

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

*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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, доцент, профессор РАН  
Казанин О.И.

Санкт-Петербург – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>11</b>
1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и крепления выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» .....	11
1.1.1 Общие сведения.....	11
1.1.2 Горно-геологические условия.....	12
1.1.3 Горнотехнические условия .....	16
1.1.4 Опыт проведения выемочных выработок на шахте имени «В.Д. Ялевского» .....	17
1.2 Анализ мирового опыта скоростного проведения выемочных выработок при интенсивной отработке запасов .....	20
1.3 Оценка возможностей применяемой техники и технологий проведения выемочных выработок .....	24
1.4 Обзор и обобщение литературных источников, нормативной базы крепления выработок при разработке пологих угольных пластов .....	29
1.4.1 Анкерное крепление выемочных выработок.....	29
1.4.2 Действующие нормативные документы по анкерному креплению .....	30
1.4.3 Методика оценки устойчивости бортов выемочных выработок .....	32
1.5 Выводы по главе.....	35
<b>ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ АО «СУЭК-Кузбасс» .....</b>	<b>38</b>
2.1 Общие положения .....	38
2.2 Шахтные исследования технологических процессов проведения выработок в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» .....	40
2.2.1 Проходческие комбайны .....	40
2.2.2 Проведение выемочных выработок комбайнами избирательного действия .	41
2.2.3 Проведение выемочных выработок комбайнами фронтального действия ...	43
2.2.4 Хронометражные наблюдения за процессом проходки.....	46
2.2.5 Состав проходческих бригад .....	48
2.2.6 Оценка объемов проведения выработок комбайнами избирательного и фронтального действия.....	49

2.3 Исследование влияния основных горно-геологических и горнотехнических факторов на скорость проведения выработок .....	52
2.4 Регрессионный анализ геологических и технологических факторов, влияющих на скорость проведения выемочных выработок .....	57
2.5 Выводы по главе .....	60
<b>ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЭТАПНОГО АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ .....</b>	<b>62</b>
3.1 Выбор метода исследований .....	62
3.2 Разработка модели и построение расчетной схемы .....	64
3.3 Моделирование анкерного крепления выемочной выработки .....	69
3.4 Анализ результатов физического моделирования .....	77
3.5 Численные исследования устойчивости бортов выемочной выработки .....	81
3.6 Выводы по главе .....	85
<b>ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СКОРОСТНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК .....</b>	<b>86</b>
4.1 Общие положения .....	86
4.2 Обоснование параметров технологии проведения выемочных выработок при поэтапном креплении и область ее рационального применения .....	87
4.2.1 Способ скоростного проведения выемочной выработки при поэтапном креплении .....	87
4.2.2 Область рационального применения схемы скоростного проведения выработки .....	90
4.2.3 Алгоритм выбора параметров схемы скоростного проведения выемочных выработок .....	91
4.3 Оценка экономической эффективности разработанной схемы .....	93
4.3.1 Расчет технико-экономических показателей схемы поэтапного крепления .	93
4.3.2 Экономическая эффективность разработанной технологии .....	96
4.4 Выводы по главе .....	100
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>101</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>103</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Хронометражные листы с шахтными наблюдениями за продолжительностью операций проходческого цикла .....</b>	<b>117</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Журналы фотофиксации лабораторного эксперимента</b>	<b>120</b>

**ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт внедрения..... 123**  
**ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент на изобретение ..... 124**

## ВВЕДЕНИЕ

**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.** Вопросами 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, приложение Г).

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, приложение В).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач применён комплексный метод исследований, включающий анализ мирового опыта скоростного проведения 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 напряжённо-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 (пункты списка литературы 5,6,43,66-69,100), 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 международные базы данных и системы 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 приложений. 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.

## **ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и крепления выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»**

#### **1.1.1 Общие сведения**

Сибирская угольная энергетическая компания АО «СУЭК», является крупнейшим добытчиком угля и производителем электроэнергии в России. Компания занимает первое место в стране и шестое место в мире по объёму добычи угля.

В настоящее время ведение подземных горных работ на предприятиях АО «СУЭК» в Кузбассе осуществляют 7 шахт: («Талдинская-Западная 1», «Талдинская-Западная 2», «Полысаевская», «Комсомолец», шахта имени «С. М. Кирова», шахта имени «А.Д. Рубана», шахта имени «В.Д. Ялевского»). Шахты отрабатывают пласты средней мощности и мощные на глубинах до 500 метров.

Одной из самых молодых шахт в регионе является шахта имени «В.Д. Ялевского», начавшая свою работу в 2000 году. В 2016 году произошло объединение двух смежных шахт — шахты имени «В.Д. Ялевского» и шахты «Котинская» для более рациональной отработки запасов. После объединения горных выработок двух шахт в единую сеть, шахта имени «В.Д. Ялевского» и шахта «Котинская» были объединены и переименованы в шахту имени «В.Д. Ялевского».

На данной шахте применяется система разработки длинными столбами по простиранию с полным обрушением кровли с оставлением межлавных целиков угля. Шахта является сверхкатегорной по внезапным выбросам газа, а основные отрабатываемые пласты 50 и 52 являются склонными к самовозгоранию. Максимальная глубина ведения горных работ по пласту 52 составляет 400 метров, по пласту 50 – 460 метров. Среднесуточная нагрузка на очистной забой лавы 50-07 предусмотрена на уровне 22 000 – 30 000 тонн. Среднесуточная нагрузка на очистной забой лавы для лавы 52-15 – 30 000 тонн. Работа очистных забоев

характеризуется высокой концентрацией работ, а крепление выемочных выработок осуществляется сталеполимерной анкерной крепью, что, в совокупности, позволяет обеспечить низкую себестоимость добычи угля.

### 1.1.2 Горно-геологические условия

В границах шахтного поля находятся пять угольных пластов (53, 52, 51, 50, 49). Самый верхний слой признан забалансовым из-за высокой некондиционной зольности. Мощность слоёв 52, 51, 50 и 49 варьируется от 1,45 до 5,19 метров, при этом кондиционная мощность составляет от 1,0 до 5,19 метров.

Слои значительно различаются по мощности, например 49 и 51 пласты являются средним по мощности, а 50 и 52 являются мощным. Наиболее выдержанным по мощности является 50 пласт. Кровля и почва слоёв состоят преимущественно из алевролитов. Марка угля — ДГ, Г, Д, является энергетической.

Породы угленосной толщи характеризуются преобладанием разномерных песчаников и алевролитов, а также незначительным присутствием аргиллитов. Мощность прослоек (аргиллиты и алевролиты) в незначительной степени влияет на кондиционные запасы угля и составляет в среднем от 0,05 до 0,35 метров.

Литологический состав представлен следующими отложениями: наибольшую часть составляют алевролиты мелкозернистые (43,8%), и алевролиты крупнозернистые (19,2%), а также песчаники разной зернистости (23,7%), аргиллиты составляют меньшую часть (5%), переслаивание пород (1,2%) и уголь (7,1%).

Кровля пласта 52 состоит из мелкозернистых алевролитов, прочность варьируется от 16 до 42 МН/м<sup>2</sup> и оценивается как слабая и средняя. Основная кровля характеризуется как среднеобрушаемая с тенденцией к лёгкому обрушению, а непосредственная кровля обладает средней устойчивостью. Граница между основной и непосредственной кровлями условна и не имеет четкой границы. Переход кровли от мелкозернистых к крупнозернистым алевролитам и её изменяющаяся толщина оказывают значительное влияние на её устойчивость, что

определяет применяемые технологии крепления. Данные геологические условия определяют обоснование изменяющихся параметров крепления кровли пласта на его протяжении, в том числе применение комбинированных вариантов крепления. Почва под пластом состоит из углисто-алевролитовой массы и не проявляет склонности к пучению. Пласт 52 опасен по возникновению горных ударов начиная с глубины 180 метров, а также по выбросам угля и газа с 200 метров. Пласт относится к III категории по газу, характеризуется взрывоопасностью и склонностью к самовозгоранию.

Кровля пласта 50 представлена мелкозернистыми алевролитами, которые постепенно переходят в крупнозернистые. Мощность кровли варьируется от 0,7 до 9,8 метров. Основная кровля состоит из песчаников и характеризуется как среднеобрушаемая. Непосредственная кровля характеризуется как среднеустойчивая. Данные геологические условия также определяют обоснование изменяющихся параметров крепления кровли пласта на его протяжении, в том числе применение комбинированных вариантов крепления. Почва представлена углистыми и мелкозернистыми алевролитами мощностью до 0,4 метра. Слой, примыкающий к почве, глинистый и слабо подвержен пучению. Пласт 50 представляет угрозу по горным ударам с глубины 220 метров и по выбросам угля и газа с 440 метров. Пласт классифицируется как сверхкатегорный по газу, взрывоопасен и склонен к самовозгоранию.

Все пласты характеризуются наличием ложной кровли и почвы.

Угрозы горных ударов и выбросов угля и газа на данных пластах требуют обуславливают проведение предварительной разведки и мониторинга концентрации газа. Склонность пластов к самовозгоранию определяет необходимость контроля температуры и влажности в выработках, а также обеспечение надежной изоляции участков.

Таблица 1.1 – Усредненные значения физико-механических свойств пород от кровли пласта 62 до почвы пласта 49

Тип породы	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> (мин. – макс.)	Коэффициент Пуассона (мин. – макс.)	Модуль Юнга, 10 <sup>4</sup> МПа (мин. – макс.)	Влажность, % (мин. – макс.)	Модуль сдвига, 10 <sup>4</sup> МПа (мин. – макс.)	Модуль объемного упругости, 10 <sup>4</sup> МПа (мин. – макс.)	Пористость, % (мин. – макс.)	Прочность на сжатие, МПа (мин. – макс.)	Прочность на растяжение, МПа (мин. – макс.)
Песчаник мелкозернистый	2,56 (2,36-2,71)	0,25 (0,22-0,26)	3,57 (3,14-3,94)	1,42 (1,23-1,67)	1,42 (1,26-1,56)	2,46 (2,03-2,79)	3,30 (2,98-3,78)	45,93 (30,86-60,13)	5,28 (3,60-5,79)
Песчаник среднезернистый	2,56 (2,35-2,75)	0,25 (0,17-0,29)	3,65 (2,18-4,76)	1,39 (0,94-2,29)	1,45 (0,92-1,84)	2,62 (1,25-3,87)	3,22 (2,32-4,61)	67,15 (56,93-81,95)	5,96 (3,48-8,93)
Переслаивание алевролитов	2,49 (2,12-2,69)	0,22 (0,19-0,24)	2,92 (2,22-3,36)	1,83 (1,54-2,40)	1,19 (0,93-1,36)	1,78 (1,26-2,12)	4,08 (3,53-4,88)	26,47 (22,51-31,4)	3,97 (3,26-4,87)
Алевролит мелкозернистый	2,46 (2,15-2,66)	0,20 (0,16-0,21)	2,63 (2,12-3,02)	2,08 (1,79-2,52)	1,09 (0,91-1,24)	1,52 (1,08-1,80)	4,53 (4,19-5,30)	27,76 (17,78-30,92)	3,56 (2,79-3,83)

Продолжение таблицы 1.1

Переслаивание алевролитов с песчаниками	2,49 (2,19-2,27)	0,23 (0,22-0,26)	3,16 (2,63-3,46)	1,83 (1,54-2,40)	1,28 (1,07-1,40)	2,03 (1,68-2,36)	4,08 (3,06-4,46)	35,70 (27,01-46,18)	4,53 (3,10-5,71)
Аргиллит	2,22 (1,32-2,37)	0,12 (0,03-0,19)	1,67 (0,89-2,25)	3,98 (2,28-6,53)	0,73 (0,4-0,94)	0,83 (0,33-1,24)	7,11 (4,5-10,14)	33,28 (29,74-39,72)	2,57 (1,85-3,14)
Углистый алевролит	1,76 (1,30-1,89)	0,12 (0,08-0,18)	1,31 (0,75-1,78)	3,48 (2,74-4,09)	0,58 (0,35-0,75)	0,61 (0,30-0,97)	5,42 (4,53-6,51)	10,58 (5,62-19,55)	2,33 (2,10-2,57)
Алевролит крупнозернистый	2,49 (2,20-2,72)	0,23 (0,20-0,26)	3,13 (2,41-3,76)	1,67 (1,28-2,26)	1,27 (1,0-1,49)	2,00 (1,38-2,67)	3,77 (2,98-4,63)	33,21 (28,50-38,12)	4,43 (3,43-5,45)
Минерализованные образования	2,64 (2,37-2,97)	0,23 (0,13-0,27)	3,41 (1,91-4,39)	1,60 (1,09-2,89)	1,37 (0,84-1,7)	2,27 (0,87-3,29)	3,73 (2,73-6,2)	60,82 (40,5-79,9)	4,80 (2,52-7,0)
Уголь (среднее по пластам)	1,32 (1,26-1,39)	0,09 (0,08-0,15)	0,83 (0,74-1,18)	3,47 (3,15-4,12)	0,38 (0,34-0,51)	0,35 (0,30-0,62)	4,36 (3,91-5,0)	7,51 (6,70-10,25)	2,17 (1,99-2,74)

Таким образом, геологические условия позволяют осуществлять отработку пластов длинными забоями, обеспечивая существование шахты по схеме «шахта-лава». Наличие газового фактора предопределяет необходимость проведения предварительной дегазации. Отработка сближенных пластов требует учета влияния зон ПГД, формируемых под и над целиками, оставляемыми в выработанном пространстве ранее отработанного пласта, а постоянное увеличение глубины ведения работ и возникающая в этой связи опасность возникновения горных ударов обуславливает необходимость определения типа и паспортов крепления, способных обеспечить устойчивость горных выработок в течение всего срока их эксплуатации.

### **1.1.3 Горнотехнические условия**

Проведение подготовительных выработок осуществляется проходческими комбайнами как избирательного, так и фронтального действия. Крепление кровли выработок осуществляется сталеполимерными анкерами в качестве основного крепления, а в сложных горно-геологических условиях с креплением металлической податливой рамной крепью, канатными анкерами или смешанной крепью.

Подготовка выемочных участков производится спаренными штреками от центральных и фланговых стволов с промежуточными сбойками через каждые 100-350 м. До начала ведения очистных работ на каждом выемочном участке, помимо выемочных выработок осуществляется проведение монтажной камеры и диагональных просеков.

Подготовительные забои оборудованы проходческими комбайнами КП-21, П-110, MR-340 и 12СМ-30 фирмы «JOY», MB-670 и MH-621 фирмы «Sandvik». При этом основной состав парка составляют комбайны избирательного действия отечественного производства КП-21 (более 40%) и комбайны фронтального действия зарубежного производства Sandvik MB-670 (более 30%). Остальные комбайны занимают лишь малую долю общего парка. Технические характеристики основных проходческих комбайнов, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Технические характеристики основных проходческих комбайнов

Характеристика	Значение	
	КП-21	МВ-670
Комбайн	КП-21	МВ-670
Техническая производительность комбайнов, т/мин	0,25-2,4	4,5
Мощность исполнительного органа, кВт	110	270
Минимальное сечение проводимой выработки, м <sup>2</sup>	10	13,6
Максимальное сечение проводимой выработки, м <sup>2</sup>	28	25
Размах стрелы, м (по ширине / по высоте)	6,5 / 4,5	5,2 / 4,5
Габаритные размеры, м		
длина	12,5	11,2
ширина	2,4	3,2
высота	1,7	2,9
Масса комбайна, т	45	97

Скорости проведения горных выработок зависят от множества влияющих факторов, но в среднем по шахте составляют: 30 ÷ 70 метров в месяц при проведении выработки по породе; 200 ÷ 350 метров в месяц при проведении выработки по углю комбайнами избирательного действия; 200 ÷ 400 метров в месяц при проведении выработки по углю комбайнами фронтального действия. Удельный объем проведения подготовительных выработок на 1000 тонн добычи горной массы в среднем составляет ≈ 2,4 м.

#### **1.1.4 Опыт проведения выемочных выработок на шахте имени «В.Д. Ялевского»**

На шахте имени «В.Д. Ялевского» накоплен значительный опыт интенсивной отработки запасов, где с 2016 по 2018 годы установлены рекорды производительности очистных забоев [50,51,7,8,64], а максимальная скорость их подвигания составила от 700 до 820 м/мес. (рисунок 1.1). Однако, рекордная производительность очистных забоев вошла в противоречие с возможностями технологий проведения выемочных выработок, следствием чего стали длительные

простои очистного оборудования после завершения отработки подготовленных запасов выемочного столба.

