

На правах рукописи

Апарин Алексей Геннадьевич



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ
СКОРОСТНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ
ВЫРАБОТОК С УВЕЛИЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА
МАШИННОГО ВРЕМЕНИ КОМБАЙНОВ**

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

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

Санкт-Петербург – 2024

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент, профессор РАН

Казанин Олег Иванович

Официальные оппоненты:

Белодедов Андрей Алексеевич

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», заведующий кафедрой «Горное дело»;

Кузьмин Сергей Владимирович

кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Сибкор», департамент технических сервисов, начальник управления геомеханики и гидрогеологии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула

Защита диссертации состоится **13 февраля 2025 г. в 14:15** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 3321.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 13 декабря 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Применение современных очистных механизированных комплексов (ОМК) на угольных шахтах обеспечивает высокую производительность и, как следствие, высокие скорости подвигания очистных забоев, которые в отдельных случаях могут превышать 500 м/мес. Поскольку большинство шахт России используют структуру «шахта-лава», вопросы стабильной работы и полного использования потенциала ОМК являются основными для обеспечения конкурентоспособности подземной угледобычи. В то же время, анализ результатов работы ОМК даже на шахтах с благоприятными горно-геологическими условиями показывает, что технические возможности ОМК используются не более, чем на 30% вследствие простоев, причиной которых во многих случаях является несвоевременное воспроизводство фронта очистных работ из-за недостаточной скорости проведения выработок. Особенно актуальными вопросы повышения скорости проходки выработок становятся при переходе на многоштрековые схемы подготовки выемочных участков.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы повышения скорости проходки выемочных выработок для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ на угольных шахтах занимались ученые и инженеры в разных странах мира. Большой вклад в решение этих задач внесли: Борисов А.А., Габов В.В., Громов Ю.В., Зубов В.П., Казанин О.И., Кузнецов Ю.Н., Лермонтов Ю.С., Мельник В.В., Мешков А.А., Нонг Жанг, Розенбаум М.А., Сид Пенг, Шабаров А.Н., Штумпф Г.Г., Ютяев Е.П., Якоби О. и др. Разработаны технологические схемы проходки выработок с использованием современных проходческих комбайнов, но, как показывает практика, работа комбайна по выемке горной массы и, соответственно, подвигание забоя, составляет не более 20% продолжительности смены. Значительную часть времени проходческого цикла занимает процесс крепления. Увеличение коэффициента машинного времени комбайнов и соответствующее увеличение скорости проходки выработок может быть достигнуто при переходе на поэтапное крепление за счет

установки лишь части анкеров во время проходки с дальнейшим докреплением за пределами призабойной зоны. Вместе с тем, возможность и целесообразность перехода на поэтапное крепление требуют дополнительного изучения и обоснования.

Объект исследования – технологии комбайновой проходки выемочных выработок на угольных шахтах.

Предмет исследования – процессы крепления выемочных выработок анкерной крепью, процессы смещения и разрушения контура выработки, закрепленной анкерной крепью.

Цель работы – повышение скорости проведения выемочных выработок при отработке угольных пластов длинными забоями.

Идея заключается в увеличении коэффициента машинного времени проходческих комбайнов при переходе на поэтапное анкерное крепление с формированием несущей балки в кровле и креплении бортов выработки на первом этапе.

Основные задачи исследований:

1. Провести анализ и обобщение мирового опыта проведения выемочных выработок на угольных шахтах.

2. Провести шахтные исследования эффективности использования проходческих комбайнов при проведении выемочных выработок на шахтах АО «СУЭК».

3. Провести исследование устойчивости кровли выемочных выработок при поэтапном анкерном креплении на моделях из эквивалентных материалов.

4. Разработать инженерную методику алгоритмического выбора параметров поэтапного анкерного крепления.

5. Определить область применения технологии проведения выемочных выработок с поэтапным анкерным креплением.

Научная новизна работы:

1. Установлены зависимости величины смещений контура выемочных выработок от параметров анкерного крепления, прочности пород кровли и действующих напряжений в массиве.

2. Установлена зависимость между затратами на проведение выемочных выработок и скоростью проходки при поэтапном анкерном креплении.

Соответствие паспорту специальности. Тема соответствует п. 5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых», п. 7 «Способы управления состоянием подрабатываемых породных массивов, исключая критические деформации земной поверхности и опасные проявления горного давления при разработке месторождений твердых полезных ископаемых и освоении подземного пространства, в том числе с использованием крепей различных конструкций» и п. 12 «Организация производства при ведении открытых и подземных работ и развитии механизации технологических процессов» области исследований паспорта научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработан способ проведения выработки с поэтапным креплением, позволяющий повысить скорость ее проведения на 25% в сравнении с традиционной технологией проведения и анкерного крепления (патент на изобретение № 2805691).

2. Установлены зависимости смещений кровли выемочных выработок, закрепленных анкерной крепью, от горно-геологических и горнотехнических факторов, позволяющие определить технологические параметры и эффективность применения поэтапного анкерного крепления.

