руб. Вследствие увеличения годовой добычи предприятия, срок отработки запасов шахтного поля сократится в рассматриваемых условиях с 6 до 5,5 лет, а прирост ЧДД за этот период составит 2,74 млрд. руб (рисунок 16).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой достигнута поставленная цель, заключающаяся в сокращении продолжительности простоев очистных механизированных комплексов на «шахтах-лавах» при ведении демонтажных работ в условиях неустойчивых пород кровли.

Основные выводы по результатам выполненных исследований заключаются в следующем:

1. При работе угледобывающего предприятия по схеме «шахта-лава» простои очистного оборудования в демонтаже при переводе его на новый выемочный участок имеют важнейшее значение, т.к. относятся к числу неизбежных, а их продолжительность существенно сказывается на эффективности работы шахты.

2. Основной причиной увеличения продолжительности простоев при демонтаже очистного оборудования являются работы по ликвидации обрушений пород непосредственной кровли в рабочее пространство демонтажной камеры, природа возникновения которых

заключается как в снижении устойчивости непосредственной кровли в результате воздействия опорного давления лавы на этапе формирования камеры, так и вследствие природной нарушенности массива.

3. Известные технологии демонтажа в условиях неустойчивых пород кровли не способны гарантировать ее стабильность, а применение существующих способов повышения устойчивости кровли приводит к неприемлемому повышению трудоемкости работ.

4. Реализация разработанной технологии, включающей проведение вспомогательной выработки в породах непосредственной кровли над трассой проведения демонтажной камеры, возведение во вспомогательной выработке закладочного массива и выполнение демонтажных работ под искусственным перекрытием, позволяет сократить продолжительность демонтажных работ на 58 % и более за счет исключения негативного влияния слабых пород кровли при демонтаже и сокращения периода ввода механизированного комплекса в камеру.

5. Экспериментально установлено, что параметры закладочного массива, возводимого в кровле демонтажной камеры, должны определяться согласно комплексному критерию на основе оценки габаритов очистного оборудования, физических свойств закладочного массива и НДС призабойной зоны.

6. Областью рационального использования рекомендуемой технологии являются пологие угольные пласты с неустойчивой непосредственной кровлей, мощностью до 5 м на соответствующей глубине, не превышающей установленных в работе значений.

7. Экономический эффект от применения предлагаемой технологии достигается за счет сокращения продолжительности простоя и выражается в увеличении ЧДД на 5% и сокращении продолжительности отработки рассматриваемого участка недр на 9%.

8. Результаты диссертационных исследований приняты в качестве альтернативной технологии в проектной и экспертной работе ООО «СПб-Гипрошахт», акт внедрения представлен в приложении А. Получен патент.

9. Перспективы дальнейшего развития темы диссертации связаны с обоснованием составов закладочных массивов, позволяющих

снизить себестоимость ведения работ по возведению искусственного перекрытия.

### **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. Карпов, Г.Н. Повышение эффективности крепления демон- тажных камер, формируемых механизированными комплексами / Г.Н. Карпов, А.А. Сидоренко, А.А. Носов // Вестник КузГТУ. - 2021. - №1. - С. 73-79.

2. Носов, А.А. Анализ технологий формирования демон- тажных камер на пологих угольных пластах / А.А. Носов // Вестник КузГТУ. - 2021. - №1. - С. 56-63.

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

3. Karpov, G.N. Longwall recovery room erecting method for flat coal seam mining/ Karpov G.N., Kovalski E.R., Nosov A.A. // MIAB. Mining in- formational and analytical bulletin. 2022. no. 6–1. pp. 54–67. [In Russ]. DOI:10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_54.

4. Nosov, A.A. Features of the technology of forming an artificial mass in the roof rocks above the recovery room / Nosov A.A., Karpov G.N., Ko- valsky E.R. // Ugol. 2023. no. 3. pp. 69-74. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2- 69-74. (Scopus, МБД №1049, ред. 30.12.2022)

*Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной соб- ственности:*

5. Патент № 2743162 Российская Федерация, МПК E21C 41/18, E21D 19/02. Способ формирования демон- тажной камеры при разработке пологих угольных пластов № 2020133711 : заявл. 14.10.2020 : опубл. 15.02.2021 / Карпов Г. Н., Ковальский Е. Р., Носов А. А. ; заявитель СПГУ. – 10 с. : ил. 5

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021614024 Российская Федерация. Программа для расчета параметров крепления демон- тажной камеры, формируемой очистным ме- ханизированным комплексом № 2021612803 : заявл. 10.03.2021 : опубл. 18.03.2021 / Сидоренко А.А., Карпов Г.Н., Носов А.А. ; заявитель СПГУ. – 43Кб.