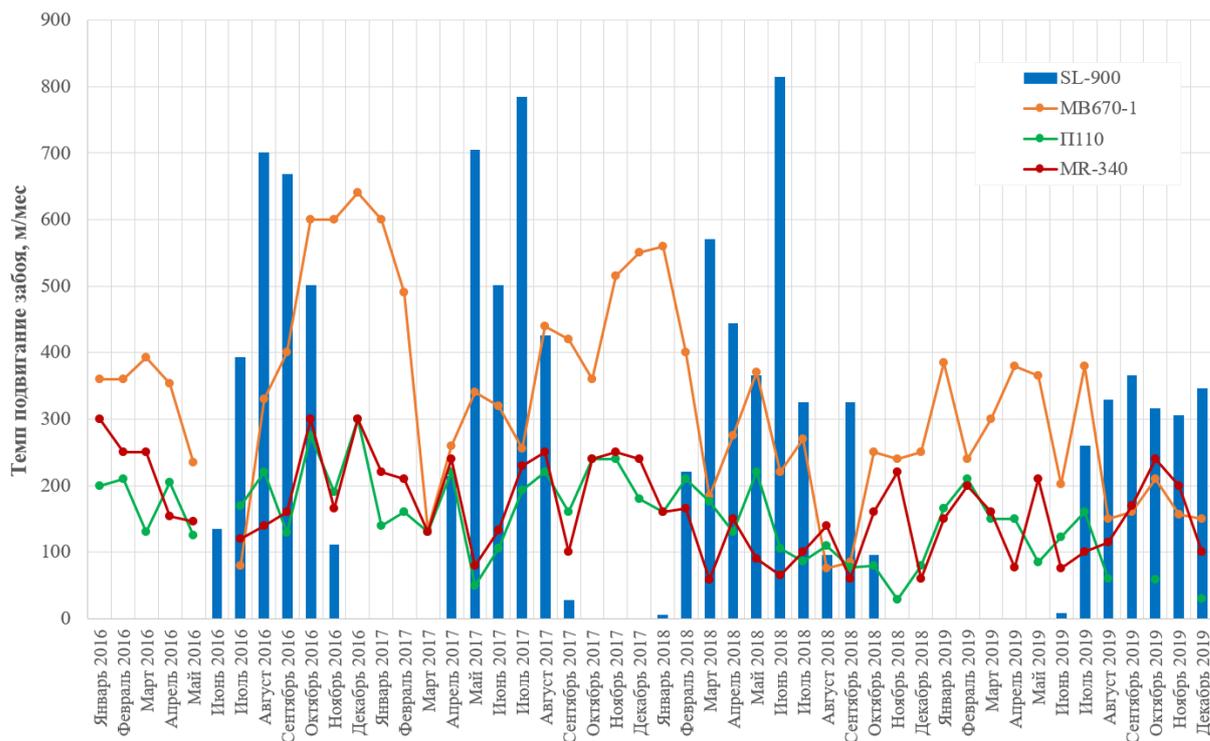


Рисунок 1.1 – Динамика скорости подвигания проходческих и очистного забоев

На рисунке 1.1 представлены данные динамики скорости подвигания проходческих забоев, оснащенных различными типами проходческих комбайнов, и скорости подвигания очистного забоя в шахте им. «В.Д. Ялевского». Как видно из данного рисунка, в течение 2016-2019 гг. наблюдались значительные отставания темпов проходческих работ, что приводило к несвоевременной подготовке новых выемочных участков и простоям ОМК. Вместе с тем, в 2016-2017 годах было обеспечено повышение скорости проходческих работ до 600-650 м/мес. за счет применения современных комбайнов фронтального действия MB-670-1, конструкция которых обеспечивала совмещение во времени операций по выемке и погрузке горной массы, а также креплению кровли и бортов выработки. Однако достигнутая на шахте производительность комбайнов MB-670-1 до 650 м/мес., существенно отстает от производительности этих же комбайнов в зарубежных шахтах - до 1000 м/мес. Основными причинами неполной реализации потенциала современных проходческих комбайнов в условиях шахты им. «В.Д. Ялевского» являются [41]:

- неэффективное исполнение вспомогательных операций, отсутствие вспомогательных средств и материалов
- несвоевременная доставка рабочих к местам их работы;
- простои комбайнов при проведении выемочных выработок, связанные с отставанием одной из выработок в результате отвлечения комбайна на проведение сбоек;
- применение устаревших средств механизации;
- низкая эффективность управления водопритоками в проходческие забои, приводящая к размоканию почвы, формированию колеи, что приводило к снижению эффективности шахтного транспорта и, следовательно, к необходимости постоянного выполнения работ по приведению почвы выработок в эксплуатационное состояние;
- неуккомплектованность проходческих бригад и привлечение проходчиков для выполнения различных дополнительных и вспомогательных операций, в том числе - для доставки расходных материалов к забою.

Таким образом, для повышения средней скорости проведения выемочных выработок необходимо, в первую очередь, устранить существующие организационные и кадровые вопросы за счет привлечения квалифицированного персонала и полной комплектации всех проходческих бригад; применения современной техники и обеспечения условий для ее эффективной эксплуатации.

Однако, после решения данных вопросов следует искать дальнейшие способы повышения скорости проведения выемочных выработок с целью своевременного воспроизводства фронта очистных работ при интенсивной отработке запасов. Это может быть осуществлено за счет применения и внедрения научно-обоснованных технологий, позволяющих повысить скорость проведения выемочных выработок за счет улучшения технологических параметров и обеспечения максимального совмещения во времени всех операций проходческого цикла, независимо от разницы в количестве затрачиваемого на них времени.

## **1.2 Анализ мирового опыта скоростного проведения выемочных выработок при интенсивной отработке запасов**

Современные технологии подземной угледобычи с применением очистных механизированных комплексов характеризуются высокой интенсивностью отработки запасов [38,104,105,93]. Непрерывный рост надежности и энерговооруженности очистных и проходческих комбайнов, и, как следствие, распространение выемки в один слой на всё более мощные пласты угля обеспечивает достижение ранее недоступного уровня интенсивности подземной угледобычи. В то же время, несмотря на разовые достигнутые рекордные показатели суточной и месячной производительности очистных забоев, в их систематической работе нередки продолжительные (до 3-7 месяцев) перерывы, прежде всего, из-за несвоевременной подготовки новых выемочных участков [95].

Концепция интенсивной угледобычи с применением современных ОМК обязательным компонентом включает высокую производительность подготовительных работ, обеспечить которую возможно лишь на основе комплексного решения вопросов проведения и крепления выработок.

Недостаточная скорость проходки выработок при отработке пластов высокопроизводительными ОМК стала во всех ведущих угледобывающих странах одним из основных сдерживающих факторов дальнейшего роста интенсивности подземной угледобычи и, соответственно, повышения технико-экономических показателей [103]. Поиск средств повышения эффективности проходческих работ для своевременной подготовки выемочных участков является актуальной задачей для угольных шахт, осуществляющих интенсивную отработку запасов выемочных столбов [5].

К настоящему времени в России сформировался определенный технологический стандарт подготовки выемочных столбов. Подготовку осуществляют парными выработками прямоугольного сечения, закрепленными анкерной крепью, с оставлением между выработками широкого опорного или узкого податливого целика [30]. Применение анкерной крепи в выемочных выработках обеспечивает сравнительное уменьшение смещений кровли и

конвергенции бортов выработок примерно в 2 раза за счет упрочнения пород анкерами, позволяет сократить объемы и сроки работ по установке крепи, а также общую стоимость крепления выработок. Область применения анкерной крепи не включает сложные горно-геологические условия, например, при отработке запасов на больших глубинах и в условиях геодинамической опасности, где применение такого современного технологического стандарта невозможно и необходимо оставлять податливые целики и применять рамную металлическую крепь выработок.

Следует отметить, что в других странах существуют иные варианты технологических схем подготовки длинных выемочных столбов при интенсивной угледобыче, предусматривающие проведение с каждой стороны выемочного столба группы из двух, реже трех или даже четырех выработок. Подготовка с использованием трех выработок широко распространена в шахтах США, где эта технологическая схема является основной [92]. Основное достоинство подготовки тремя выработками с каждой стороны выемочного столба - создание условий для более эффективного управления метановыделением и организации транспорта, что в настоящее время рассматривается в качестве перспективной технологической схемы подготовки при интенсивной угледобыче на современных высокопроизводительных шахтах [96,42,66].

На шахтах США в настоящее время используются две основные схемы работы проходческих комбайнов: с чередованием работы в забое комбайна и анкероустановщика, и с постоянным нахождением комбайна в забое. Первая схема предусматривает проведение выработки комбайном без осуществления крепления на величину, приблизительно равную длине комбайна, с последующим переходом в другой забой. Вторая схема подразумевает применение более современной техники, способной обеспечить совмещение операций выемки и крепления на базе одного комбайна. Для наиболее полного использования потенциала проходческих комбайнов в США применяется связка проходческих комбайнов с гибким конвейерным поездом (FCT). Шахтные испытания такого комплекта оборудования показали возможность достижения скоростей от 61 до 111 м в смену,

продолжительностью 12 часов [103]. Однако, применение такого комплекта оборудования предъявляет высокие требования к условиям проведения и организации работ.

Развитие технологических схем проведения выемочных выработок на угольных шахтах напрямую связано с развитием применяемой техники. Изначально применяемые технологии проходческих работ предусматривали выполнение проходческим комбайном только операций по выемке и погрузке горной массы, а установку крепи осуществляли при помощи анкероустановщика. Таким образом, комбайн постоянно перемещался между проводимыми выработками, чередуясь в забое с анкероустановщиком. Коэффициент машинного времени при подобной организации работ был минимальным и не превышал 8%. В дальнейшем были разработаны комбайны типа Miner bolter (MB) и Satellite bolter (SB), позволившие не только осуществлять выемку и погрузку породы, но и производить крепление выработки. В первом случае оборудование для установки монтировалось непосредственно на раму проходческого комбайна, соответственно выемку и крепление невозможно было осуществлять параллельно, а во втором случае, оборудование для установки анкеров монтировалось на подвижную раму проходческого комбайна, что впервые позволило совместить во времени проведение и крепление выработки. Однако при этом, расстояние между рядами анкеров было фиксированным и центральные анкера доустанавливались позже [103].

Современные же комбайны являются модифицированными версиями SB, способными разрушать горные породы с прочностью до 160 МПа и совмещать во времени процессы разрушения, погрузки горной массы и крепления выработки. Однако в действительности, даже при применении современных проходческих комплексов не всегда удается совместить во времени основные операции проходческого цикла и связано это, в первую очередь, не с механическими ограничениями применяемой техники, а с особенностью горно-геологических условий и, следовательно, ограничениями, которые они накладывают на организацию и планирование горных работ. Даже несмотря на возможность

совмещения во времени операций по отбойке и погрузке горной массы с креплением контура проводимой выработки, проходческие работы сопровождались длительными простоями комбайнов из-за более высокой продолжительности работ по креплению [18], и из-за необходимости останавливать комбайн на время транспортирования отбитой массы в случае использования самоходного транспорта или для наращивания конвейерных ставов.

Для повышения производительности процессов удаления горной массы из забоя разработан гибкий конвейерный поезд, позволивший исключить длительные ремонты оборудования. Такая технология позволила интегрировать транспортирование горной массы в единую технологию проходческих работ, позволяя тем самым значительно увеличить ее производительность. Первое поколение гибкого конвейерного поезда было представлено в 1985 году, а в настоящее время используется 4-е поколение такой системы, длина которого составляет от 65 до 175 м [103]. Однако, данная технология не получила широкого распространения из-за ее высокой стоимости, требований к состоянию почвы выработок и к надежности всех механизмов в системе.

Необходимо подчеркнуть, что достигнутые в шахтах США рекордные скорости подвигания проходческих забоев, как правило, не являются технически достижимыми для других угледобывающих стран потому, что рекордная эффективность работ в США достигнута в исключительно благоприятных горно-технических условиях угледобычи: высокая устойчивость вмещающих пород, небольшая глубина ведения горных работ и низкий уровень напряжений в массиве, а также отсутствие осложняющих факторов позволяет использовать более простые схемы крепления выработок с меньшей плотностью установки анкеров.

Аналогично, и в КНР, благодаря совершенствованию технологии проходческих работ, в благоприятных горно-геологических условиях на глубинах 180 м достигнуты исключительно высокие скорости подвигания проходческих забоев – 102 м/сут, что в 4-5 раз выше средних показателей на глубоких шахтах этой страны – то есть 25-30 м/сут [99].

Определенный вклад в общее повышение производительности проходческих машин с 2011 года также вносят автоматизация и роботизация: разрабатываются системы дистанционного управления и диагностики [112,111,113,28].

Анализ опыта скоростной проходки выемочных выработок [103,95,99] показал, что высокая скорость подготовительных работ может быть достигнута при различных вариантах организации проходческих работ и используемых комплектах оборудования. При этом практикуется как постоянная работа комбайна в одном проходческом забое, так и переезд комбайна из забоя в забой и использование специальных самоходных анкероустановщиков [15,45,12]. Скорость проходческих работ определяется главным образом сложностью горно-геологических условий, квалификацией персонала и организацией проходческих работ. При этом наибольшую продолжительность, как правило, имеют процессы крепления горной выработки. Вследствие чего, наибольшая скорость проходки, при прочих равных условиях, наблюдаются при использовании современных проходческих комбайнов, совмещающих во времени процессы выемки и погрузки горной массы с креплением выработки.

### **1.3 Оценка возможностей применяемой техники и технологий проведения выемочных выработок**

Анализ российского и зарубежного опыта и технологических разработок позволяет выделить несколько основных направлений повышения скорости проходческих работ. Одним из перспективных направлений является внедрение схем с **поэтапным креплением выработок**. При использовании таких схем на первом этапе устанавливается анкерная крепь первой очереди, с уменьшенным шагом, а также количеством устанавливаемых анкеров, что позволяет обеспечить устойчивость выработки вне зоны влияния очистных работ. Анкера второй очереди, в таком случае, устанавливаются с определенным отставанием от фронта проходческих работ [73]. Разделенные во времени и пространстве технологические операции проходческого цикла позволяют проводить их максимальное совмещение, что положительно сказывается на конечной скорости проведения

выемочной выработки за счет значительного сокращения времени крепления на первом этапе. Однако существенным недостатком подобных схем является отсутствие крепления бортов выработки на первом этапе, что ведет к повышенной вероятности разрушения угля в бортах выработки, а также увеличению нагрузки на крепь кровли при увеличении ее ширины в результате вывалов пород из бортов выработки [5].

В отдельных случаях кратного увеличения скорости проведения выработки можно достичь путем ее проведения **встречными забоями**. Однако, для этого необходимо обладать значительным резервом проходческой техники и проходческих бригад. Так, при двухштрековой системе вместо двух комбайнов и 6 проходческих бригад потребуется 4 комбайна и 12 бригад, а при трехштрековой системе подготовки потребуется еще на 33% больше техники и обслуживающего персонала. Учитывая стоимость современных высокопроизводительных комбайнов последнего поколения и кадровый дефицит во многих добывающих регионах, этот способ не является рациональным, поскольку требует значительного увеличения финансовых затрат.

Другим перспективным направлением повышения скорости проведения выемочных выработок является **применение современного проходческого оборудования**, обеспечивающего сокращение времени проходческого цикла за счет совмещения во времени основных производственных процессов [5]. Основными направлениями совершенствования проходческих комбайнов на сегодняшний день являются: совершенствование исполнительного органа и резцов с целью повышения производительности и снижения энергоемкости разрушения горных пород; повышение эффективности системы управления для увеличения маневренности комбайна; совершенствование систем комбайна с целью повышения эффективности его работы при одновременном резании и креплении выработки [68,108].

Так, например, современные комбайны типа «bolter miner» позволяют увеличить скорость проходки, а также снизить себестоимость горных работ за счет параллельно-совмещенного цикла проходческих операций. Однако, осложняющим

фактором параллельно-совмещенных схем проходки на данном оборудовании являются повышенные требования к квалификации проходчиков, которая на шахтах России зачастую является недостаточной. Еще одним негативным фактором является повышенная крепость пород, осложняющая параллельное разрушение забоя и бурение шпуров в виду повышенной вибрации, динамических толчков и заклинивания буровых штанг, что ограничивает применение данных схем благоприятными горно-геологическими условиями. К тому же, данные комбайны обладают значительно большей стоимостью, в сравнении с комбайнами избирательного действия, а их производство расположено за рубежом, в виду чего, сервисное обслуживание действующих комбайнов и закупка новых значительно осложнена в условиях санкций и невозможна без параллельного импорта [5].

Следует отметить также возможность применения специальных комплектов проходческого оборудования, включающего в себя **гибкий конвейерный поезд** [87,88]. Однако, такая технология не получила широкого распространения из-за высокой стоимости гибкого конвейерного поезда, необходимости пересмотра существующих технологических схем подготовки и высоких требований, предъявляемых к почве выработок [5].

Подводя итог, сравнительный анализ различных технологических схем, обеспечивающих повышение скорости проходческих работ для своевременной подготовки выемочных участков, обрабатываемых с нагрузкой на лавы более 10 тысяч тонн в сутки, показал, что применение схем с использованием встречных забоев или гибкого конвейерного поезда сопровождается почти двукратным увеличением издержек производства на проходческие работы. Однако, анализ также показал, что достаточно увеличения скорости подвигания проходческих забоев примерно в 1,25 и 1,5 раза – при использовании проходческих комбайнов последнего и предпоследнего поколений соответственно, что может быть обеспечено за счет более совершенной организации проходческих работ и обоснования рациональных параметров применяемых технологических схем.

Наиболее перспективным способом является повышение эффективности организации проходческих работ и используемого проходческого оборудования за

счет обоснования параметров технологических схем и основных производственных операций. Главной целью является поиск наиболее эффективных решений, обеспечивающих сокращение времени проходческого цикла за счет совмещения во времени основных производственных процессов: отбойка, погрузка, крепление и транспорт. При этом наибольшая сложность совмещения работ связана с тем, что крепление является наиболее длительной операцией цикла [99,43]. Таким образом, скорость проведения выемочных выработок значительно зависит от применяемой технологии крепления. Следовательно, сокращение ее продолжительности позволит значительно увеличить общую скорость проведения выработки. Применение поэтапного анкерного крепления сокращает затрачиваемое на крепление выработки время на первом этапе, тем самым повышая скорость ее проведения.

Суть технологии поэтапного крепления состоит в разделении забоя на несколько зон, каждая из которых отвечает за определённую операцию проходческого цикла. За счет этого технологические процессы рассредоточиваются по всей длине выработки, что даёт возможность совмещенного выполнения основных операций проходческого цикла.