3. Установлены условия, определяющие техническую возможность и экономическую целесообразность перехода на поэтапное анкерное крепление выемочных выработок.

4. Результаты исследований использованы в АО «НЦ ВостНИИ» при научном сопровождении горных работ на шахтах Кузбасса (акт о внедрении от 19.06.24).

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач применён комплексный метод исследований, включающий анализ мирового опыта скоростного прове-

дения выемочных выработок; шахтные хронометражные наблюдения проходческого цикла при комбайновой проходке выработок; физическое моделирование на моделях из эквивалентных материалов процессов смещения пород контура выработок при поэтапном креплении; численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработок.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Переход на поэтапное анкерное крепление приводит к увеличению скорости проведения выемочных выработок прямоугольной формы по пологим пластам комбайнами избирательного действия на 25% с сохранением устойчивости выработок.

2. Схема расположения и количество анкеров, устанавливаемых в кровлю на первом этапе, определяются из условия формирования в кровле несущей балки, предельный прогиб которой ограничен податливостью анкеров, при обязательном креплении бортов выработки.

3. Определение параметров технологии поэтапного крепления следует осуществлять по разработанному алгоритму на основе минимизации затрат на проведение выработки при обеспечении непрерывного инструментального мониторинга состояния кровли.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций. Достоверность защищаемых положений, основных выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объемом данных шахтных наблюдений; использованием современных апробированных методов исследований, включающих физическое моделирование процессов смещения контура выработок при анкерном креплении, численные исследования напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки методом конечных элементов; удовлетворительной сходимостью результатов лабораторных и численных исследований.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и

конференциях: Актуальные вопросы современной науки и образования XVIII Международная научно-практическая конференция, Пенза, 20 апреля 2022 года; Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: национальная конференция с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022; Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики "Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики" 2-3 ноября 2022 года, г. Тула; Новые научные исследования: IX Международная научно-практическая конференция, Пенза, 23 ноября 2022 года; Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2024» 30 января – 02 февраля 2024 года, г. Москва.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы; проведении шахтных, численных и лабораторных исследований; определении основных параметров рекомендуемой технологии поэтапного анкерного крепления; подготовке публикаций.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 8 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, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 115 наименований и 4 приложения. Диссертация изложена на 124 страницах, содержит 40 рисунков и 6 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность коллективу кафедры разработки месторождений полезных ископаемых за помощь в выборе направления для исследований, аспирантам за поддержку в период работы над диссертацией и

сотрудникам лаборатории моделирования научного центра геомеханики и проблем горного производства за помощь в проведении лабораторных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и идея работы, поставлены основные задачи исследований, описана научная новизна, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен анализ ситуации с недостаточной скоростью проведения выемочных выработок для своевременного воспроизводства фронта очистных работ на угольных шахтах. Рассмотрены технологии скоростного проведения выработок. Показано, что крепление является самой длительной операцией проходческого цикла в связи с чем переход на поэтапное анкерное крепление в благоприятных горно-геологических условиях отмечен как перспективный вариант развития технологии с целью увеличения скорости проходки выемочных выработок за счет увеличения коэффициента машинного времени комбайнов. Сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлены результаты шахтных исследований применяемых в условиях АО «СУЭК-Кузбасс» технологических схем проведения выемочных выработок. Приведены результаты хронометражных наблюдений основных операций проходческого цикла. Выполнен анализ объемов и темпов подготовительных работ комбайнами избирательного и фронтального действия, определен коэффициент машинного времени. Проведен регрессионный анализ влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на скорость проведения выработки.

В третьей главе обоснован выбор метода исследования устойчивости контура выемочной выработки при поэтапном креплении. Описан ход проведения эксперимента, изложены результаты исследований на моделях из эквивалентных материалов. Проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния бортов выемочной выработки,

определены требования для обеспечения ее устойчивости. Обоснована возможность перехода на поэтапное крепление.

В четвертой главе, приведено описание технологии проходки с поэтапным анкерным креплением, обоснована область рационального применения разработанной технологии и представлен алгоритм выбора параметров технологии скоростного проведения выемочной выработки с поэтапным анкерным креплением.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные при проведении исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Переход на поэтапное анкерное крепление приводит к увеличению скорости проведения выемочных выработок прямоугольной формы по пологим пластам комбайнами избирательного действия на 25% с сохранением устойчивости выработок.

Для оценки эффективности применяемых технологий подготовки рассмотрены технологические схемы проведения выработок в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс». Это пологие и наклонные выработки, пройденные комбайновым способом, сечением от 14 до 22 м², с плотностью установки анкеров в кровле от 4 до 10 шт./м², и скоростью их проведения от 60 до 400 метров в месяц.