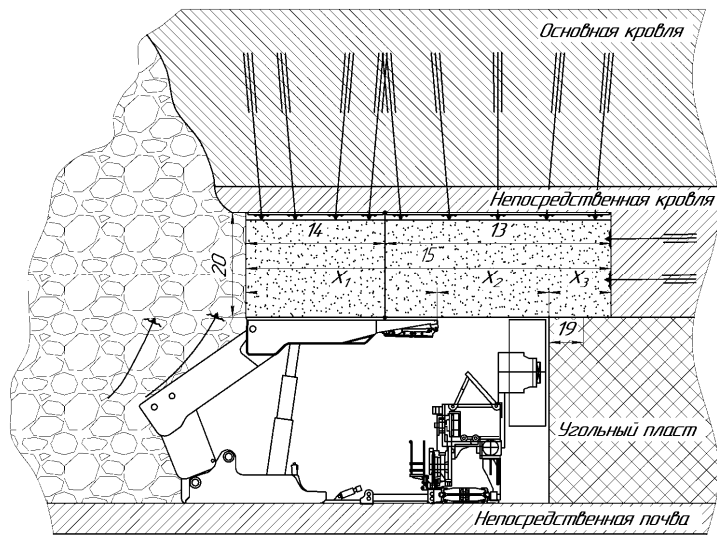


Рисунок 1 – Поперечный разрез демонтажной камеры после остановки очистного комплекса

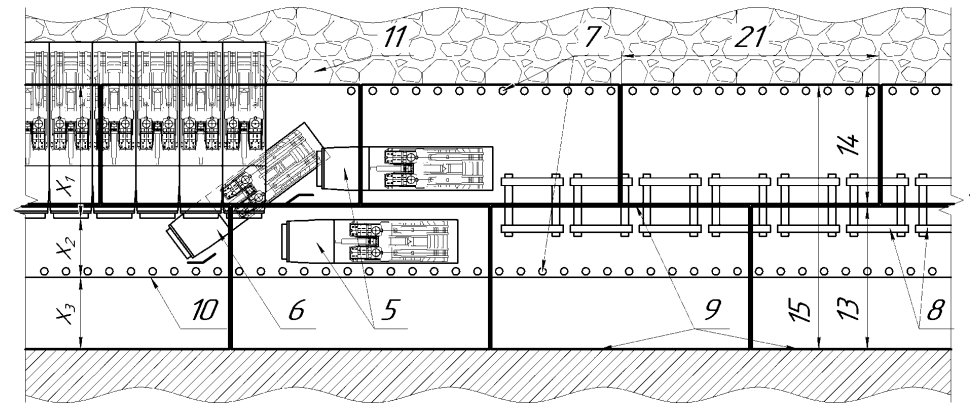


Рисунок 2 – Схема процесса извлечения секций механизированной крепи и управление кровлей в демонтажной камере