При данных схемах первый этап крепления кровли и бортов осуществляется с уменьшенным расстоянием между анкерами и меньшим их количеством, позволяя обеспечить устойчивость выработки вне зоны влияния очистных работ [89,98]. Второй этап крепления осуществляется с определенным отставанием от забоя, но строго до начала влияния очистных работ [102]. Такой подход значительно улучшает скорость продвижения выемочных выработок, заметно уменьшая начальное время установки анкеров на первом этапе, повышая, тем самым, общую скорость проведения выработки. Доведение крепи выработки до может проводиться в ремонтно-подготовительную смену, или при выемке угля за комбайном, или во время вынужденных простоев комбайна [43].

При этом важной технологической задачей при поэтапном анкерном креплении является обеспечение устойчивости обнажений кровли в пределах необходимого времени на первом этапе, до возведения постоянной крепи на втором

этапе. Если не обеспечить должную устойчивость кровли выработки на первом этапе, дальнейшее ее докрепление на втором не приведет к повышению устойчивости выработки [61].

Известно несколько технологий с поэтапным креплением. Некоторые из них предполагают установку анкеров или групп анкеров [90] с достаточной устойчивостью для обеспечения стабильности кровли на первом этапе. Если крепление кровли анкерами на первом этапе способно выдерживать полную нагрузку на выработку в течение всего ее эксплуатационного периода, процесс ограничивается одним этапом крепления [106]. В других случаях на втором этапе устанавливаются дополнительные анкера с отставанием в 14,4 - 30 м от забоя [9,26]. Другая технология проведения горных выработок с поэтапным креплением включает внедрение технологических схем скоростного проведения подземных выработок на угольных шахтах. Эта технология делит основные технологические операции на несколько отдельных зон, разделяя их во времени и пространстве забоя, каждая из которых предназначена для выполнения одной определенной операции из общего цикла. При этом, на начальном этапе крепления исключаются некоторые операции: установка временного крепления в виде подпорок и в забое выработки, постоянное крепление кровли анкерами с подхватами, а также исключается крепление бортов проводимой выработки [9,27]. Широко известны технологии, которые включают в себя крепление анкерами, совмещенное с дальнейшей установкой металлических арок [61]. Однако существенными недостатками описанных выше технологий является отсутствие крепления бортов и перетяжки металлической или полимерной сеткой на первом этапе крепления или же сложность организации работ на втором этапе. В совокупности это увеличивает риск для горнорабочих при ведении работ в выработках с неустойчивыми породами кровли [43,72,19,29].

Следовательно, устранение вышеуказанных недостатков является актуальным направлением исследований для совершенствования перспективной технологии поэтапного анкерного крепления, необходимой для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ на угольных шахтах.

## **1.4 Обзор и обобщение литературных источников, нормативной базы крепления выработок при разработке пологих угольных пластов**

### **1.4.1 Анкерное крепление выемочных выработок**

Современным видом крепления подготовительных выработок на угольных шахтах является анкерное крепление, являющееся наименее трудоемким [48,81], наименее металлоемким [20,22], и наиболее экономически эффективным [79,46]. При этом анкерная крепь является эффективным способом крепления при проведении выработок вне зон геологических нарушений на глубинах до 600 метров [24,94,11,74].

Анкерная крепь, состоящая из анкеров, устанавливаемых и закрепляемых в пробуренных в кровлю и борта выработок шпурах, опорных элементов и межанкерной затяжки пород на контуре осуществляет связывание и упрочнение массива в кровле и бортах, противодействует развитию смещений контура выработки. Работая совместно с массивом, в отличие от поддерживающих крепей, анкерная крепь образует единую породонесущую конструкцию [13,46].

Если пачка состоит из равных частей слабых и более прочных слоёв, то прочность всей пачки будет соответствовать прочности слабых слоёв. Однако если доля более прочных слоёв превышает 50 %, то прочность массива значительно увеличивается. Тем не менее, прочность массива будет равна среднему арифметическому только при условии, что доля более прочных слоёв составляет 70–75 % [85].

Закрепление анкеров осуществляется в определенной части шпура (замковые анкера) либо по всей длине при помощи полимерных или минеральных компонентов [80,71,60,76]. При этом анкера обладают определенной податливостью, которая дополнительно может быть увеличена конструктивными элементами (например, специальной шайбой).

По принципу взаимодействия анкерной крепи на угольных шахтах различают метод сшивки и метод подшивки слоев [47,21]. В первом случае, несколько породных слоев, соединенных анкерами, образуют единую балку, сопротивление

на изгиб которой выше, чем сопротивление каждого слоя в отдельности. Данная механика работы крепи характерна для анкеров первого уровня (как правило, сталеполимерных). Во втором случае, разупрочненные влиянием горных работ породы непосредственной кровли подвешиваются за границами свода обрушения к ненарушенным породам основной кровли. Механика работы крепи в этом случае характерна для анкеров второго уровня (канатных анкеров).

В условиях шахт Кузбасса большинство выемочных выработок закреплены сталеполимерными анкерами первого уровня различного диаметра и длины, с закреплением в шпуре одной ампулой быстрого схватывания и одной ампулой медленного затвердевания, с использованием опорных шайб и металлической решетчатой затяжки и канатными анкерами второго уровня. Для крепления бортов применяется анкерная крепь, состоящая из сталеполимерных анкеров, одной ампулы, бортовой шайбы и металлической решетчатой затяжки. Шаг установки анкеров в кровлю и борта выемочной выработки в среднем по шахте составляет 1 метр. Анкерная крепь второго уровня устанавливается в условиях повышенного горного давления; в выработках с широким пролетом кровли; на сопряжениях выработок; в сложных горно-геологических условиях.

#### **1.4.2 Действующие нормативные документы по анкерному креплению**

В соответствии с «Инструкцией по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России» [78] крепление кровли допускается с отставанием от забоя не более 1 метра при 1 классе пород кровли (неустойчивой); с отставанием от 1 до 3 метров при 2 классе пород кровли (средней устойчивости) и с отставанием более 3 метров при 3 классе устойчивости кровли (устойчивой кровли). Частичное закрепление кровли выработки не предусмотрено ни при одном из вышеуказанных классов. При этом плотность установки анкеров должна быть более 1 анкера на квадратный метр при неустойчивом классе кровли; 0,7 анкера на квадратный метр при среднеустойчивом классе кровли и 0,5 анкера на квадратный метр при устойчивом классе кровли. Следовательно, при устойчивом классе кровли возможно предусмотреть крепление выработки с определенным отставанием от

забоя, при соблюдении минимально необходимой плотности анкеров, а при 1 и 2 классе – при условии соблюдения минимальной плотности установки анкеров непосредственно после ее проведения.

Критерием интенсивности горного давления является смещение кровли и бортов выработки. В условиях небольшого горного давления (со смещениями кровли до 50 мм.) допускается крепить выработку анкерами на весь срок ее эксплуатации. Но также крепление анкерной крепью допускается в условиях интенсивного горного давления (со смещениями кровли до 300 мм.) при наличии целика более  $0,1H$  где  $H$  – глубина расположения выработки. Таким образом, предельные смещения кровли при поддержании выработок только анкерной крепью допускаются не более 300 мм.

Во всех выработках при расчетных смещениях кровли более 150 мм. анкера и усиливающие поддерживающие крепи должны быть податливыми, включающимися в работу при нагрузках до 0,8 от несущей способности анкера. Величина податливости закрепленных по всей длине анкеров должна составлять от 30 до 50 мм. В выработках и сопряжениях, в кровле которых залегают угольный пласт и породы, отнесенные к опасным по горным ударам и выбросам, анкера должны иметь податливость не менее 50 мм.

Таким образом, при, соблюдении минимально необходимой плотности установки анкеров, возможно рассмотреть применение поэтапного анкерного крепления с той целью, чтобы предельные смещения не превышали 300 мм. на каждом из этапов проведения выработки. Интенсивность горного давления на этапе проходки выработки минимальна, соответственно на данный период возможно применение уменьшенного количества анкеров (при соблюдении минимально необходимой плотности) с той целью, чтобы смещения не превышали критических значений на период ее проведения, с дальнейшим увеличением плотности их установки с той целью, чтобы не допустить превышения предельных смещений в кровле выработки, когда она будет находиться в зоне влияния очистных работ.

### 1.4.3 Методика оценки устойчивости бортов выемочных выработок

В ряде современных работ [110,109,101,3] в качестве основных факторов, определяющих интенсивность смещений контура выработок, отмечены глубина ведения горных работ, мощность междупластья, положение выработки относительно краевой части пласта (смещение под краевую части или выработанное пространство), ширина целика, вынимаемая мощность сближенного пласта. К числу дополнительных факторов следует отнести: прочность пород междупластья, категорию кровли сближенного пласта, протяженность зоны опорного давления в краевой части массива сближенного пласта [69].

Необходимость установки анкерной крепи в бортах горной выработки определяются относительной степенью напряженности вмещающих пород и пласта (1) [69,78]:

$$\delta_{\sigma} = \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_0 \gamma H}{R_{сб}}, \quad (1)$$

где

$\gamma$  - средний объемный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;

$H$  - глубина расположения горной выработки, м;

$R_{сб}$ - расчетное сопротивление на сжатие пород в бортах выработки, МПа;

$\kappa_1$ - коэффициент концентрации напряжений в бортах от проходки горных выработок и сопряжений;

$\kappa_2$  - коэффициент увеличения напряжений в бортах горных выработок и сопряжений от других горных выработок.

Расчетная ширина горной выработки ( $B_p$ ), с учетом возможного разрушения бортов выработки в результате отжима угля, определяемая по формуле (2):

$$B_p = B + 2B_p, \quad (2)$$

где

$B_p$  принимается равным 0,6 - 0,8 м.

Недостатком «Инструкции по анкерному креплению» является необоснованное увеличение расчетной ширины выработки, которая является

шириной основания свода давления пород кровли, определяющего параметры паспорта крепления выработки, закрепленной анкерной крепью [69].

Включение в формулу для определения ширины выработки настолько значительного запаса, по-видимому, предназначено для обеспечения учета всех возможных случаев разрушений бортов выработки, находящихся в зоне влияния опорного давления лавы или смежного выемочного столба, а также в зоне влияния сближенного пласта. Формула (2) рекомендована составителями документа для любых горных выработок – в том числе эксплуатируемых за пределами зон влияния опорного давления и повышенного горного давления, во-вторых, расчет и применение адекватного паспорта для крепления бортов горных выработок, позволяет избежать таких объемов разрушения, а в третьих, даже в случае выемочных выработок находящихся в зоне влияния очистных работ может быть выделено несколько этапов их эксплуатации, и, как правило, на начальных этапах имеют место наиболее благоприятные условия для поддержания выработки, где подобное разрушение бортов выработки невозможно.

Напротив, недостаточно обоснованное увеличение ширины выработки на 1,2-1,6 м приводит к увеличению высоты свода естественного равновесия над нею, и, как следствие, к увеличению необходимой для крепления такой выработки длины анкеров в среднем на 0,7-1,2 м и повышения плотности их установки, что существенно увеличивает стоимость и сроки возведения крепи выработок. Вместе с тем, именно продолжительность операций крепления, которая при использовании современных проходческих комбайнов, способных совмещать во времени все операции проходческого цикла, как правило, превышает продолжительность всех остальных основных операций проходческого цикла [103]. Избыточный «запас устойчивости» выработок, закрепленных анкерной крепью, является следствием недостаточного соответствия применяемых расчетных методов и паспортов крепления именно для крепления бортов горных выработок [69].

Следует отметить, что предложение такого запаса прочности для выработки, эксплуатируемой вне зоны влияния опорного давления действующей лавы, зоны опорного давления со стороны смежного выемочного столба или зоны

повышенного горного давления со стороны сближенного пласта, является избыточным и необоснованным [3]. В тоже время, в ситуации более существенного влияния одного из учитываемых факторов или одновременного влияния всех указанных факторов, - значение, полученное по формуле (1), становится недостаточным без учета возможного значительного отжима угля, который, как показывает практика поддержания выработок в зонах повышенного горного давления, может превышать 1,5 м с каждой стороны выработки. Таким образом, применение формулы (2) при расчете параметров анкерного крепления имеет следствием либо повышение затрат времени и средств на избыточное крепление горных выработок, что является основным сдерживающим фактором для повышения темпов проходческих работ и своевременной подготовки новых выемочных столбов, или нарушает эксплуатационное состояние выработки, эксплуатируемой в условиях одновременного влияния нескольких факторов: опорного давления действующей лавы, опорного давления со стороны смежного столба, зоны повышенного горного давления от смежных пластов. Следует отметить, что в случае эксплуатации выработки в таких условиях, ухудшение геомеханической ситуации создается постепенно: выработка вначале успешно проводится и поддерживается в зоне повышенного горного давления со стороны смежного пласта, затем ситуация осложняется в зоне действия опорного давления со стороны смежного выемочного столба, и наибольший уровень напряжений и смещений на контуре выработки формируется при подходе лавы отрабатываемого столба. При этом постепенность увеличения напряжений в окрестности выработки зачастую не позволяет прогнозировать нарушение ее эксплуатационного состояния вплоть до подхода лавы, сопровождающегося резким ростом напряжений и деформаций в сильно нагруженных бортах выработки с одновременным ростом пучения почвы и оседания кровли выработки.

Таким образом, существующие в действующих нормативных документах методики расчета ширины выработки предполагают избыточный запас прочности, который не всегда оправдан. Такой подход увеличивает ширину выработки, что, в свою очередь, приводит к увеличению высоты свода естественного равновесия над

выработкой и требует увеличения плотности установки анкеров, что ведет к увеличению затрачиваемого на крепление времени и общей стоимости проходки. Это приводит к снижению темпов проходческих работ, что влечет за собой несвоевременную подготовку новых выемочных участков. Необходимо пересмотреть существующие методики расчета параметров анкерного крепления, чтобы уменьшить избыточные затраты времени и средств на крепление выемочных выработок. Это позволит ускорить темпы проходческих работ и обеспечить своевременную подготовку выемочных участков, что особенно важно в условиях интенсивной угледобычи.

### **1.5 Выводы по главе**

1. Недостаточная скорость проведения выемочных выработок при высокой скорости подвигания очистных забоев на угольных шахтах является одним из основных факторов, сдерживающих повышение производительности лав и не позволяющим в полной мере реализовать потенциал современного очистного оборудования. Анализ опыта интенсивной отработки запасов показал, что простои очистных механизированных комплексов, вызванные несвоевременной подготовкой выемочных участков, могут достигать до 7 месяцев, что приводит к значительной упущенной выгоде и недополученной прибыли.

2. Использование технических решений, успешно применяемых в зарубежной практике, как правило, затрудняется в более сложных горно-геологических и горнотехнических условиях российских шахт. Так, например, использование гибкого конвейерного поезда нецелесообразно из-за его высокой стоимости и высоких требований к почве выработок, выполнить которые практически невозможно на шахтах, ведущих отработку пластов со слабыми или обводненными почвами. Проведение выработок встречными забоями требует кратного увеличения количества дорогостоящих проходческих комбайнов и количества проходческих бригад, что сложно реализовать в условиях кадрового дефицита в регионе.

3. Анализ эффективности применяемых на шахтах России технологических схем проведения горных выработок показал, что имеется значительный нереализованный потенциал повышения скорости проходческих работ, связанный с сокращением времени проходческого цикла за счет совмещения во времени основных производственных процессов. Наиболее эффективно такой потенциал может быть реализован за счет использования проходческих комбайнов фронтального действия, обеспечивающих параллельное выполнение основных проходческих операций, но даже при этом, высокая длительность работ по креплению выработок является основной причиной, ограничивающей скорости проходки выработок. Отдельно следует заметить, что основная доля парка комбайнов фронтального действия состоит из комбайнов зарубежного производства, в виду чего сервисное обслуживание действующих и закупка новых значительно осложнена в условиях санкций и невозможна без параллельного импорта.

4. Применение технологических схем проходки с поэтапным креплением выработок определено в качестве перспективного направления повышения скорости проходки выработок комбайнами избирательного действия. Сложности в реализации существующих технологических схем поэтапного анкерного крепления, требования нормативных документов предопределяют необходимость совершенствования существующих и поиска новых технологических решений для повышения скорости проведения выемочных выработок при обеспечении их устойчивости в период между этапами крепления и в течение срока службы.

Таким образом, для обоснования параметров технологии проведения выемочных выработок с поэтапным анкерным креплением, обеспечивающим повышение скорости проходки при обеспечении устойчивости выработок необходимо решение следующие задач:

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.

## **ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ АО «СУЭК-Кузбасс»**

### **2.1 Общие положения**

С целью выявления возможности увеличения резервов времени при проведении выемочных выработок на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» были изучены технологические схемы проведения выработок, задействованное для их проведения оборудование, продолжительность операций проходческого цикла, среднегодовая скорость проходки выработок комбайнами различного действия, а также выполнен регрессионный анализ геологических и технологических факторов, влияющих на скорость проведения выработок.

Оценка технологических схем проведения выемочных выработок проводилась на основе современного подхода компании АО «СУЭК», внутренних рекомендаций и положений по подготовке выемочных участков.