Поддержание выемочной выработки, согласно ранее проведенным исследованиям, включает следующие основные периоды: период проходки, вне зоны опорного давления лавы, когда величина и скорость смещений контура наименьшая и, как правило, не превышает 5% от общей величины смещений в течение всего срока существования выработки; период нахождения в зоне опорного давления лавы, когда скорость смещений контура выработки является наибольшей; в зоне остаточного опорного давления лавы; в зоне опорного давления смежной лавы, когда величина смещений достигает максимальных значений. Это дает основание полагать, что в первый период возможна установка анкеров с уменьшенной плотностью, которые будут способны обеспечить устойчивость выработки.

С учетом данных периодов поддержания выработки был разработан способ проведения с поэтапным креплением. Способ направлен на сокращение продолжительности крепления на первом этапе с дальнейшим докреплением выработки за пределами призабойной зоны, что позволяет повысить коэффициент машинного времени проходческого комбайна и, как следствие, скорость подвигания проходческого забоя. Весь процесс поэтапного крепления происходит в рамках первого периода существования выработки, когда скорость смещений ее контура минимальна.

Разработанный способ осуществляется следующим образом: производят выемку горной массы комбайном 1 (рисунок 1,2) в объеме, обеспечивающим подвигание забоя выработки, необходимое для установки крепи. Параллельно производят погрузку отбитой горной массы в транспортное средство, например вагон, конвейер или вагонетку, после чего производят ее транспортировку до ближайшего ленточного конвейера.

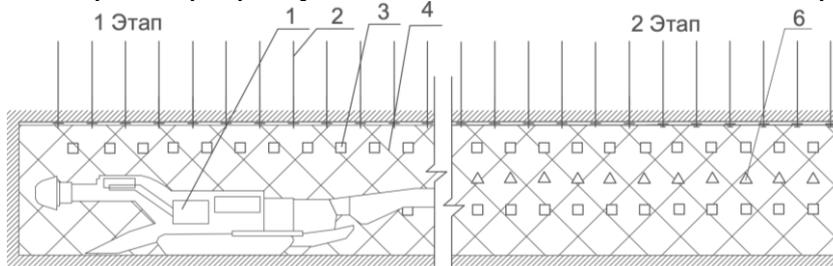


Рисунок 1 – Проводимая выработка, вид сбоку

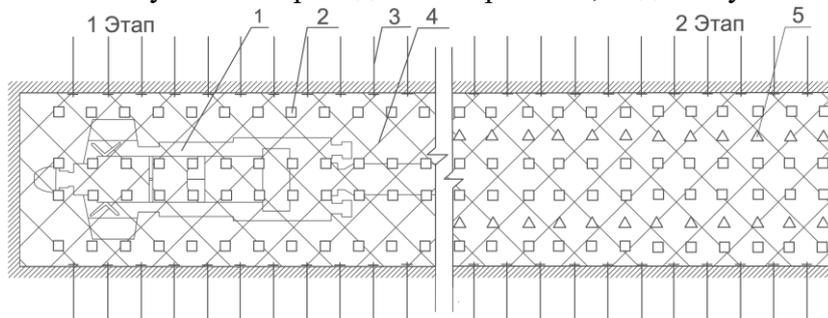


Рисунок 2 – Проводимая выработка, вид сверху

Работы по креплению выемочной выработки осуществляют после окончания работы комбайна по разрушению и погрузке горных пород. С использованием буровой установки производят бурение шпуров и установку анкеров первой очереди в кровлю 2 и борта выработки 3. Установку анкерной крепи сопровождают перетяжкой кровли и бортов выработки металлической решетчатой затяжкой 4. При этом бурение шпуров и установку анкеров осуществляют с увеличенным шагом между ними, что позволяет сократить объем и время крепления, но обеспечивает поддержание выемочной выработки на этапе ее проведения.

Затем, на втором этапе крепления, проводят бурение шпуров и установку дополнительных анкеров второй очереди в кровлю 5 и в борта выработки 6, необходимых для поддержания выработки в течение всего срока ее эксплуатации. Данные работы производят с отставанием от проходческого забоя, например, в ремонтную смену. В результате получается создать закрепленную анкерной крепью выемочную выработку, способную сохранять эксплуатационное состояние в течение всего срока службы.

Для оценки эффективности и возможности применения поэтапного крепления при проведении выемочной выработки рассмотрена технологическая схема проведения штрека 5007, проводимого по 50 пласту шахты им. «В.Д. Ялевского». Условия его проведения следующие: мощность угольного пласта составляет 3,69-4,16 м, коэффициент крепости угольного пласта по Протодюконову $f = 1$. Кровля сложена из алевролитов и песчаников, с коэффициентом крепости f от 3 до 7. Проходка осуществлена с применением комбайна избирательного действия Sandvik MR-340. Паспортом крепления предусмотрена установка 6 анкеров, длиной 2,75 метра в кровлю, и 3 анкеров, длиной 1,8 метра в каждый борт выработки. Шаг установки анкеров – 1 метр. При этом применялась перетяжка кровли и бортов металлической сеткой. В сутки выполнялось 8 циклов. Подвигание за цикл составляло 1 метр. Суточный коэффициент машинного времени комбайна был равен 0,19. График организации работ на одни сутки пред-

ведет к повышению скорости проведения выработки на 25%, что равняется 60 дополнительным метрам в месяц, позволяя обеспечить скорость проведения выработки в 300 метров в месяц.