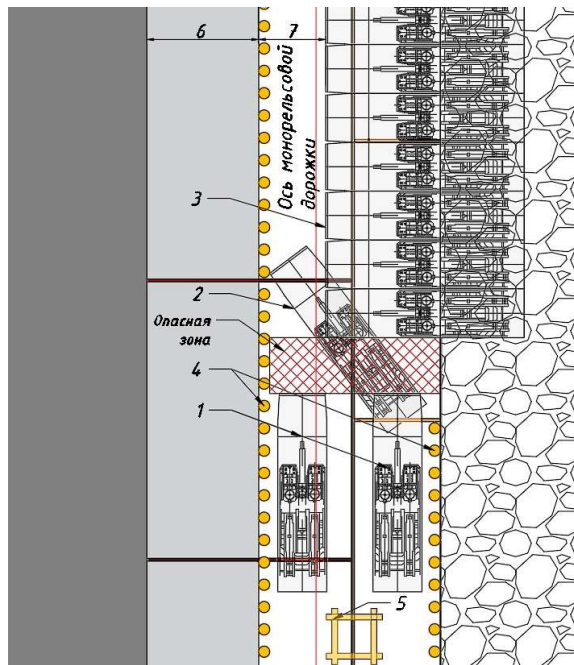


Рисунок 3 – Опасная зона при демонтаже линейной секции механизированной крепи

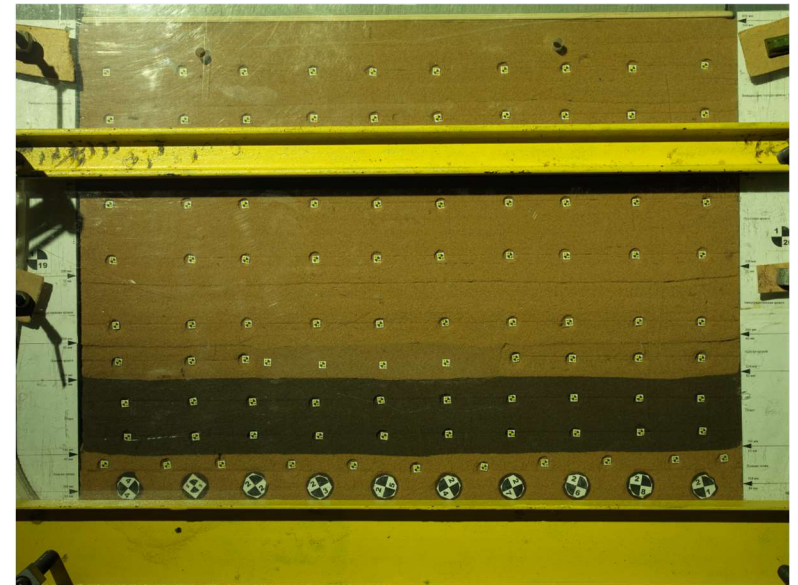


Рисунок 4 – Начальный этап физического моделирования на эквивалентных материалах

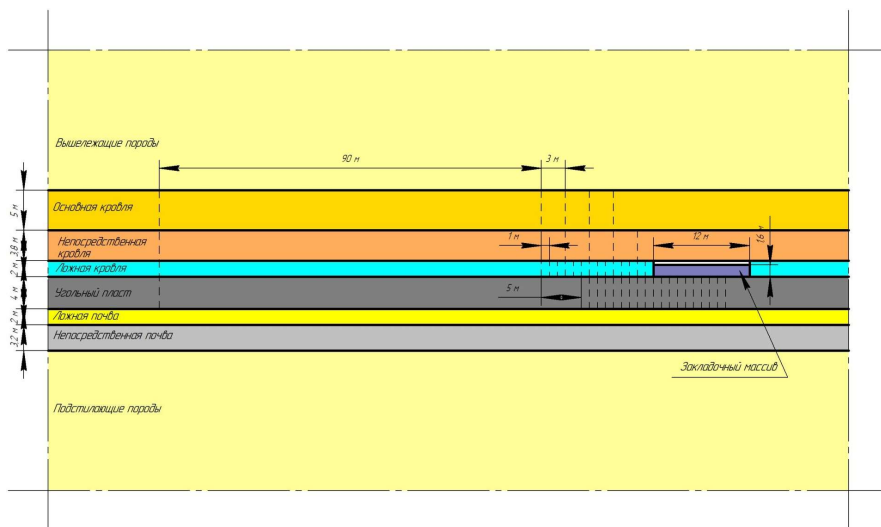


Рисунок 5 – Схема модели при численном моделировании методом конечных элементов



Рисунок 6 – Состояние массива при величине заделки 4 м (мощность пласта)



Рисунок 7 – Разрушение краевой части пласта при уменьшении величины заделки

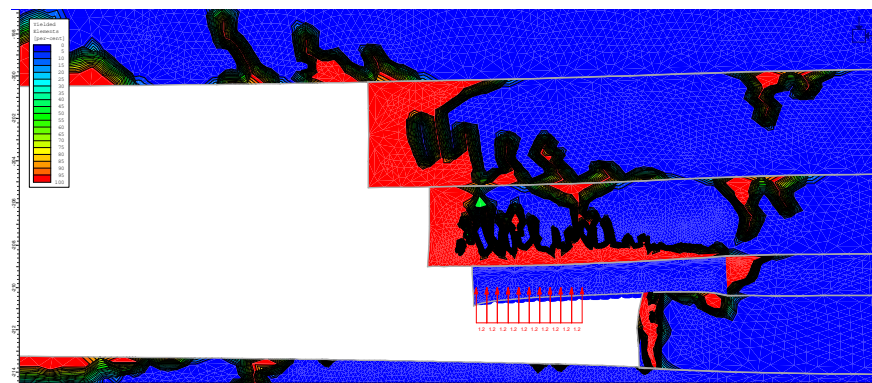


Рисунок 8 – Пластические деформации при величине заделки равной одной мощности пласта