Выбор проходческого комбайна зависит от мощности вынимаемого пласта (до 3,5 метров или более 3,5 метров), назначения выработки и требуемой скорости ее проведения. Так, комбайны фронтального действия применяются для проведения протяженных выработок (более 500 метров) прямоугольного сечения при подготовке выемочных столбов, прочности вынимаемых пород не более 70 МПа и прочности почвы не менее 30 МПа. Комбайны избирательного действия делятся на легкие (до 45 тонн) средние (до 75 тонн) и тяжелые (от 75 тонн) [77]. Первые два класса применяются для проведения как выемочных, так и вспомогательных выработок свободного сечения в породах крепостью до 10 МПа, без ограничений по качеству почвы. Тяжелые комбайны применяются для проведения выработок свободного сечения по породе крепостью до 140 МПа, без ограничений по качеству почвы. Также, в зависимости от необходимости обеспечения минимальной скорости проведения выработки применяются различные способы проведения спаренных выработок, подразумевающие применение разного количества проходческого оборудования.

Проходческий цикл выемочной выработки состоит из следующих технологических операций: выемки горной массы, ее погрузки и транспортировки, крепления выработки и выполнения комплекса вспомогательных мероприятий. Исследования продолжительности основных операций проходческого цикла показали, что крепление является наиболее продолжительной операцией при проведении выработок как комбайнами избирательного, так и фронтального действия. Данные исследования выполнены на основе хронометражных наблюдений. Хронометраж – метод исследования рабочего времени, позволяющий измерить и оценить, сколько времени требуется для выполнения определённых циклических задач. При непрерывном виде хронометража наблюдается и фиксируется весь исследуемый процесс, в данном случае – проходческий цикл. Процедура проведения хронометража включает в себя подготовку к наблюдению и поверку хронометра метрологической службой; наблюдение процесса с фиксацией времени, затраченного на выполнение каждой из операций цикла; обработку и анализ полученных данных [65]. Полученные при хронометражных наблюдениях данные используют для построения графиков организации работ с целью дальнейшего планирования и организации работ.

Оценка объемов проведения выемочных выработок выполнена на основе фактически выполненных работ по проведению выработок.

Учет коэффициента машинного времени комбайна выполнен на основании технологических схем проведения выемочных выработок на шахтах Кузбасса. Машинное время — это период времени, в течение которого оборудование или процесс выполняют свою основную поставленную задачу и складывается, по утверждению некоторых авторов, из времени по выемке горной массы и крепления выработки [58]. В данной работе предлагается рассматривать эффективное время работы комбайна – исключительно в процессе выемки породы, поскольку только в этом случае идет продвижение проходческого забоя. Неэффективное время является простоем. Простой – это период времени, в течении которого проходческий комбайн не работает по выемке горного массива. Простой может быть плановым (техническое обслуживание комбайна, наращивание вспомогательных

коммуникаций и т.д.) или внеплановым (поломки оборудования, привлечение проходчиков для выполнения вспомогательных работ, аварии, горные удары и т.д.)

Проведение регрессионного анализа на основе горно-геологических и горнотехнических факторов позволяет определить влияние наиболее значимых факторов на скорость проведения выработки, а также спрогнозировать будущие значения на основе имеющихся данных. Данный метод выбран ввиду его важного преимущества, поскольку он учитывает влияние нескольких факторов, не связанных между собой, в виду чего актуален для предприятий минерально-сырьевого комплекса, позволяя проводить многофакторный анализ параметров, взаимно влияющих друг на друга. [83,84].

## **2.2 Шахтные исследования технологических процессов проведения выработок в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс»**

### **2.2.1 Проходческие комбайны**

На шахтах Кузбасса проведение выемочных выработок осуществляется как комбайнами избирательного, так и фронтального действия [54,49]. При этом скоростное проведение выработок возможно обоими типами проходческих комбайнов.

Особенность работы проходческого комбайна избирательного действия со стреловидным исполнительным органом заключается в том, что он производит селективную выемку горной массы [63]. Изображение типа данного комбайна представлено на рисунке 2.1.

Особенность работы проходческого комбайна фронтального действия со стреловидным исполнительным органом заключается в том, что он производит выемку горной массы на всю ширину выработки и позволяет осуществлять крепление кровли и бортов выработки непосредственно с самого комбайна [4]. Изображение типа данного комбайна представлено на рисунке 2.2.



Рисунок 2.1 – Комбайн проходческий избирательного действия КП-21



Рисунок 2.2 – Комбайн проходческий фронтального действия Sandvik MB-670

### **2.2.2 Проведение выемочных выработок комбайнами избирательного действия**

В настоящее время в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» применяется 3 основных способа проведения выработок комбайнами избирательного действия.

**Первый способ** проведения спаренных выработок подразумевает их проведение одним комбайном с транспортировкой породы одним самоходным вагоном. Способ представлен на рисунке 2.3.

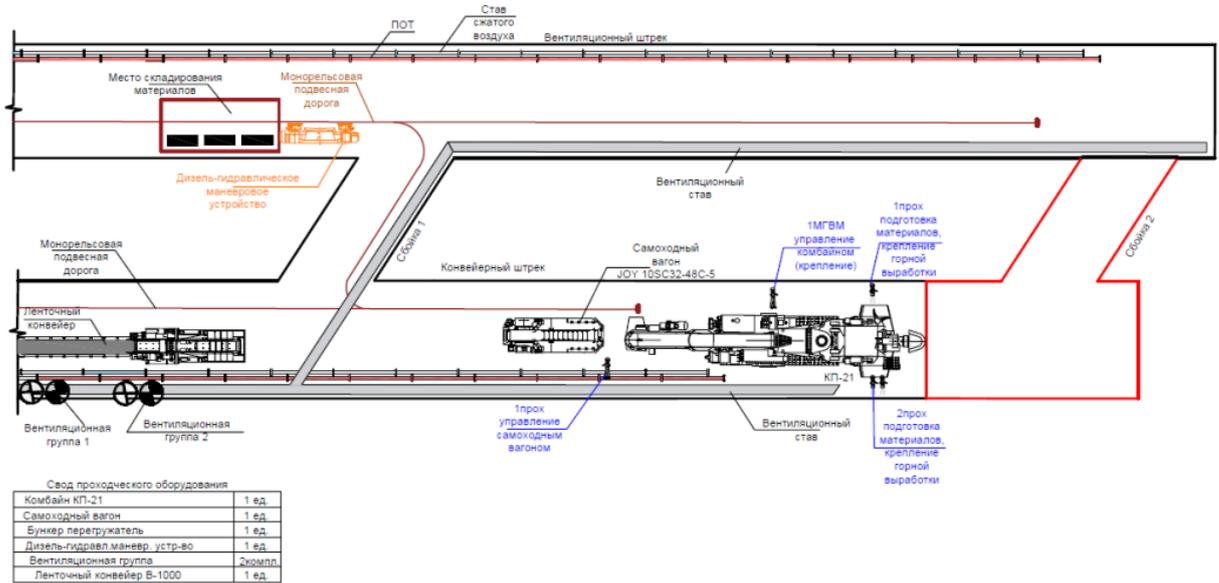


Рисунок 2.3 – Схема расстановки оборудования в подготовительных забоях при проведении спаренных выработок одним комбайном избирательного действия

**Второй способ** подразумевает проведение спаренных выработок одним комбайном фронтального действия и транспортировку породы одним самоходным вагоном, но при этом, также подразумевает нахождение в резерве второго комплекта проходческого оборудования. Способ представлен на рисунке 2.4.

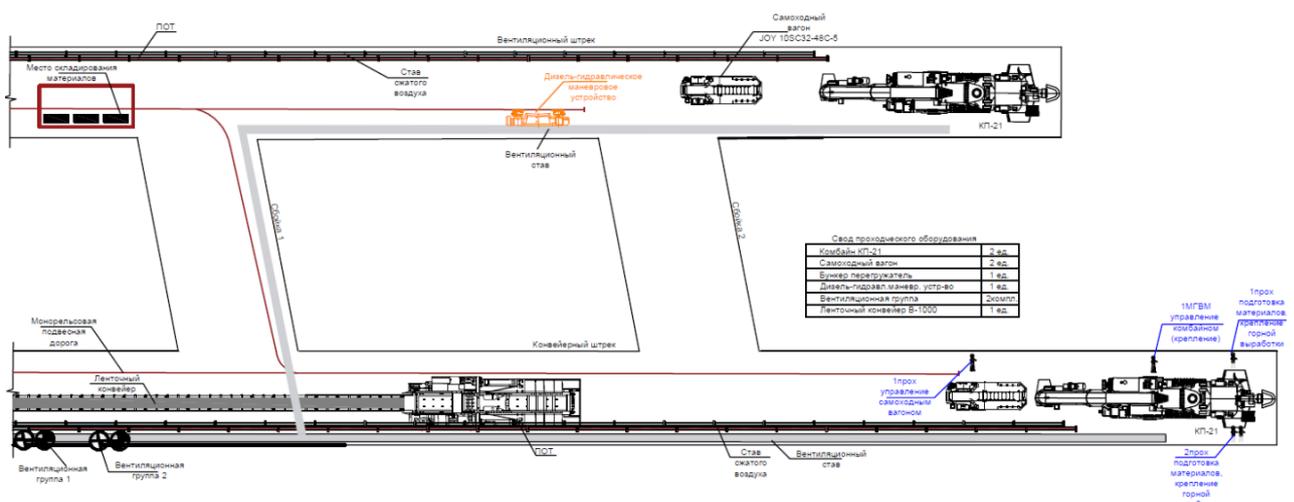


Рисунок 2.4 – Схема расстановки оборудования в подготовительных забоях при проведении спаренных выработок одной бригадой, при наличии резервного комплекта оборудования в забое комбайнами избирательного действия



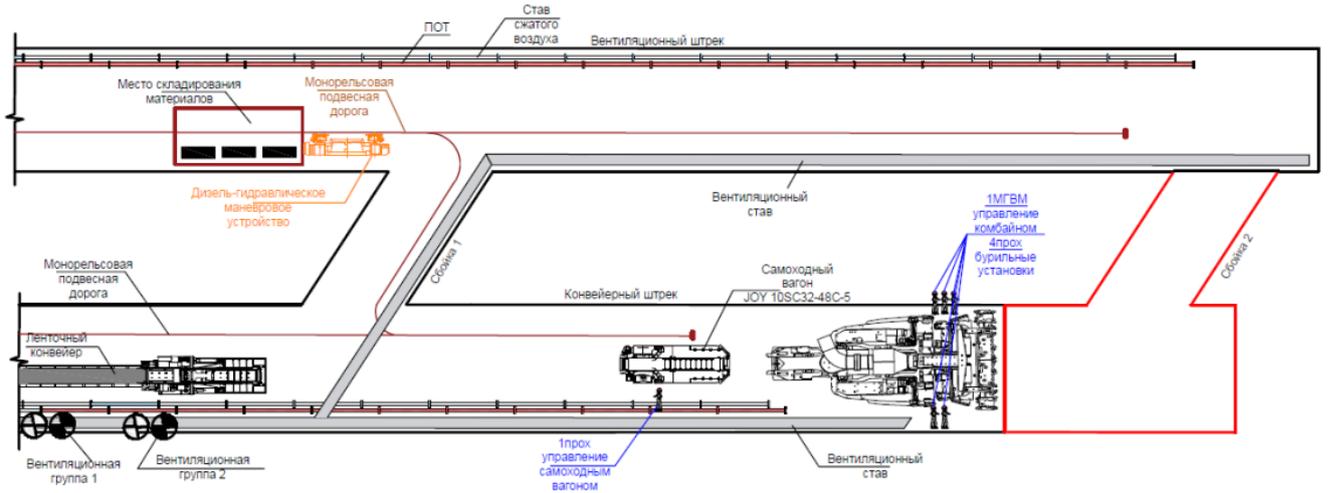


Рисунок 2.6 – Схема расстановки оборудования в подготовительных забоях при проведении спаренных выработок одним комбайном фронтального действия

**Второй способ** подразумевает проведение спаренных выработок одним комбайном фронтального действия и транспортировку породы одним самоходным вагоном, но при этом, также подразумевает нахождение в резерве второго комплекта проходческого оборудования. Данный способ позволяет непрерывно производить работу в случае технической неисправности проходческого оборудования. Способ представлен на рисунке 2.7.

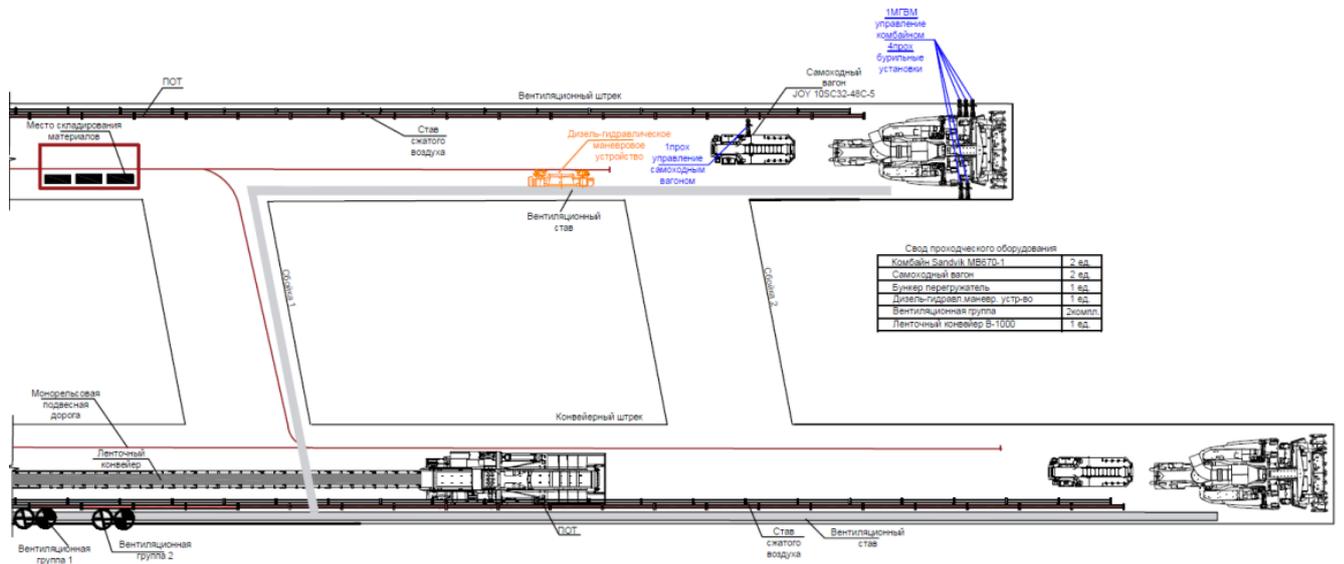


Рисунок 2.7 – Схема расстановки оборудования в подготовительных забоях при проведении спаренных выработок одной бригадой, при наличии резервного комплекта оборудования в забое комбайнами фронтального действия

**Третий способ** подразумевает проведение спаренных выработок двумя комплектами проходческого и транспортного оборудования. Отличается высокой производительностью, но также высокой концентрацией работ в проходческом забое. Позволяет достичь наибольших скоростей проведения выемочных выработок. Способ представлен на рисунке 2.8.

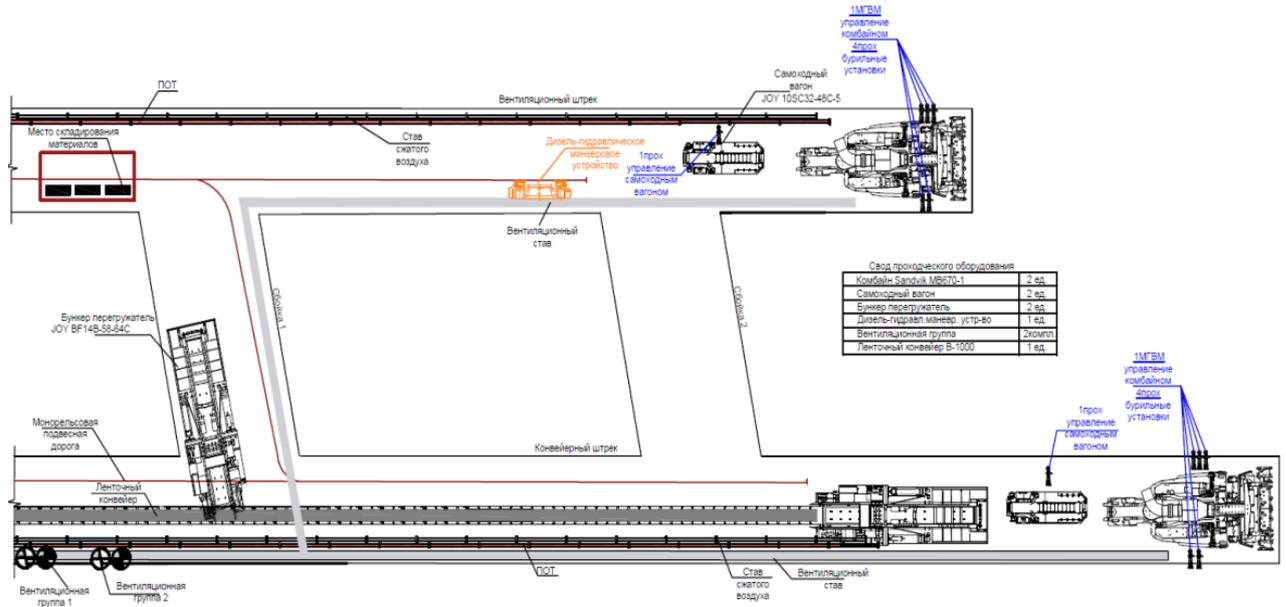


Рисунок 2.8 – Схема расположения оборудования в подготовительных забоях при проведении спаренных выработок двумя бригадами комбайнами фронтального действия

Во всех трех случаях проведение и крепление выработок осуществляется непосредственно проходческим комбайном фронтального действия, при этом, при полном составе проходческой бригады выемка породы и крепление выработки осуществляется параллельно.