Разработанный способ позволит повысить скорость проведения выемочной выработки за счет увеличения коэффициента машинного времени комбайна с обеспечением устойчивости выработки. Весь процесс поэтапного анкерного крепления необходимо осуществить в течение первого периода существования выработки, когда величина и скорость смещения пород контура выработки минимальна.

2. Схема расположения и количество анкеров, устанавливаемых в кровлю на первом этапе, определяются из условия формирования в кровле несущей балки, предельный прогиб которой ограничен податливостью анкеров, при обязательном креплении бортов выработки.

Инструкция по анкерному креплению на угольных шахтах не предусматривает возможность поэтапного крепления выработки, требуя полного крепления лишь с незначительным отставанием от забоя, в зависимости от устойчивости кровли. Для обоснования возможности применения поэтапного анкерного крепления выработок на угольных шахтах в зонах, не опасных по горным ударам, внезапным выбросам угля и метана, были выполнены исследования устойчивости выработки на моделях из эквивалентных материалов.

За основу при построении схемы расположения анкеров взята гипотеза образования несущей балки в кровле выработки при ее закреплении анкерной крепью, описанная в нормах проектирования и производства работ ВСН 126-90.

Согласно проведенным на основе данной гипотезы расчетам были построены зоны влияния анкеров и предложена схема их расположения таким образом, чтобы пересекающиеся зоны влияния анкеров в кровле образовывали несущую породную балку, с дальнейшей проверкой ее сопротивления на изгиб. Данная схема расположения анкеров, представленная на рисунке 5, была использована для дальнейшего размещения анкеров в модели из эквивалентных материалов.

В качестве горно-геологических условий моделируемой выработки взяты условия проведения конвейерного штрека 5007 на шахте им. «В.Д. Ялевского», описанные выше. Всего к отработке было построено 3 модели: выработка, закрепленная в кровлю 6 анкерами согласно разработанной схеме; выработка, закрепленная 4 анкерами в кровлю согласно разработанной схеме; незакрепленная выработка. Крепление бортов в моделируемых выработках не осуществлялось. Схема экспериментального стенда, моделируемая выработка и применяемое оборудование представлены на рисунке 5.

По результатам эксперимента, частичное обрушение кровли в модели без крепления произошло в момент ее проведения, при давлении 44,85 кПа, что эквивалентно действующим литостатическим напряжениям на глубине расположения выработки. Обрушение продолжилось при увеличении давления до 59,8 кПа, что эквивалентно действующим литостатическим напряжениям на глубине расположения выработки с учетом коэффициента структурного ослабления массива $K_c = 0,6$. При этом была обрушена значительная часть кровли. Смещения контура моделируемой выработки без крепления представлены на рисунке 6.

Разрушение модели с частично закрепленной кровлей произошло при давлении 89,7 кПа, что в 1,5 раза превышает литостатические напряжения, действующие на глубине расположения выработки с учетом коэффициента структурного ослабления $K_c = 0,6$, в то время как обрушение кровли полностью закрепленной выработки зафиксированы при давлении 120 кПа, что в 2 раза превышает литостатические напряжения с учетом коэффициента структурного ослабления. Это говорит о том, что частично закрепленная выработка может сохранять устойчивость до начала воздействия повышенного горного давления, возникающего, например, в зоне влияния опорного давления лавы. Смещения контура выработок с частичным и полным креплением представлены на рисунке 6.

При сопоставлении результатов отработки трех моделей была получена следующая зависимость смещений кровли от

параметров анкерного крепления, прочности кровли и напряжений в массиве. Зависимость представлена на рисунке 8.

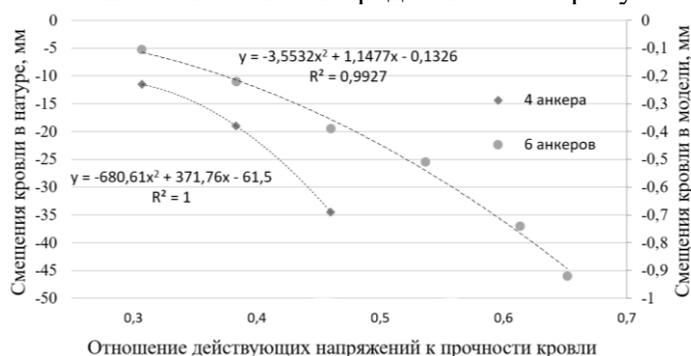


Рисунок 7 – Зависимость смещения кровли выработки от параметров анкерного крепления, действующих напряжений и прочности кровли

В выработках с закрепленной кровлей вертикальные смещения ограничиваются сопротивлением анкерной крепи, что приводит к перераспределению напряжений и пригрузке бортов. Это приводит к формированию зон предельного состояния угля в бортах выработки, что, в свою очередь, обуславливает необходимость их крепления на первом этапе. Инструкция по анкерному креплению учитывает наличие зоны предельного состояния путем увеличения при расчете параметров анкерной крепи кровли увеличения ширины выработки из-за отжима угля. При этом для любых условий принимается глубина разрушения равная 0,6-0,8 м. Размеры зоны предельного состояния определяются как уровнем действующих напряжений, так и механическими свойствами угля и пород в бортах выработки и такой упрощенный подход не позволяет обосновано подходить к выбору крепи.