Рисунок 9 – Пластические деформации при уменьшении величины заделки менее одной мощности пласта

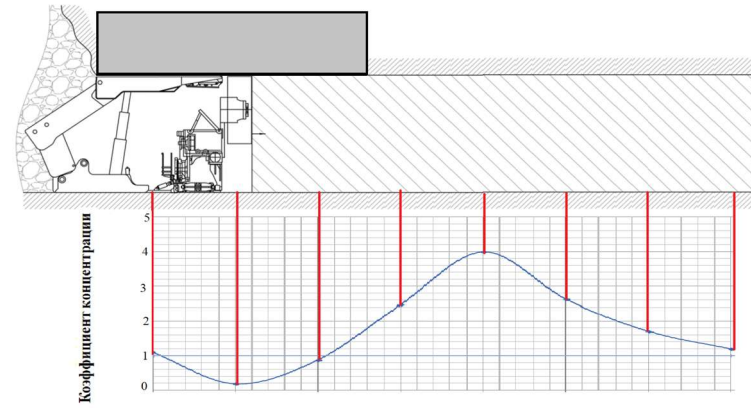


Рисунок 10 – Графики распределения напряжений в окрестности формируемой монтажной камеры под краевой частью пласта

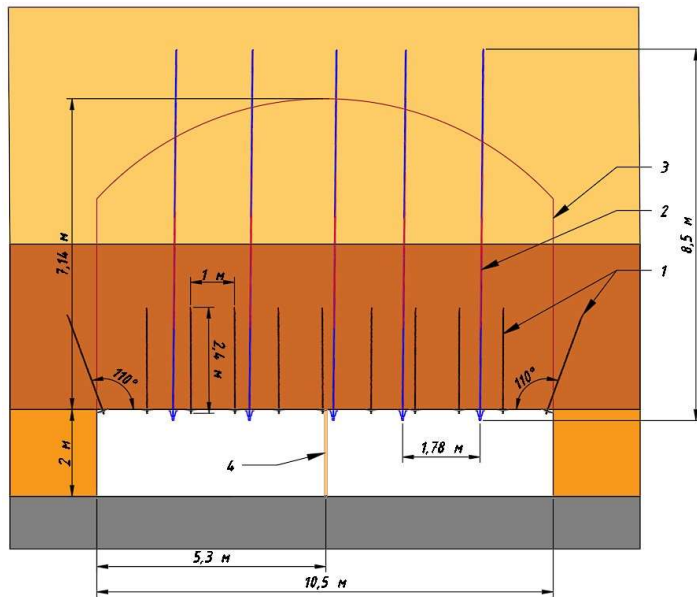


Рисунок 11 – Поперечное сечение проводимой выработки

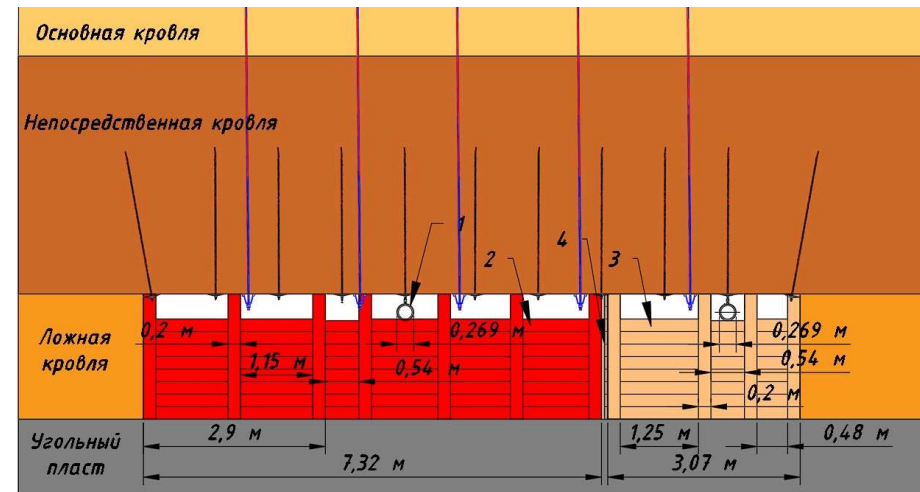


Рисунок 12 – Параметры возводимой опалубки

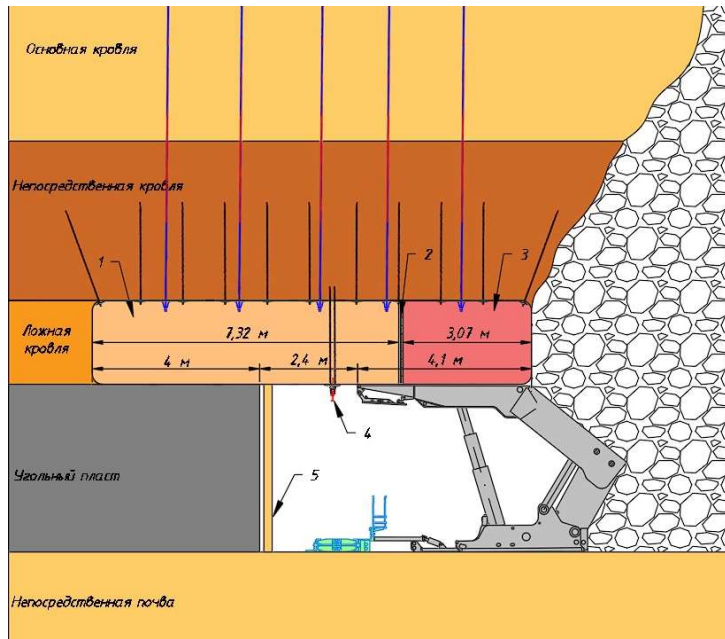