Главным отличием схем проведения комбайнами избирательного действия, от схем проведения комбайнами фронтального действия является ручной процесс крепления, осуществляемый при помощи переносных пневматических анкероустановщиков [86]. При таком способе организации работ, помимо того, что проведение и крепление выработки осуществляются последовательно, также затрачивается дополнительное время на маневрирование применяемого оборудования в забое, что в значительной степени оказывает отрицательное

влияние на коэффициент машинного времени проходческого комбайна и снижает общую производительность проходки.

Наиболее высокопроизводительным способом проходки является способ проведения двумя бригадами при помощи двух комплектов проходческого оборудования. Наименее экономически затратным способом является способ проведения одной бригадой и одним комплектом проходческого оборудования, при условии своевременной подготовки и только в том случае, если медленные темпы подготовки не приводят к незапланированным простоям очистных забоев и обеспечивают своевременное воспроизводство фронта очистных работ.

#### 2.2.4 Хронометражные наблюдения за процессом проходки

Количество выполненных циклов в смену и сутки можно определить путем хронометражных наблюдений при проведении выработки комбайнами как фронтального, так и избирательного действия.

Согласно хронометражным наблюдениям за проведением выемочной выработки **по породе комбайном избирательного действия** на Участке №1 шахты Комсомолец АО «СУЭК-Кузбасс» были получены следующие данные. Время работы комбайна при 8-часовой смене составило 6 часов 35 минут. На крепление было затрачено 45 минут. За смену был выполнен 1 цикл. Подвигание за смену составило 0,64 погонных метра. Суточная скорость составила до двух погонных метров. Коэффициент машинного времени составил 81%. Характеристики проводимой выработки представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики проводимой выработки

Угол падения выработки, град	17
Категория пород	Песчаник мелко-зернистый, Алевролит
Крепость породы	7,9
Сечение выработки	11,7 м <sup>2</sup>
Ширина выработки	4,1 м
Высота выработки	2,85 м

Согласно хронометражным наблюдениям за проведением выемочной выработки **по углю комбайном избирательного действия** на Участке №1 шахты Комсомолец «АО» были получены следующие данные. Время работы комбайна при 8-часовой смене составило 4 часа 50 минут. На крепление было затрачено 2 часа 13 минут. За смену было выполнено 3 цикла. Подвигание за цикл составило 3,84 погонных метра, за сутки до 11,5 погонных метров. Коэффициент машинного времени составил 60%. Характеристики проводимой выработки представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристика проводимой выработки

1	Угол падения выработки, град	10
2	Категория пород	Алевролит
3	Крепость породы	5,7
4	Сечение выработки	19,8 м <sup>2</sup>
5	Ширина выработки	5,2 м
6	Высота выработки	3,8 м

Согласно хронометражным наблюдениям за проведением выемочной выработки **по углю комбайном фронтального действия** на Участке №7 25-03 ЦМКШ шахты им. С.М. Кирова были получены следующие данные. Время работы комбайна при 8-часовой смене составило 2 часа 49 минут. На крепление было затрачено 3 часа 10 минут. При этом данные процессы в некоторые промежутки проводились параллельно. За смену было выполнено 11 циклов и пройдено 11 погонных метров. Суточная скорость проходки составила до 33 погонных метров. Средняя скорость проходки составила 35 минут на цикл. Коэффициент машинного времени составил 35%.

По результатам хронометражных наблюдений можно отметить, что наибольшей производительностью обладает комбайн фронтального действия, способный параллельно вести выемку угля и крепление выработки и,

следовательно, выполняющий наибольшее количество циклов в сравнении с комбайном избирательного действия. При этом, комбайн избирательного действия обладает большим коэффициентом машинного времени, однако, сильно меньшей производительностью, в виду длительной выемки угля и невозможности параллельного ведения работ по выемке и креплению. Таким образом, наибольшего увеличения коэффициента машинного времени от перехода на поэтапное крепление можно добиться в тех условиях, когда продолжительность крепления превышает продолжительность остальных операций. В иных случаях, повышение коэффициента машинного времени комбайна целесообразно при устранении других сдерживающих факторов.

### **2.2.5 Состав проходческих бригад**

Проходческие бригады состоят машинистов горно-выемочных машин (МГВМ) и электрослесарей, а также проходчиков, отвечающих за крепление горных выработок и управление самоходным вагоном.

Для бригад, работающих на комбайнах фронтального действия с непрерывным проведением выработки, что подразумевает под собой крепление выработки в процессе вырубке горного массива, в состав забойной группы входит 1 МГВМ, 5 проходчиков и 1 электрослесарь.

Для бригад, работающих на комбайнах фронтального действия с последовательным выполнением процессов по вырубке и креплению горного массива, в состав забойной группы входит 1 МГВМ, 4 проходчика и 1 электрослесарь.

Для бригад, работающих на комбайнах избирательного действия, в состав рабочей группы входит 1 МГВМ, 4 проходчика и 1 электрослесарь.

Таким образом, состав проходческих бригад незначительно отличается при применении комбайнов различного типа действия, а также при последовательной или параллельной организации работ и требует не менее 6 рабочих на обслуживание одного забоя. Неукомплектованность проходческих бригад приводит к дополнительному снижению скорости ведения работ.

## 2.2.6 Оценка объемов проведения выработок комбайнами избирательного и фронтального действия.

За 2020 год на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» комбайнами избирательного действия суммарно пройдено 27372 погонных метра выемочных выработок при максимально задействованных 25 бригадах в месяц, а в среднем 16 бригадах в месяц. Средняя скорость проходки 1675 погонных метров в месяц. Комбайнами фронтального действия суммарно пройдено 58006 погонных метров выемочных выработок при максимально задействованных 28 бригадах в месяц, а в среднем 23 бригадах в месяц. Проходка по породе составила наименьшую часть и составила 2043 погонных метра при 5 задействованных бригадах и средней скорости 446 погонных метров в месяц. Годовой график выполненных объемов работ представлен на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Объем проходки на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2020 год

За 2021 год на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» комбайнами избирательного действия суммарно пройдено 11682 погонных метра выемочных выработок при максимально задействованных 11 бригадах в месяц, а в среднем 8 бригад в месяц. Средняя скорость проходки 125,6 погонных метров в месяц. Комбайнами фронтального действия суммарно пройдено 48574 погонных метров выемочных выработок при максимально задействованных 24 бригадах в месяц, а в среднем 21 бригаде в месяц. Средняя скорость проходки 192,8 погонных метров в месяц. Проходка по породе составила наименьшую часть и составила 3394 погонных

метра при 5 задействованных бригадах и средней скорости 646 погонных метра в месяц. Годовой график выполненных объемов работ представлен на рисунке 2.10



Рисунок 2.10 – Объем проходки на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2021 год

За 2022 год на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» комбайнами избирательного действия суммарно пройдено 15349 погонных метров выемочных выработок при максимально задействованных 16 бригадах в месяц, а в среднем 13 бригадах в месяц. Средняя скорость проходки 100,3 погонных метра в месяц. Комбайнами фронтального действия суммарно пройдено 45071 погонных метра выемочных выработок при максимально задействованных 22 бригадах в месяц, а в среднем 19 бригадах в месяц. Средняя скорость проходки 199,4 погонных метра в месяц. Проходка по породе составила наименьшую часть и составила 1607 погонных метра при 4 задействованных бригадах и средней скорости 32 погонных метра в месяц. Годовой график выполненных объемов работ представлен на рисунке 2.11



Рисунок 2.11 – Объем проходки на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2022 год

В 2023 году к проведению было запланировано 21755 погонных метров выемочных выработок комбайнами избирательного действия со средней скоростью проведения 142 метра в месяц с привлечением 13 бригад ежемесячно, и проведение 59700 погонных метров выемочных выработок комбайнами фронтального действия со средней скоростью 240 метров в месяц с привлечением 21 проходческой бригады. Годовой график планируемых объемов работ представлен на рисунке 2.12



Рисунок 2.12 – Планируемый объем проходки на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» в 2023 году

Таким образом, основной объем проходки обеспечивается современными комбайнами фронтального действия и на них же задействовано основное количество проходческих бригад. Их средняя производительность превышает среднюю производительность комбайнов избирательного действия. Область применения комбайнов фронтального действия – проведение выработок большой протяженности, где необходима высокая скорость проходки. Область применения комбайнов избирательного действия – проведение выемочных и вспомогательных выработок, проведение выработок по породе с высокой крепостью, проведение выработок нестандартного сечения. Основным парком проходческих комбайнов фронтального действия на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» составляют комбайны избирательного действия – КП-21 отечественного производства и комбайны фронтального действия – Sandvik MB-670 зарубежного производства.

### **2.3 Исследование влияния основных горно-геологических и горнотехнических факторов на скорость проведения выработок**

В данном разделе приведена сводная информация по проведению выемочных выработок и достигнутых при их проведении скоростей подвигания проходческих забоев на основе альбома технологических схем по шахтам АО «СУЭК-Кузбасс» [70].

На шахте «**Галдинская-Западная 2**» при проведении выемочных выработок по 70 пласту скорость подвигания забоя составляла ориентировочно 17 метров в сутки при применении комбайна МВ-670 фронтального действия с погрузкой на ленточный конвейер. Суточная нагрузка на лаву составляла при этом 15 000 тонн, сечение выработки находилось в диапазоне от 16 до 21,84 м<sup>2</sup>, угол наклона составлял от 5 до 8 градусов. Крепление выработок осуществлялось с помощью 5-7 анкеров длиной от 2,4 до 2,75 метров в кровлю и 2-6 анкеров длиной от 1,6 до 1,8 метров в борта с каждой стороны выработки.

На шахте «**им. 7 ноября**» скорость подвигания проходческих забоев находилась в диапазоне от 8 до 12 метров в сутки при проведении выработок с использованием комбайнов КП-21 и П-110 избирательного действия с погрузкой на скребковый и ленточный конвейер. Сечение выработок варьировалось в пределах от 16 до 19,5 м<sup>2</sup>, угол наклона выработок — от 5 до 17 градусов. Крепление выполнялось с использованием 5-7 анкеров длиной от 2,4 до 2,75 метров в кровлю и 2-6 анкеров длиной от 1,6 до 1,8 метров в борта с каждой стороны выработки.

На шахте «**Котинская**» при проведении выработок скорость подвигания проходческих забоев варьировалась от 9 до 12,6 метров в сутки при проведении выработок комбайнами фронтального действия JOY 12 CM 30 и комбайнами избирательного действия П-110. Сечение выработок находилось в пределах от 18,5 до 19,3 м<sup>2</sup>, угол наклона — от 0 до 10 градусов. Крепление выработок осуществлялось 5-6 анкерами длиной от 2,35 до 2,4 метров в кровлю и 2-4 анкерами длиной от 1,6 до 1,8 метров в борта с каждой стороны выработки.

Проведение выемочных выработок на шахте **«Комсомолец»** обеспечивало скорость подвигания забоев от 3 до 81 метра в сутки при использовании комбайнов КП-21 избирательного действия с погрузкой на скребковый и ленточный конвейер. Сечение выработок варьировалось в пределах от 14 до 16,8 м<sup>2</sup>, угол наклона — от 3 до 5 градусов. Крепление выработок осуществлялось 5 анкерами длиной от 2,2 до 2,3 метров в кровлю и 1-2 анкерами длиной от 1,8 до 1,9 метров в борта с каждой стороны выработки. Большой диапазон скоростей подвигания связан с проведением большого количества выработок по породе.

На шахте **«Полысаевская»** при проведении вентиляционных выработок скорость подвигания забоев составляла от 9 до 12 метров в сутки при использовании комбайнов КП-21 избирательного действия с погрузкой на ленточный конвейер. Сечение выработок находилось в пределах от 11,5 до 12,5 м<sup>2</sup>, угол наклона — от 14 до 16 градусов. Крепление выработок осуществлялось 5 анкерами длиной от 2,2 до 2,3 метров в кровлю и 1-2 анкерами длиной 1,8 метров в борта с каждой стороны выработки.

На шахте **«Красноярская»** при проведении выемочных выработок скорость подвигания забоев составляла 9 метров в сутки при использовании двух комбайнов КП-21 с погрузкой на скребковый и ленточный конвейер. Сечение выработок варьировалось в пределах от 14,7 до 18,6 м<sup>2</sup>, угол наклона — от 2 до 4 градусов. Крепление выработок осуществлялось 5 анкерами длиной от 2,3 до 2,4 метров в кровлю и 2-3 анкерами длиной 1,8 метров в борта с каждой стороны выработки.

Сводные данные по горно-геологическим и горнотехническим условиям проведения выработок на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» представлены в таблице 2.3.

Диапазон геологических данных, равно как и количество возможных вариантов крепления значительно различается на разных шахтах, разрабатывающих одно и то же месторождение. Однако, на основе данного массива геологических и технологических данных были сделаны следующие выводы.

Использование различных типов комбайнов: фронтального или избирательного действия, оказывает значительное влияние на скорость подвигания проходческих забоев.

Наибольшее влияние на скорость проведения выработки оказывает крепость породы. Однако, данный фактор является геологическим и не подлежит оптимизации.

Объём крепления значительно влияет на скорость подвигания проходческих забоев. В шахтах с высокой плотностью установки анкеров и их большой длине наблюдается снижение скорости проведения выемочных выработок. Это подтверждает необходимость обоснования паспортов крепления под конкретные условия каждой шахты. В шахтах с благоприятными горно-геологическими условиями и малыми углами наклона пласта возможно применение поэтапного крепления, что позволит ускорить процесс проведения выемочной выработки и подготовки нового выемочного участка. Увеличение угла наклона негативно сказывается на скорости подвигания забоев. Например, на шахте имени «7 ноября» при больших углах наклона (до 17 градусов) скорость подвигания существенно ниже (около 6 метров в сутки), чем при меньших углах наклона (до 5 градусов) на других шахтах. Согласно шахтным наблюдениям, это связано с проскальзыванием гусениц комбайна в процессе выемки угля при проведении выработки по восстанию, а также с обильным накоплением воды в забое при проведении выработки по падению.

При всем этом, несмотря на использование типового оборудования, скорость подвигания проходческих забоев значительно различается на разных шахтах, что, помимо геологических условий, может быть связано с организацией труда на каждом отдельно взятом предприятии.

Помимо остального, необходимо регулярное повышение квалификации и обучение проходческих бригад с упором на освоение новых технологий и работы на современных высокопроизводительных комбайнах.

Таблица 2.3 – Горно-геологические и горнотехнические факторы на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

Шахта	Название выработки	Площадь поперечного сечения в проходке, м <sup>2</sup>	Коэффициент крепости	Проходческий комбайн	Плотность установки и анкеров в кровлю, шт./м <sup>2</sup>	Плотность установки и анкеров в борта, шт./м <sup>2</sup>	Угол наклона выработки, град	Подвижение за цикл, п.	Подвижение за сутки, п.	Подвижение в месяц, п.
Талдинская-Западная-2 пл.70	Вентиляционный штрек 7010	21,84	1	МВ-670	6	6	8	1	17	300
Талдинская-Западная-2 пл.70	Фланговый вент. Уклон	18,2	1	JOY 12 CM 30	7,5	7,5	9	0,8	13,6	300
Шахта №7 пл.52	Панельный штрек	16	1	КП-21	5	6	0-5	1	8	120
Шахта №7 пл.52	Путевой ствол	19,5	1	КП-21	7	4	7-14	1	8	120
Шахта №7 пл.52	Вентиляционный ствол	19,5	1	КП-21	7	4	7-14	1	8	120
Шахта №7 пл.52	Вентиляционный уклон	16,8	1	П-110	7	4	14-17	1	8	120
Шахта "Котинская" пл.52	Конвейерный штрек 5209	19,3	1,9	JOY 12 CM 30	6,7	9	0-5	0,9	12,7	120
Шахта "Котинская" пл.52	Конвейерный ствол	18,5	-	П-110	6,7	9	5-10	0,9	9	60
Шахта "Котинская" пл.52	Конвейерный штрек 5210	18,5	-	П-110	6,7	9	0-5	0,9	12,6	70
Шахта "Котинская" пл.52	Конвейерный квершлаг ФПП	18,5	-	П-110	5	6	5-10	0,9	3,6	70
Шахта им.7 Ноября	Конвейерный штрек 1378	16,8	1,9	КП-21	10	8	3-5	0,9	8	180
Шахта им.7 Ноября	Вентиляционный штрек 1380	16,8	1,9	КП-21	10	8	3-5	0,9	8	180
Шахта им.7 Ноября	Вентиляционный квершлаг	16,8	-	-	4	2	14	1	0,5	20
Шахта "Комсомолец" пл. Бреевский	Вентиляционный штрек 1733	14	1,5	КП-21	5	2	-	0,9	8,1	200
Шахта "Комсомолец" пл. Бреевский	Конвейерный штрек 1732	14	1,5	КП-21	5	2	-	0,9	8,1	200
Шахта "Комсомолец" пл. Бреевский	Вентиляционный штрек 1732	14	1,5	КП-21	5	3	-	0,9	8,1	200
Шахта "Комсомолец" пл. Бреевский	Вентиляционный штрек 1732	14	1,5	КП-21	5	3	-	0,9	8,1	200

Продолжение таблицы 2.3

Шахта	Название выработки	Площадь поперечного сечения в проходке, м <sup>2</sup>	Коэффициент крепости	Проходческий комбайн	Плотность установки анкеров в кровлю, шт./м <sup>2</sup>	Плотность установки анкеров в борта, шт./м <sup>2</sup>	Угол наклона выработок, град	Подвигание за цикл, п.	Подвигание за сутки, п.	Подвигание в месяц, п.
Шахта "Полысаевская"	Вентиляционный штрек 1747	12,5	1,5	КП-21	5	2,2	14-16	1	9	200
Красноярская	Путевой штрек 806	18,06	3,4	КП-21	5	6	2-4	0,9	9	190
Красноярская	Конвейерный штрек 804	14,7	3,4	КП-21	5	4	2-4	0,9	9	270
Шахта им. С.М. Кирова	Вентиляционная печь 2461	13,1	2	JOY 12SM-15	6	4	5-6	-	10,8	388
Шахта им. С.М. Кирова	Конвейерная печь 2461	16,1	2	МВ 30	6	4	5-6	-	15	400
Шахта им. С.М. Кирова	Вентиляционная печь 2595	14,6	2	КП-21	6	6	2-8	-	6	200
Шахта им. С.М. Кирова	Вентиляционная печь 2595	17,5	2	JOY 12SM-15	6	4	2-8	-	39	400
Шахта им. С.М. Кирова	Вентиляционная печь 2595	14,6	2	КП-21	6	4	2-8	-	6	200
Шахта им. С.М. Кирова	Вентиляционная печь 2595	14,6	2	JOY 12SM-15	6	4	0-5	-	10,8	388

На основе анализа вышеуказанных данных можно рекомендовать оптимизацию процесса проведения выработок путем подбора наиболее эффективного проходческого оборудования, а также внедрения современных научно-обоснованных способов крепления и управления состоянием горного массива, а также организацией производственных процессов для сокращения времени простоев, повышения коэффициента машинного времени проходческих комбайнов и увеличения общей скорости подготовки выемочных участков. Для этого необходимо выявить факторы, наиболее влияющие на скорость проведения выемочных выработок, что может быть выполнено при помощи многофакторного регрессионного анализа.