Для обоснования параметров крепления бортов выемочной выработки были проведены исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород и размеров зоны предельного состояния угля в борту выработки. Исследования проводились методом конечных элементов. По результатам моделирования были получены зоны предельного

состояния угля в борту выработки в различные периоды поддержания выработки. Для обеспечения устойчивости выработки в течение всего срока ее эксплуатации, крепление бортов выработки на первом этапе крепления должно осуществляться на величину, не менее зоны предельного состояния угля.

Полученные данные позволили произвести оценку НДС вокруг выработки при поэтапном анкерном креплении и обосновать необходимость крепления бортов выработки на первом этапе, а также выявить зависимость величины деформаций контура выемочных выработок от параметров анкерного крепления, прочности кровли и заданного давления.

3. Определение параметров технологии поэтапного крепления следует осуществлять по разработанному алгоритму на основе минимизации затрат на проведение выработки при обеспечении непрерывного инструментального мониторинга состояния кровли.

Рассматривать возможность перехода на поэтапное крепление необходимо в благоприятных горно-геологических условиях, в тех случаях, когда требуемую скорость проведения выработки нельзя обеспечить другим способом без существенного увеличения затрат.

С целью оценки экономического эффекта от перехода на поэтапное крепление следует рассмотреть структуру затрат на проведение погонного метра выработки.

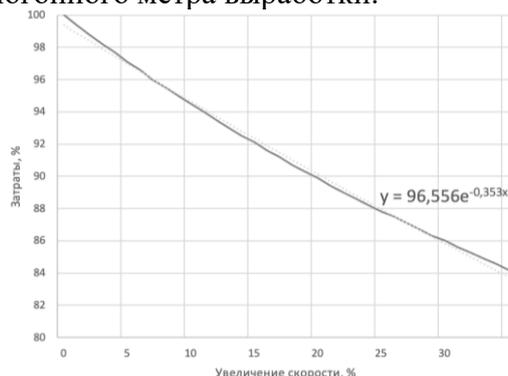


Рисунок 8 – Изменение затрат на проведение выработки при увеличении скорости проходки.

Согласно данной структуре, фонд оплаты труда (ФОТ) и страховые отчисления составляют более половины общих затрат на проведение выработки. Увеличение скорости ведения работ приведет к изменению затрат на проведение погонного метра выработки за счет снижения постоянной доли ФОТ. При исходной скорости проведения выработки в 297 погонных метров в месяц и ФОТ в размере 56% от общей величины затрат на проведение выработки, зависимость изменения затрат будет иметь следующий вид (рисунок 8). Данная зависимость имеет экспоненциальный характер и описывает процесс постепенного снижения затрат на проведение выработки от увеличения скорости проведения. При проведении выработки с поэтапным креплением необходимо оснащение выработки системами удаленного мониторинга состояния кровли с целью обеспечения оценки эффективности поэтапного анкерного крепления и безопасности ведения работ в проходческом забое.

Для выбора параметров технологии скоростного проведения выемочных выработок с поэтапным анкерным креплением разработан алгоритм, представленный на рисунке 9.

В первую очередь определяется возможность применения анкерного крепления и производится оценка горно-геологических и горнотехнических условий проведения выработки. В случае, если условия позволяют применение анкерной крепи, производится выбор технологии проведения и крепления выработки анкерной крепью.

Далее, производится оценка необходимой скорости проведения выработки. В случае, если расчетная скорость менее минимально необходимой, осуществляется переход на поэтапное анкерное крепление, производится расчет плотности установки анкеров, обеспечивающих формирование в кровле несущей балки; производится расчет прогиба балки. Если величина прогиба не превышает податливость анкеров, осуществляется переход на поэтапное анкерное крепление с обеспечением непрерывного удаленного мониторинга состояния кровли. Если необходимая скорость не обеспечивается при переходе на поэтапное крепление, производится пересмотр технологии проведения и крепления выработки.