Рисунок 13 – Сформированная демонтажная камера

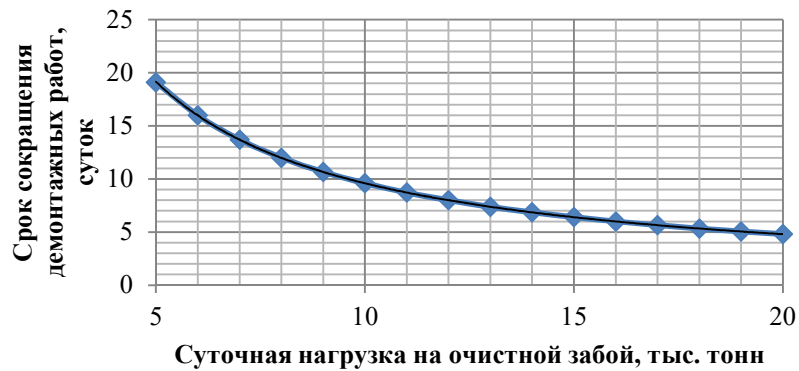


Рисунок 15 – Зависимость минимального сокращения продолжительности демонтажа от суточной нагрузки на лаву, с точки зрения экономической эффективности применяемой технологии

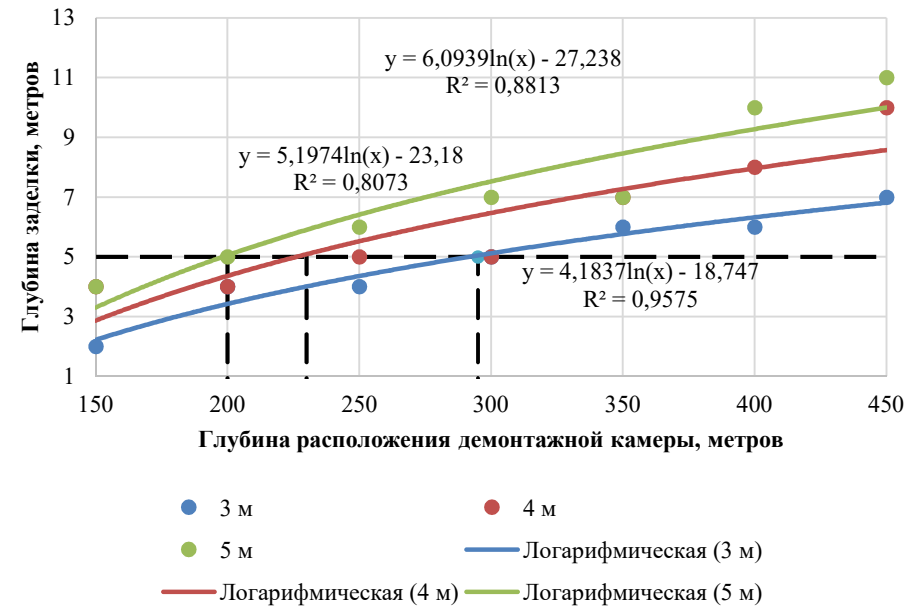


Рисунок 14 – Зависимость глубины заделки закладочного массива от глубины расположения демонтажной камеры при различных мощностях пласта



Рисунок 16 – Сравнение ЧДД при реализации различных технологий демонтажа