#### **2.4 Регрессионный анализ геологических и технологических факторов, влияющих на скорость проведения выемочных выработок**

Для выявления наиболее влияющих на процесс проведения подготовительных выработок геологических и технологических факторов был проведен многофакторный регрессионный анализ. Многофакторный регрессионный анализ предполагает изучение связи между тремя и более связанными между собой признаками [56]. Зависимой переменной была выбрана скорость подвигания проходческого забоя, а остальные факторы, такие как площадь поперечного сечения выработки, крепость угля или породы, количество установленных анкеров, применяемый для проведения выработки комбайн, угол наклона выработки, учитывались как контролируемые переменные. Данная информация была подготовлена на основе технологических схем проведения выемочных выработок на шахтах Кузбасса, сводная информация о которых представлена в таблице 2.3.

Поскольку уравнение регрессии решается на основе численных значений, все обозначения комбайнов были переведены в категориальные значения [23]. Недостающие в технологических схемах данные были получены путем интерполяции существующих данных. С целью корректного построения модели была найдена корреляция между исследуемыми признаками, чтобы исключить

влияние сильно коррелирующих признаков [37]. Коррелирующими признаками оказались плотность установки анкеров в кровлю и борта выработки, в следствие чего они были заменены значением общей плотности установки анкеров в выработке. Таким образом, представленный ранее в таблице 2.3 массив данных для регрессионного анализа был незначительно скорректирован.

По результатам предварительного анализа, наиболее влияющим фактором на скорость проведения выработки являлась крепость пород. Однако, крепость породы является геологическим фактором, на который повлиять невозможно. Вторым по степени важности фактором стала плотность установки анкеров, являющаяся технологическим фактором, в связи с чем была взята в работу для дальнейшего исследования. Также фактором, имеющим отрицательное значение на скорость подвигания выработки, оказался угол наклона выработки.

Далее была построена модель, где зависимой переменной являлась скорость проведения выработки, а ключевой независимой – плотность установки анкеров. Прочие переменные учитывались как контролируемые переменные. Данный подход позволил оценить зависимость скорости проходки выработки в зависимости от плотности установки анкеров, но с учетом прочих геологических и технологических факторов.

В линейной регрессии каждый коэффициент показывает, на сколько единиц изменится зависимая переменная при увеличении независимой переменной на единицу, при прочих равных условиях.

Уравнение линейной регрессии в общем виде (3) выглядит следующим образом:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n, \quad (3)$$

где

$Y$  – зависимая переменная (скорость проведения выработки)

$\beta_0$  - константа, показывающая значение  $Y$ , когда все независимые переменные равны нулю.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  - независимые переменные

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  - коэффициенты регрессии, показывающие влияние каждой независимой переменной на  $Y$

По результатам регрессионного анализа была получена следующая зависимость скорости проведения от плотности установки анкеров:

$$Y = \beta_1 * X = -15,9875 * 1 = -15,9875$$

Коэффициент  $\beta_1$  равен -15.9875. Таким образом, если плотность установки анкеров увеличивается на 1 единицу (шт./м<sup>2</sup>), это приводит к снижению скорости проведения выработки на 15,99 погонных метров в месяц.

Следует сразу же оговориться, что это математическая зависимость на основе загруженных в модель данных, а не действительная эмпирическая закономерность. Данная зависимость представлена на рисунке на рисунке 2.13

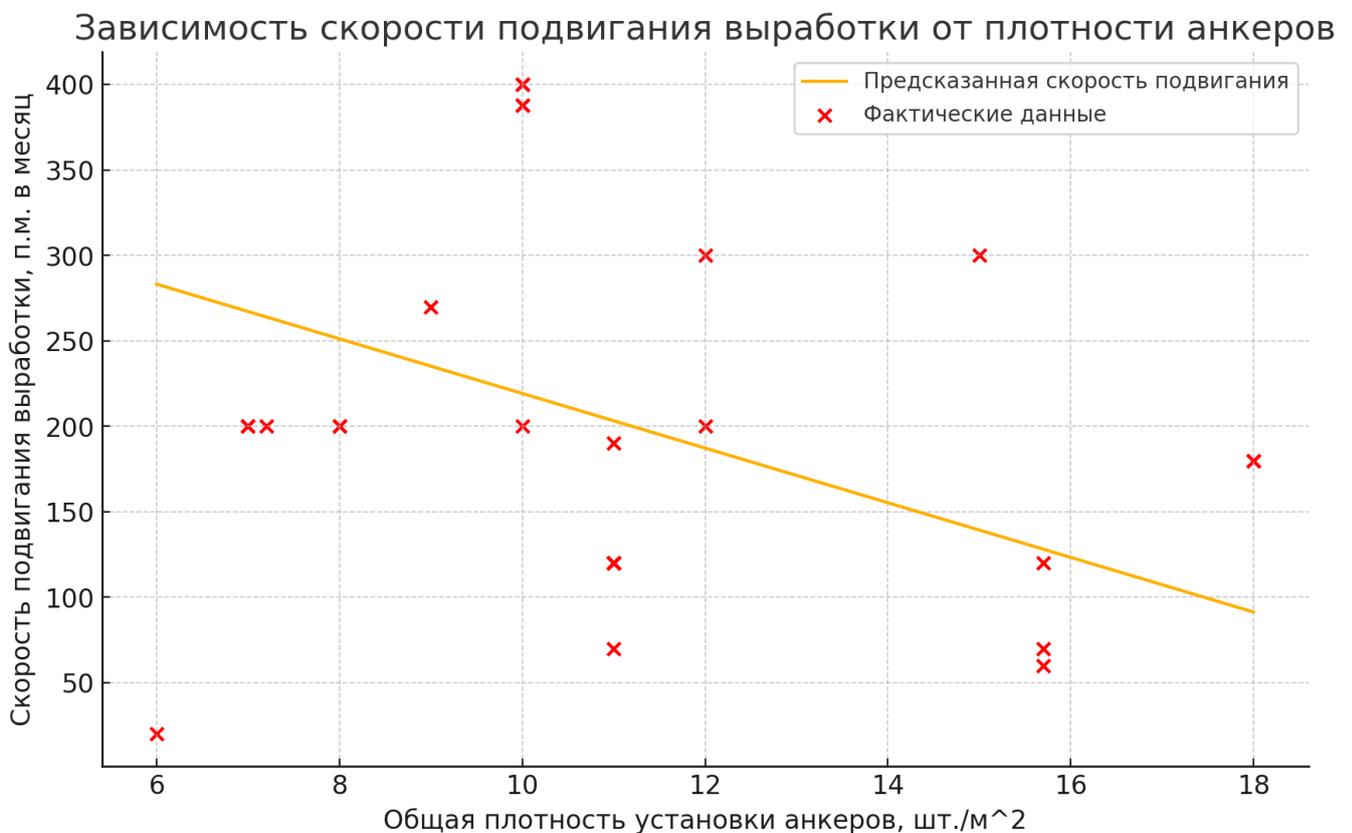


Рисунок 2.13 – Зависимость скорости подвигания выработки от плотности установки анкеров.

Линия на графике представляет собой предсказанную модель регрессии зависимость скорости подвигания выработки от плотности анкерного крепления при среднем значении других факторов. Точки на графике представляют собой фактические данные, использованные для построения модели.

Как видно из графика, статистически значимой зависимости выявлено не было, что говорит о влиянии на скорость проходки множества факторов, в том числе организационных, которые не были учтены в данном анализе. Регрессионный анализ следует продолжить при обеспечении больших скоростей, при более стандартизированной организации работ. Тем не менее полученные результаты, пусть и с низкой математической достоверностью, обладают достаточной сходимостью с шахтными наблюдениями и описанным в литературных источниках исследованиями, подтверждая, что плотность установки анкерной крепи оказывает значительное влияние на скорость проведения выемочной выработки.

Внедрение поэтапного анкерного крепления, с уменьшенной плотностью установки анкеров на первом этапе крепления, позволит снизить затрачиваемое на установку анкеров время, и, следовательно, снизит влияние данного фактора на среднюю скорость проведения выработки, увеличив тем самым коэффициент машинного времени проходческого комбайна с целью решения проблемы отставания скорости подготовительных работ от скорости очистных, для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ.

## **2.5 Выводы по главе**

1. Для обеспечения необходимых резервов времени на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» применяются способы скоростного проведения спаренных выработок с нахождением резервного проходческого и транспортного оборудования в забое, либо проведение спаренных выработок двумя комплектами проходческого оборудования. В остальных случаях, не требующих высоких скоростей, спаренные выработки проводят одним проходческим комбайном в связке с самоходным вагоном.

2. Наибольшей производительности и скорости подвигания проходческого забоя можно достичь при проведении спаренных выработок двумя комбайнами с параллельной выемкой и креплением породы, при полной комплектации проходческой бригады.

3. По результатам хронометражных наблюдений крепление выработки является наиболее затратной по времени операцией как на комбайнах избирательного, так и на комбайнах фронтального действия и составляет до половины всего времени проходческого цикла.

4. Проведенный многофакторный регрессионный анализ показал, что статистически значимой зависимости скорости проведения выработки от плотности установки анкеров выявлено не было, что говорит о значительном влиянии организационных факторов, которые не были учтены в данном анализе. В то же время, плотность установки анкеров напрямую влияет на долю операций крепления в общей продолжительности проходческого цикла.

5. При переходе на поэтапное крепление сокращается количество анкеров, устанавливаемых на первом этапе, что приводит к снижению времени, затрачиваемого на крепление, следовательно, к увеличению коэффициента машинного времени проходческого комбайна.

6. Для определения параметров поэтапного анкерного крепления необходимо проведение исследований устойчивости выемочных выработок при проходке.

## **ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЭТАПНОГО АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ**

### **3.1 Выбор метода исследований**

Для исследования НДС выработок при их поэтапном креплении в работе предусмотрено физическое моделирование на моделях из эквивалентных материалов. Физическое моделирование позволяет наглядно визуализировать моделируемый процесс, с возможностью проверки достоверности полученных результатов путем их сравнения с шахтными наблюдениями [85]. Данный вид моделирования позволяет увидеть характер и процесс разрушения пород, расслаивание породных слоев и их смещение по поверхностям ослабления. В случае моделирования анкерного крепления это позволит произвести качественную оценку работы крепи.

Традиционные методы физического моделирования геомеханических процессов основаны на теории подобия и размерности [52,33]. Они заключаются в создании моделей, которые в точности отражают структуру и физико-механические свойства горного массива, и процессы его добычи на определенной глубине, при этом учитывая не только геометрию, но и механические характеристики [39]. При правильном подборе материала, модели из эквивалентных материалов ведут себя аналогично воспроизводимому горному массиву, что и позволяет переносить результаты с модели на натуру. Таким образом можно определить параметры напряжений в массиве, а также получить полноценное представление о процессах смещения и разрушения пород на различных глубинах [34,53,44].

Применение принципа подобия, являющегося в данном случае основополагающим, требует соблюдения соответствия геометрических форм и размеров, а также прочностных, деформационных характеристик вмещающих пород.

Для воспроизведения физико-механических свойств и структуры породного массива необходим подбор эквивалентных материалов с учетом основных фактов, определяющих физическую суть данного процесса. При моделировании интересующих нас процессов разрушения пород и образования поверхностей ослабления, основным критерием являлось прочностное подобие.

Физико-механические свойства эквивалентных материалов определяются свойствами составляющих его компонентов: наполнителя  $C_n$ , связующего  $C_s$  и контактных условий между ними [57].

Исходя из формул подобия, предложенных Г.Н. Кузнецовым, задается номинальная нагрузка, соответствующая весу вышележающих пород на определенной глубине над моделируемым объектом [52,36].

В процессе изготовления модели, в ней устанавливаются микродинамометры и тензоскобы. Микродинамометры представляют собой чувствительные элементы давления, покрытые специальным упругим компаундом и мембраной. Модуль упругости компаунда соответствует основным типам ЭМ, за счет чего датчик работает вместе с массивом [35]. Тензоскобы представляют собой подпружиненные стальные ленты с наклеенными эпоксидным составом тензорезисторы на сжимающейся и растягивающейся частях.

Датчики подключаются к многоканальной информационно-измерительной системе с дифференцированным входом. Подающееся на датчики напряжение при нагрузке или деформации вызывает изменение сопротивления в чувствительных элементах, которое по изменению напряжения на входе фиксируется в реальном времени. Для корректной работы до или после испытания датчики подлежат тарировке, когда, создавая стандартную ступенчатую нагрузку или заданную деформацию, определяют зависимость изменения выходного сигнала датчика, вызванное соответствующим изменением нагрузки или деформации. В последующем, экстраполируя данную зависимость по выходному сигналу при испытании, находят действующие величины нагрузки или деформации.

Численные исследования НДС в бортах выработки выполнялись методом конечных элементов. Данный метод подразумевает деление области на

совокупность элементов, объединенных общими узлами. Далее, происходит выбор полиномиальной функции, которая определяет смещения в каждой точке конечного элемента по смещению его узлов. Данные функции однозначно определяют деформации каждого элемента по заданным деформационным характеристикам напряженного состояния в каждом конечном элементе. Подобные исследования, при достаточной степени достоверности, позволяют оценить состояние выработки и величину возникающих в окружающей ее зоне напряжений [100,114].

### 3.2 Разработка модели и построение расчетной схемы

Поскольку действующая нормативная документация, а именно Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» [78] не предусматривают в своей структуре возможность частичного закрепления выработки, необходимого для поэтапного крепления, требуя полного ее закрепления лишь с незначительным отставанием от забоя, в зависимости от устойчивости кровли, были проведены следующие исследования по обоснованию возможности применения поэтапного анкерного крепления на угольных шахтах.

Согласно гипотезе образования несущей конструкции из окружающих выработку грунтов, описанной во всесоюзных нормах проектирования и производства работ при креплении выработок ВСН-12-90 «Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов» [14] была адаптирована методика расчета и построения зоны влияния анкеров, с последующим их расположением в кровле выработки таким образом, чтобы пересекающиеся зоны влияния анкеров образовывали несущую породную балку. Ключевыми параметрами в данной методике является длина анкеров и расстояние между ними.

Расчет производился по следующим формулам (4-8):

$$\alpha = \frac{1}{\mu} \left( l_a - 1,04B \sqrt{\frac{q}{\sigma_p}} \right), \quad (4)$$

где

$\alpha$  – межанкерное расстояние;

$\mu$  – коэффициент трения;

$l_a$  – длина анкера;

$B$  – ширина выработки;

$q$  – распределенная нагрузка;

$\sigma_p$  – предел прочности породы на растяжение.

$$\mu = \left( \frac{1}{2} + \frac{la}{B} \right) ctg \Theta \quad - \text{коэффициент трения} \quad (5)$$

$$q = \frac{[B + 2Htg(\varphi - \frac{\pi}{4})] \gamma}{2f}, \quad (6)$$

где

$\varphi$  – угол внутреннего трения

$\gamma$  – объемный вес вышележащих пород

$f$  – коэффициент крепости пород по шкале Протоdjяконова

$$\Theta = arctg \sqrt{2\lambda} \quad - \text{угол влияния анкера} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{\nu}{1-\nu} \quad - \text{коэффициент Пуассона} \quad (8)$$

В шахтных условиях технология крепления кровли осуществляется следующим образом: пробуривается шпур, в который затем вставляется 2 ампулы: быстрого и медленного затвердевания. Затем, при помощи анкероустановщика поднимается анкер и вводится в шпур, причем при входе анкерного болта в устье шпура производится включение анкероустановщика на вращение и начинается быстрая подача анкера в шпур. Для обеспечения затвердевания ампул выдерживается время вращения и ожидания их схватывания. Крепление начинают с центральной части кровли выработки с дальнейшей установкой остальных анкеров по направлению от центра к бортам выработки согласно паспорту крепления.