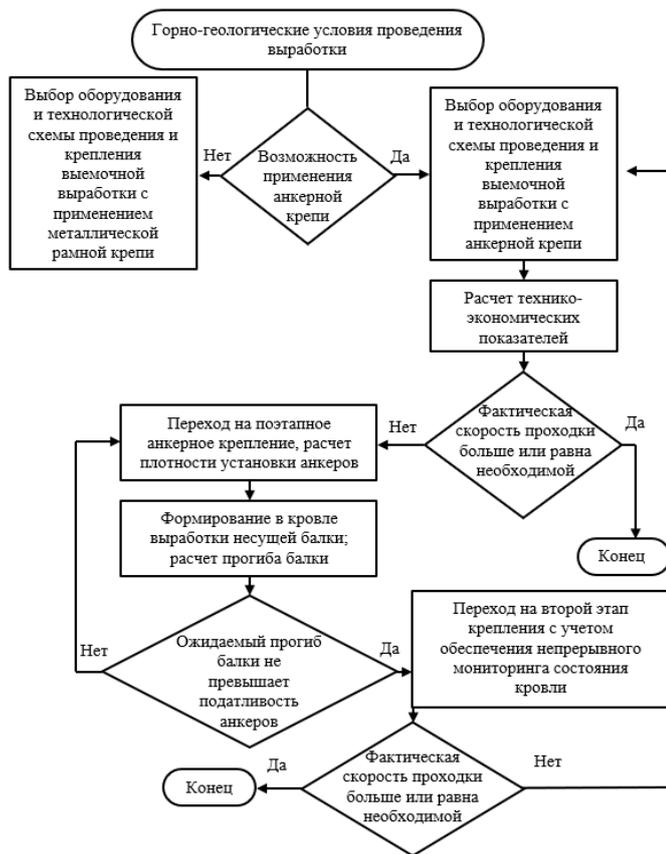


Рисунок 9 – Алгоритм последовательного выбора параметров технологии скоростного проведения выемочной выработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основе проведенных исследований, предложено новое технологическое решение по повышению скорости проведения выемочных выработок на угольных шахтах, что имеет важное значение для угольной отрасли России.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. В результате анализа и обобщения мирового опыта показано, что недостаточная скорость проведения выемочных

выработок при высокой скорости подвигания очистных забоев на угольных шахтах является одним из основных факторов, снижающих эффективность использования современных ОМК и не позволяющих в полной мере реализовать их потенциал.

2. По результатам исследований на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», процесс анкерного крепления при комбайновом проведении выемочных выработок может занимать до 60% времени проходческого цикла; сокращение времени на крепление является одним из направлений повышения скорости проходки без замены проходческого оборудования.

3. Переход на поэтапное крепление, заключающийся в сокращении плотности установки анкеров на первом этапе крепления и докреплением выработки за пределами призабойной зоны, увеличивает скорость проведения выемочных выработок за счет увеличения коэффициента машинного времени проходческого комбайна.

4. Устойчивость выемочных выработок обеспечивается при формировании в кровле выработки несущей балки, предельный прогиб которой не превышает податливости анкеров, а также обязательном креплением бортов выработки на первом этапе.

5. Для условий шахт Кузбасса при проведении выемочных выработок прямоугольного сечения 20-22 м² уменьшение плотности установки анкеров на 30% на первом этапе крепления способствует увеличению скорости проведения выработки на 25% или 60 метров в месяц.

6. Областью применения предлагаемой технологии проходки выемочных выработок с поэтапным анкерным креплением являются условия, где возможно применение анкерной крепи в качестве основного вида крепи выработок.

7. Разработана инженерная методика алгоритмического выбора параметров схемы скоростного проведения выемочных выработок, с учетом возможности применения поэтапного анкерного крепления, с мониторингом состояния кровли.

8. Для оценки эффективности поэтапного крепления выработок и обеспечения безопасности ведения работ в проходческом забое необходимо обеспечение непрерывного ин-

струментального мониторинга состояния кровли выработки при ее поэтапном креплении.

9. Направлением для дальнейших исследований может являться определение предельно допустимой площади обнажения кровли, частично закрепленной анкерной крепью.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Сидоренко, А. А. Подготовка выемочных участков к интенсивной подземной угледобыче: задачи и пути их решения / А. А. Сидоренко, П.Н. Дмитриев, **А. Г. Апарин** // Рациональное освоение недр. – 2021. – № 6. – С. 36–44.

2. Сидоренко, А. А. Совершенствование методики расчета параметров анкерной крепи выработок угольных шахт в зонах влияния сближенных угольных пластов / А. А. Сидоренко, **А. Г. Апарин**, П. Н. Дмитриев // Известия вузов. Горный журнал. – 2022. – № 3. – С. 82–94.