Поскольку в масштабе модели не представляется в точности повторить технологию установки анкеров, в виду особенности слоевой закатки модели, было

принято решение устанавливать анкера в момент создания модели. Таким образом, можно заключить, что в моделируемых условиях выработка была закреплена сразу же при проходке.

Главным критерием анкерного крепления при создании модели было обеспечение связности слоев между собой, тем самым позволяя увеличить их жесткость и не допустить их расслоения.

На ряде пробных моделей попытки воссоздать полимерные вязущие не увенчались успехом, в виду сложного химического строения твердеющих ампул и структуры эквивалентных материалов. Полученные полимеры были либо слишком текучими и по своей площади контакта вокруг шпура сильно превышали натурные образцы, либо наоборот, были слишком вязкими и не могли быть равномерно распределены по всей поверхности анкера. В этой связи было принято решение производить установку анкеров в процессе закатки модели.

За основу моделируемой выработки взяты условия проведения конвейерного штрека 5007, пройденного по 50 пласту шахты им. «В.Д. Ялевского» на глубине 450 метров. Мощность угольного пласта в среднем составляет 3,69-4,16 метра, прочность угля на одноосное сжатие 10 МПа. Кровля сложена из алевролитов и песчаников со средней прочностью на одноосное сжатие от 30 до 70 МПа. Коэффициент структурного ослабления массива  $K_c = 0,6$ . Геометрические размеры выработки составляют 4 x 5,2 м (рисунок 3.1). Согласно паспорту крепления выработка закреплена 6 анкерами А20В, длиной 2,75 метра в кровлю и 3 анкерами А20В, длиной 1,8 метра в каждый борт выработки [43].

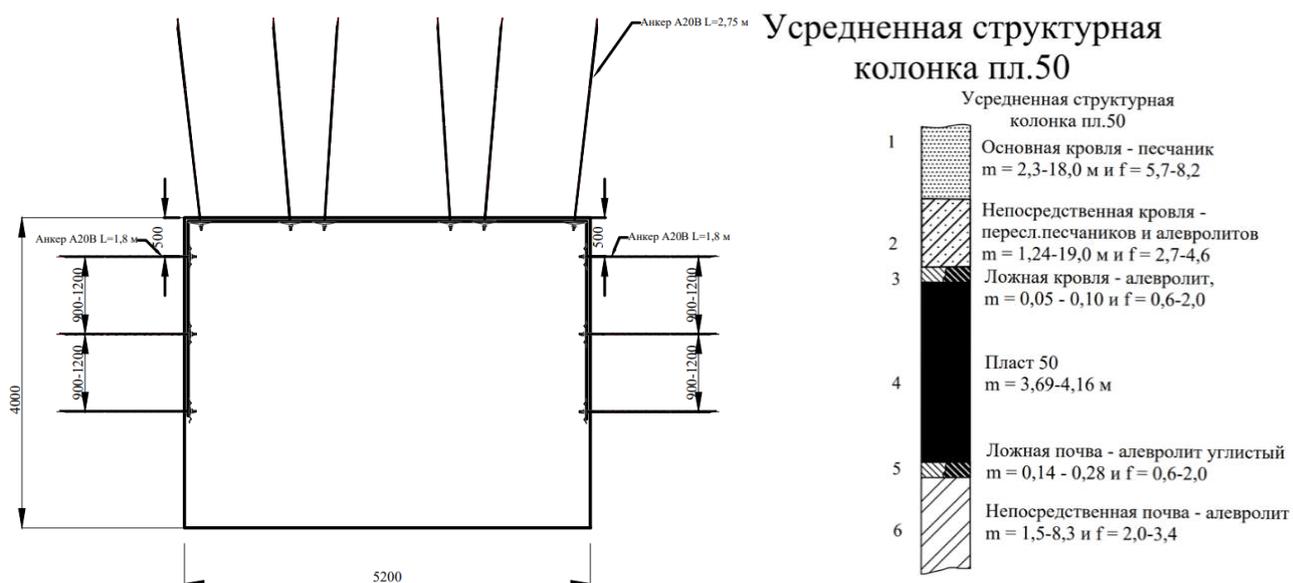


Рисунок 3.1 – Слева – моделируемая выработка в натуре; Справа – структурная колонка по 50 пласту

Таблица 3.1 – Свойства эквивалентных материалов, используемых в модели

Порода	$R_{сж}$ в натуре, МПа	$R_{сж}$ в модели, кг/см <sup>2</sup>	Содержание связующего $C_s$ , %
Уголь	8	1	ДЭГ-1, 0,85
Алевролит углистый	11	1,38	ДЭГ-1, 0,9
Переслаивание алевролитов и песчаников	35	4,38	ЭД-20, 0,8
Песчаник	50	6,25	ЭД-20, 0,9

Подставляя в формулу (4) свойства пород с шахты им. «В.Д. Ялевского», представленные в таблице 3.1, были получены следующие результаты:

Максимальное межанкерное расстояние - 1,57 м.

Угол влияния анкера - 35°

На основе данных расчетов геометрически построены зоны влияния анкеров и подобрано такое их расположение, чтобы при пересечении зон влияния анкеров формировалась породная балка при уменьшенном количестве анкеров с целью обеспечения устойчивости кровли (рисунок 3.2).

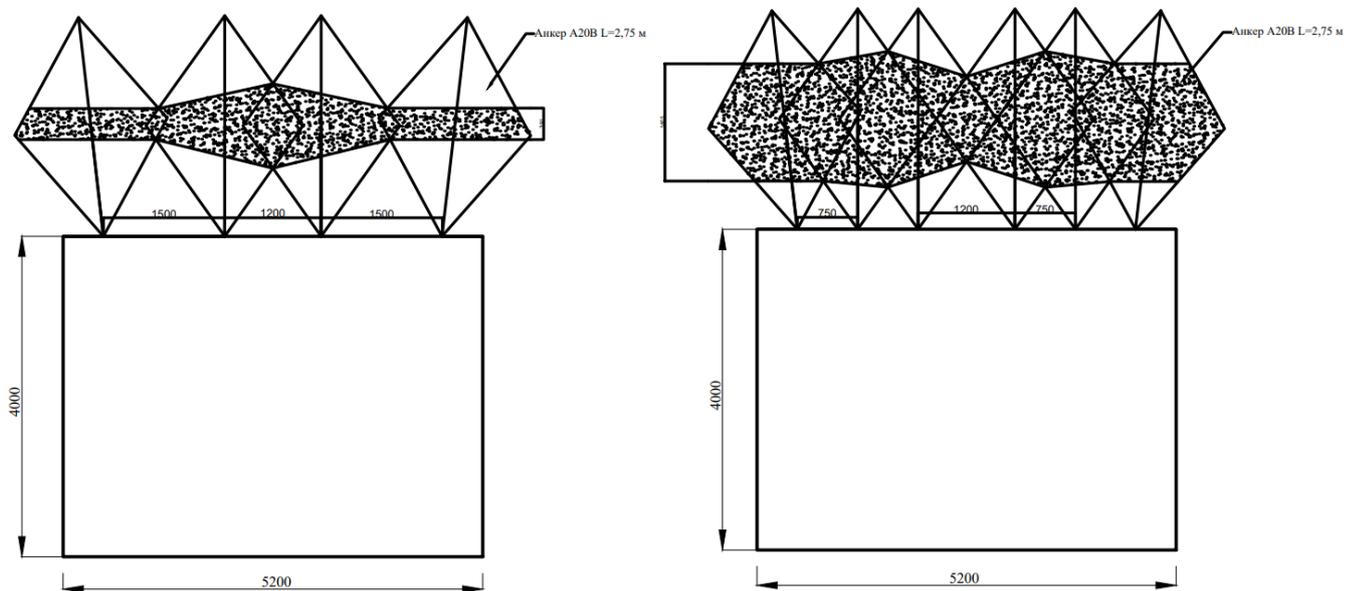


Рисунок 3.2 – Зоны влияния анкеров

Слева – 4 анкера на первом этапе крепления; Справа – 6 анкеров на втором этапе крепления

Таким образом, первый этап крепления обеспечивает формирование породной балки мощностью не менее 391 мм. в краевых частях выработки, а на втором этапе – 1465 мм в центральной части.

Таким образом, в условиях проведения конвейерного штрека 5007 при поэтапном анкерном креплении на первом этапе формируется несущая балка мощностью не менее 391 мм., а на втором – 1465 мм.

Далее была проведена проверка по формуле сопротивления балки на изгиб (9):

$$f = \frac{5ql^4}{384EJ_x}, \quad (9)$$

где

$f$  – максимальный изгиб породной балки;

$q$  – распределенная нагрузка;

$l$  – длина анкера;

$E$  – модуль упругости;

$J_x$  – момент инерции.

Согласно полученным результатам, максимальный прогиб балки в полностью закрепленной кровле выработки не должен превышать 1 мм, а частично закрепленной кровле выработки 49 мм., что соответствует смещению кровли при низкой интенсивности горного давления. По результатам нескольких расчетов была разработана следующая схема расположения анкеров, представленная на рисунке 3.3.

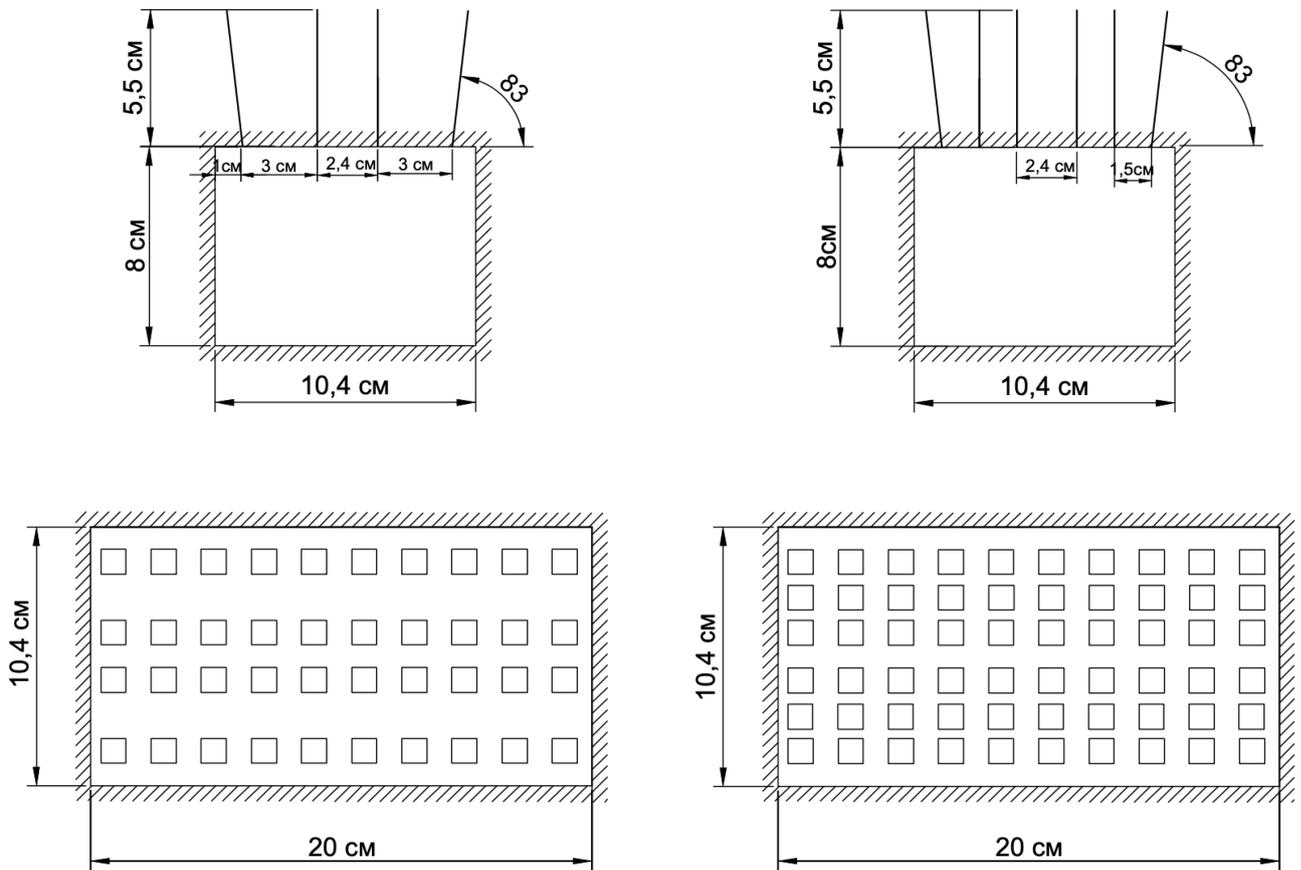


Рисунок 3.3 – Схема расположения анкеров в модели  
слева – модель с 4 анкерами, справа – модель с 6 анкерами

### 3.3 Моделирование анкерного крепления выемочной выработки

Для достижения подобия между моделью и реальной выработкой необходимо обеспечить совпадение основных параметров и факторов: геометрические размеры выработки, физические свойства вмещающих пород и действующие в массиве напряжения.

Условия проведения штрека 5007, описанного ранее, были воссозданы в масштабе 1:50 с размерами выработки 8 x 10,4 см. Угольный пласт и вмещающие породы заданы эквивалентными материалами, состоящими из наполнителя в виде кварцевого песка марки ЗК1О103 [16] и связующих смесей на основе смол ДЭГ-1 и ЭД-20 [31,32]. Зоны контакта между слоями были просыпаны слюдой, с целью имитации слоистого строения массива.

Итоговая схема экспериментального стенда и его размеры представлена на рисунке 3.4

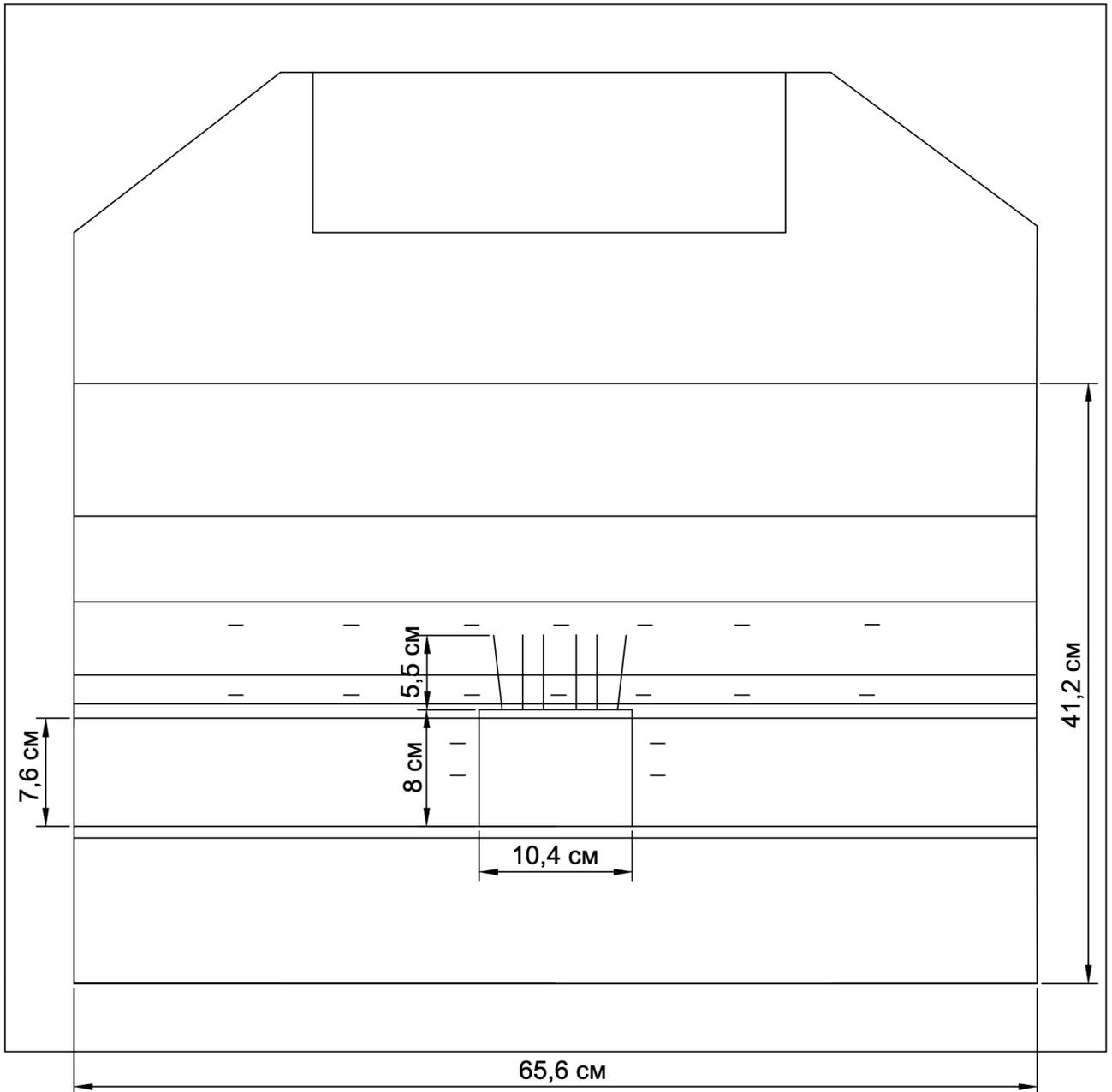


Рисунок 3.4 – Схема экспериментального стенда с разметкой породных слоев

Для сопоставления результатов эксперимента, к отработке было построено 3 модели выработки: закрепленная анкерной крепью согласно проведенным авторами расчетам; закрепленная с уменьшенным количеством анкеров, согласно проведенным авторами расчетам; незакрепленная выработка, относительно которой произведены замеры смещений контура выработки и возникающих вокруг нее напряжений.