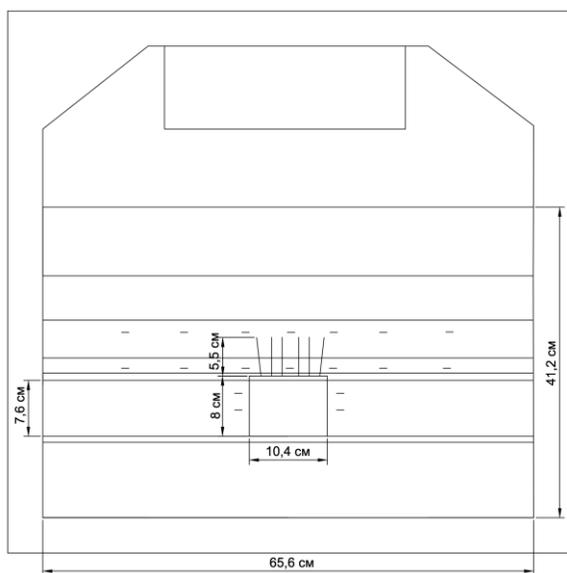
Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Ma, J. Numerical simulation on mechanisms of dense drilling for weakening roofs and its application in roof control / J. Ma, X. Li, Q. Yao, Z. Xia, Q. Xu, C. Shan, A. Sidorenko, **A. Aparin** // Journal of Central South University. – 2023. – Vol. 30. – № 6. – pp. 1865-1886.

4. Казанин, О.И. Обоснование параметров поэтапного анкерного крепления для повышения скорости проходки выемочных выработок на угольных шахтах / О.И. Казанин, **А.Г. Апарин**, А.А. Сидоренко // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16. – № 2. – С. 558–569.

Патент:

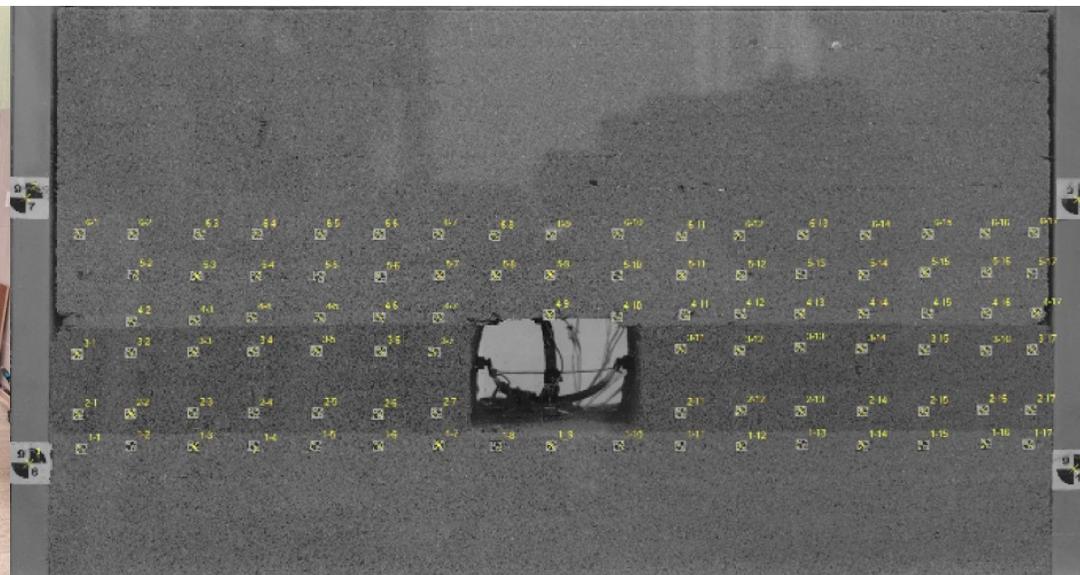
5. Патент № 2805691 Российская федерация, МПК E21D 9/00 (2006.01) Способ проведения горных выработок при разработке пологих угольных пластов: 2022132438: заявлено 12.12.2022: опубликовано 23.10.2023 / Сидоренко А.А., **Апарин А.Г.**, Сидоренко С.А., Сиренко Ю.Г.; заявитель "Санкт-Петербургский горный университет". – 8 с. : 4 ил.



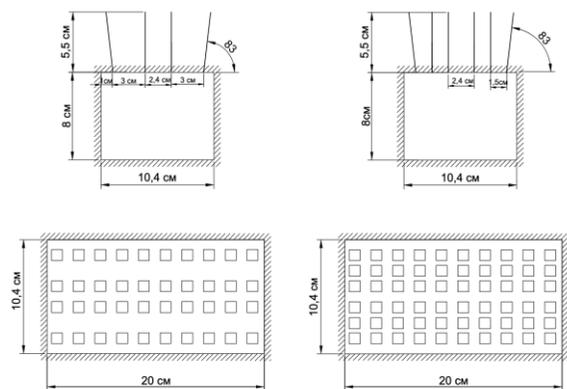
а)



б)



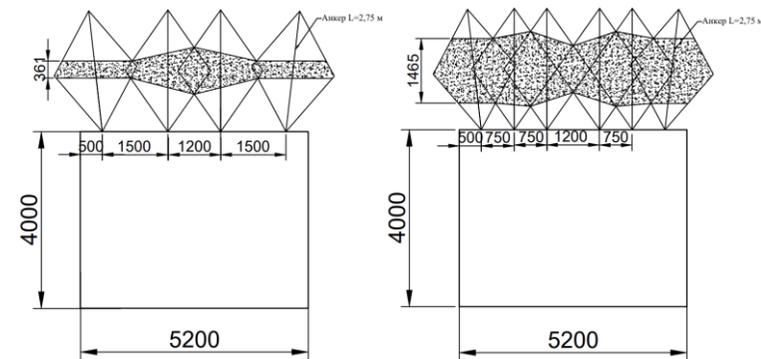
в)



г)



д)



е)

Рисунок 5 – Схема экспериментального стенда, моделируемая выработка и применяемое оборудование

а) Схема экспериментального стенда; б) Экспериментальный стенд и применяемое оборудование; в) Лицевая сторона обрабатываемой модели, оснащенная реперными марками; г) Схема расположения анкеров в модели; д) Процесс установки анкеров в модели; е) Породная балка, формируемая в кровле выработки при различном количестве устанавливаемых анкеров

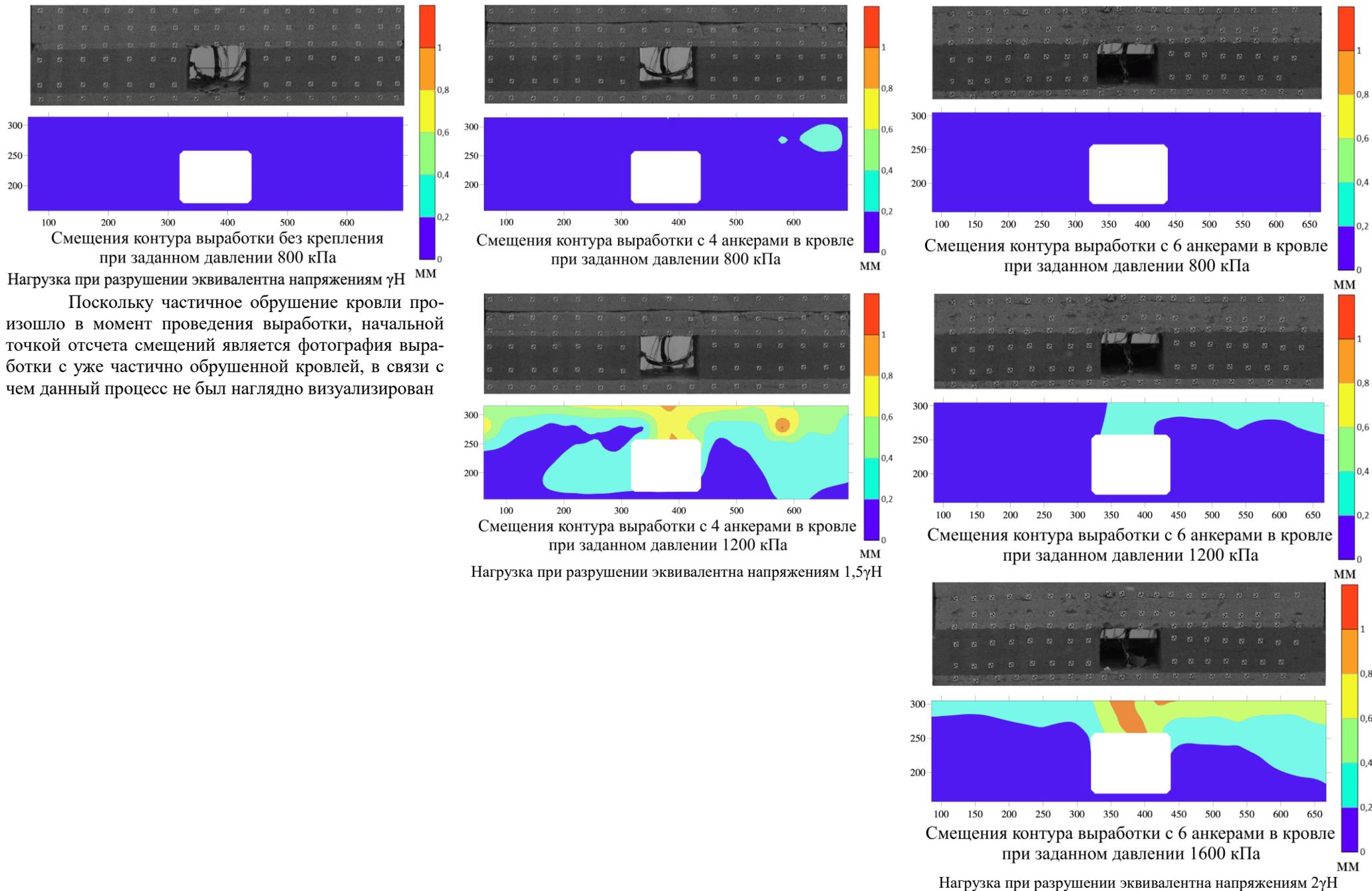


Рисунок 6 – Смещения контура моделируемых выработок при заданном давлении с учетом коэффициента структурного ослабления массива $K_c=0,6$