Для измерения возникающих напряжений в модели, по периметру выработки и в слоях кровли с различными свойствами были размещены микродинамометры МДГ-3. Схема их расположения представлена на рисунке 3.5

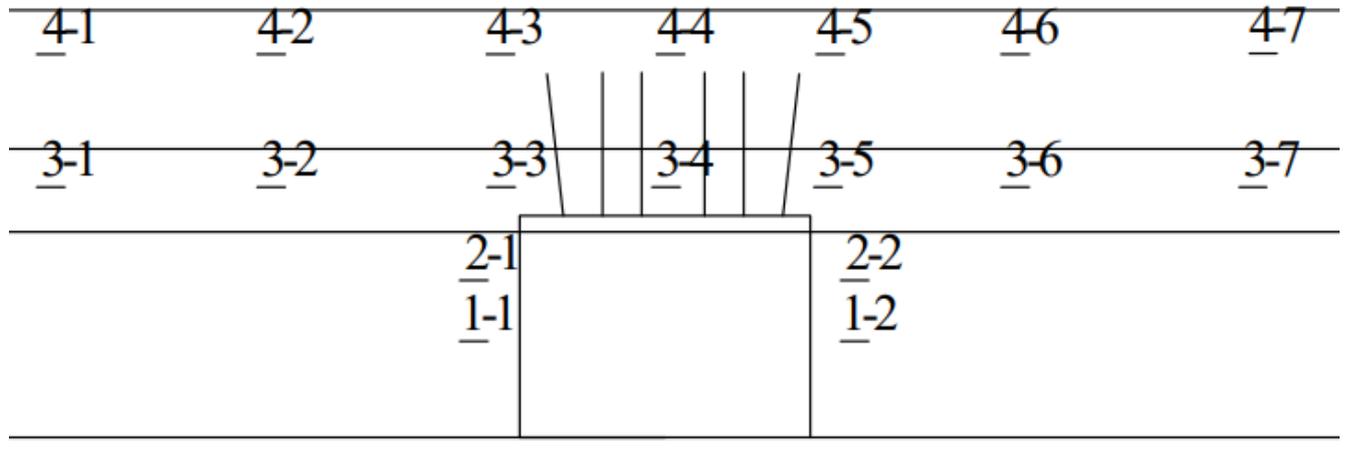


Рисунок 3.5 – Схема расположения микродинамометров МДГ-3 относительно проводимой выработки

В самой выработке располагались тензометрические скобы в вертикальной и горизонтальной ориентации. Данные о нагрузке на модель, показания микродинамометров, сигнал с тензометрических скоб собирались и обрабатывались информационно-измерительной системой на базе крейта LTR-EU-16 с тензометрическими модулями LTR-212. Отслеживать показания датчиков в режиме реального времени и контролировать режим нагружения по тензобалке позволило специализированное программное обеспечение AC Test Pro.

Тензометрические скобы, в виду контактного условия расположения, выполняли роль поддержки и, в случае обрушения ложной кровли непосредственно на контакте скобы с кровлей, оставался необрушенный, поддерживаемый скобой

участок кровли, размером с пятно контакта скобы, не позволяя в полной мере оценить величину смещений контура выработки внутри модели. По этой причине данные с тензометрических скоб были исключены из последующего анализа.

Для регистрации смещений в модели и вокруг выработки модель была оснащена реперными марками типа «квадрант» (рисунок 3.6), а для определения величины их смещений проводилась фотофиксация при помощи камеры Hasselblad H5D-200MS (рисунок 3.7) с программным обеспечением ТЕМА Motion 2D. Полученные кадры имели разрешение от 50 до 200 мегапикселей, что позволило оценить смещения пород с погрешностью от 0,24 до 0,06 мм. Дальнейшая обработка полученных данных осуществлялась средствами MS Excel, а визуализация результатов выполнялось в ПО для работы с геоинформационными системами Surfer.

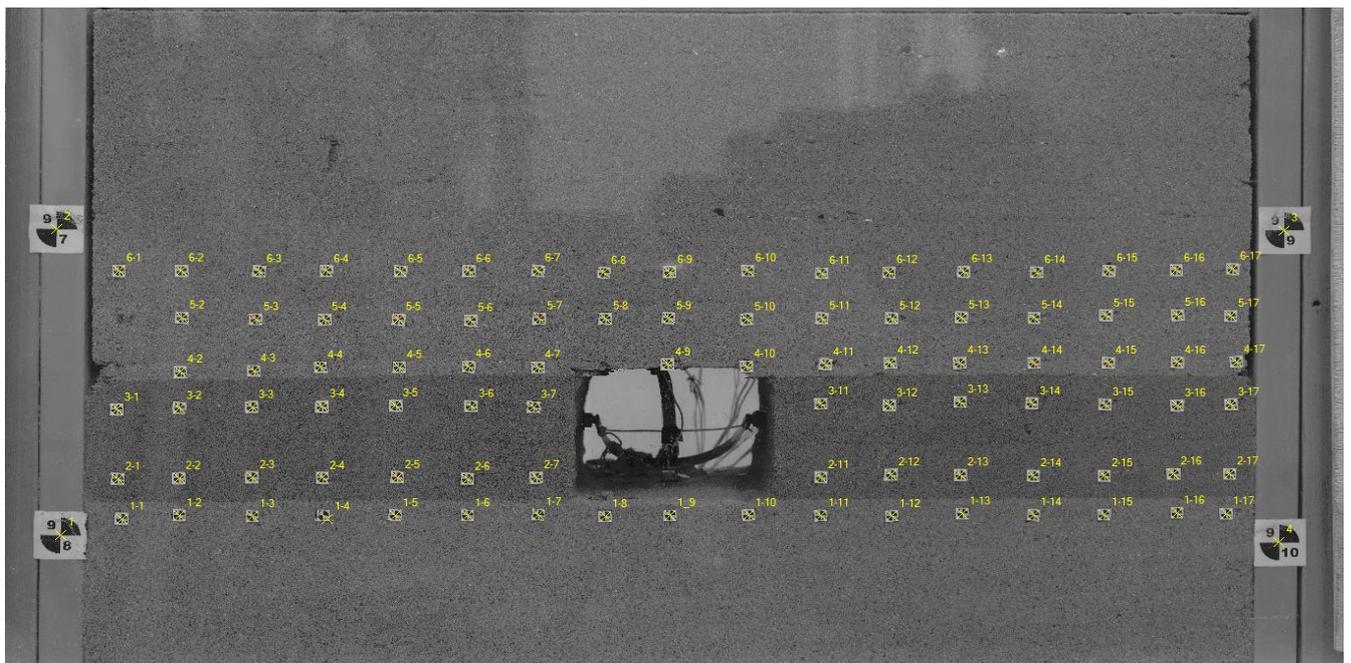


Рисунок 3.6 – Модель незакрепленной выработки, оснащенной реперными марками

При учете номинальной нагрузки учитывается глубина расположения выработки, и уровень напряжений, соответствующий  $\gamma H$ , где  $\gamma$  – объемный вес пород;  $H$  – глубина расположения выработки [59]. При отработке модели эквивалентной глубине расположения выработки являлась нагрузка в 600 килограмм, реализуемая при помощи прессы и нагружающей балки [59]. После

достижения данной нагрузки, через специальный шаблон, производились операции по проходке выработки в модели. Поскольку массив пород имеет не керновую прочность, а ослаблен горными работами и другими факторами, усиливающими природную трещиноватость угля, следовало учесть коэффициент структурного ослабления массива  $K_c$ . Коэффициент структурного ослабления  $K_c = 0,6$  воспроизводился путем увеличения нагрузки на модель за счет ее увеличения до 40% относительно номинальной, исходя из соотношения (10):

$$\frac{\gamma H}{R_{\text{сж нат}}} = \frac{P}{R_{\text{сж мод}}}, \quad (10)$$

где

$\gamma$  – объемный вес вышележащих пород;

$H$  – глубина расположения выработки;

$R_{\text{сж нат}}$  – предел прочности на одноосное сжатие в натуре;

$P$  – величина нагрузки в модели;

$R_{\text{сж мод}}$  – предел прочности на одноосное сжатие в модели.

Соответственно, нагрузка с учетом коэффициента структурного ослабления массива  $K_c = 0,6$  составила 840 кг. В дальнейшем, нагрузка ступенчато увеличивалась до полного разрушения модели, с целью оценки характера разрушения выработки [89].

Таким образом была построена первая модель без анкеров. Следует отметить, что при проведении незакрепленной выработки обрушение ложной кровли произошло практически сразу после проведения выработки и не было зафиксировано на камеру в качестве относительной (начальной) координаты.

Общий вид стенда и применяемого оборудования представлена на Рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Экспериментальный стенд и применяемое оборудование

Для изготовления анкеров (рисунок 3.8) была взята 4 мм низкоуглеродистая стальная проволока, согласно ГОСТ 3282-74 [17] имеющая прочность на растяжение 340-540 н/мм<sup>2</sup>, что в масштабе превышает действительное сопротивление анкерной крепи в 76 кН/м<sup>2</sup>. Таким образом, при построении модели было сделано допущение, что моделируемые анкера не будут подвержены разрыву. Данный выбор был обусловлен масштабом модели. Размер анкеров в масштабе составил 5,5 см. На обоих концах была нарезана резьба для дальнейшего навинчивания гаек с целью скрепления породных слоев в единую породную конструкцию. Влияние бортовых анкеров, в виду трудоемкости их установки в данной модели, не рассматривалось.



Рисунок 3.8 – Изготовленные анкера

Модель с анкерами изготавливалась следующим образом: модель закатывалась до нижней отметки установки анкеров как обычно, далее же, по специально изготовленному шаблону велась установка анкерных рядов, после чего производилась дальнейшая укатка и снятие шаблона. Затем, на верхнюю часть анкеров устанавливались шайбы и накручивались гайки. После набора ЭМ своей прочности, установленные анкера позволили обеспечить сцепление породных слоев в кровле. Процесс установки анкеров в модели показан на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 – Процесс установки анкеров

Таким образом были изготовлены для сравнения 3 модели: выработка, закрепленная в кровлю, согласно гипотезе образования в кровле несущей балки 4 и 6 анкерами; а также незакрепленная выработка для сопоставления результатов.

### 3.4 Анализ результатов физического моделирования

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 3.10.

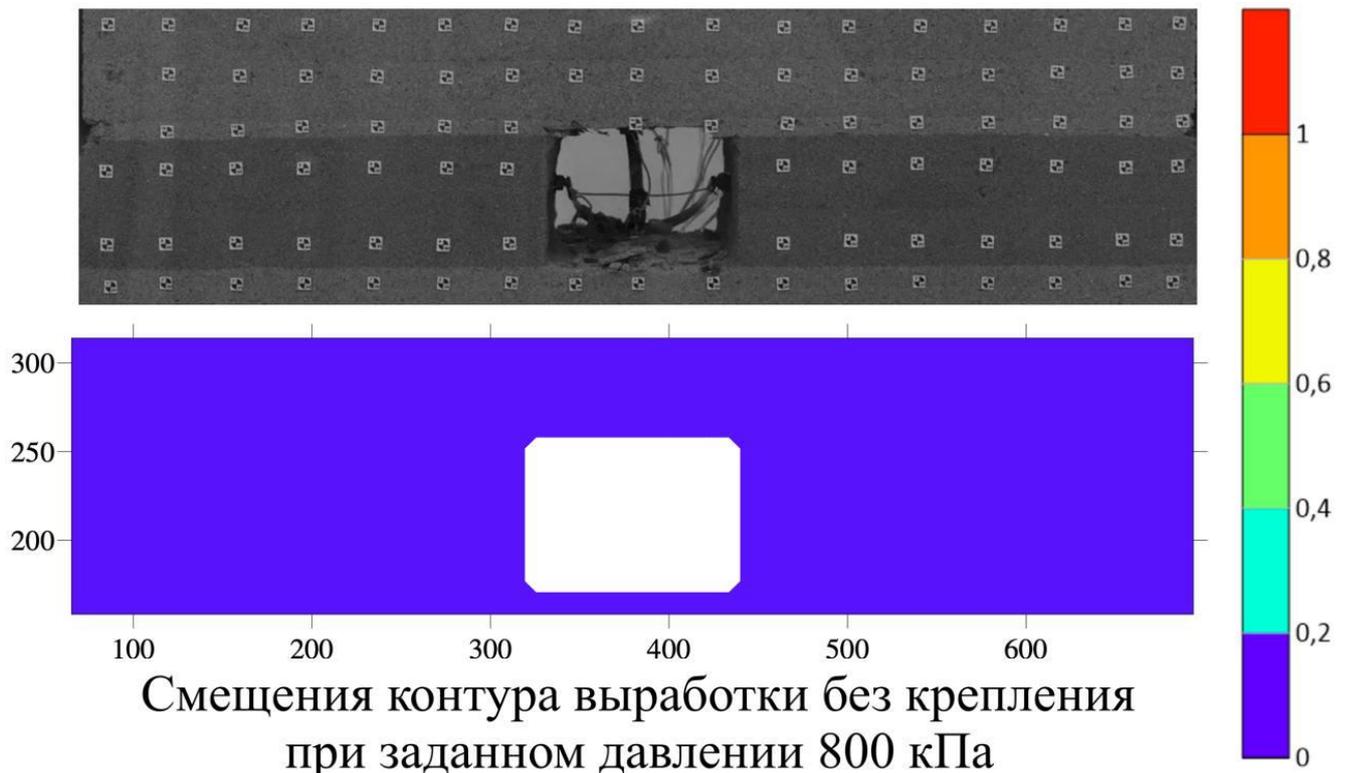


Рисунок 3.10 – Смещения контура выработки без крепления при заданном давлении 800 кПа

Разрушение модели с частично закрепленной кровлей произошло при давлении 89,7 кПа, что в 1,5 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 рисунках 3.11 и 3.12.

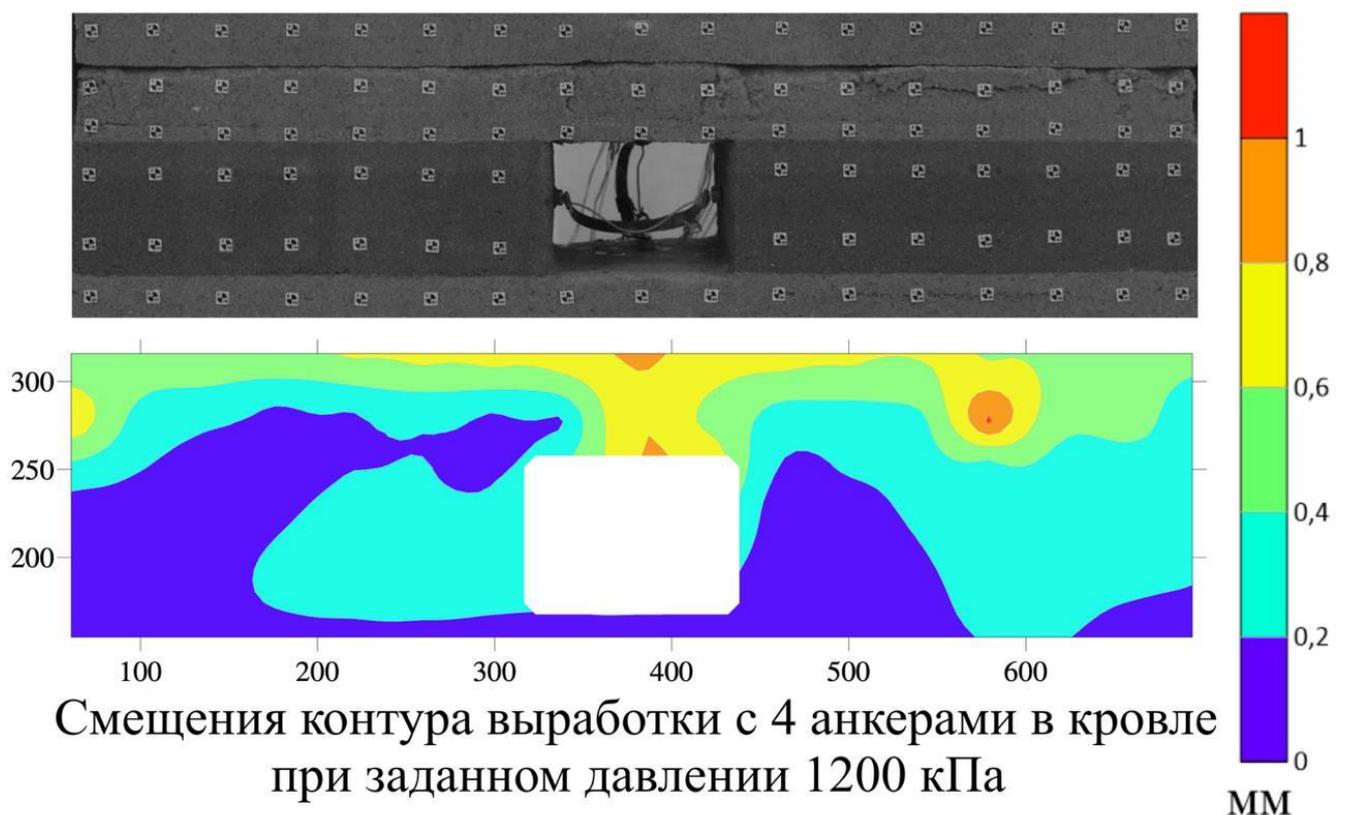


Рисунок 3.11 – Смещения контура выработки с 4 анкерами в кровле при заданном давлении 1200 кПа

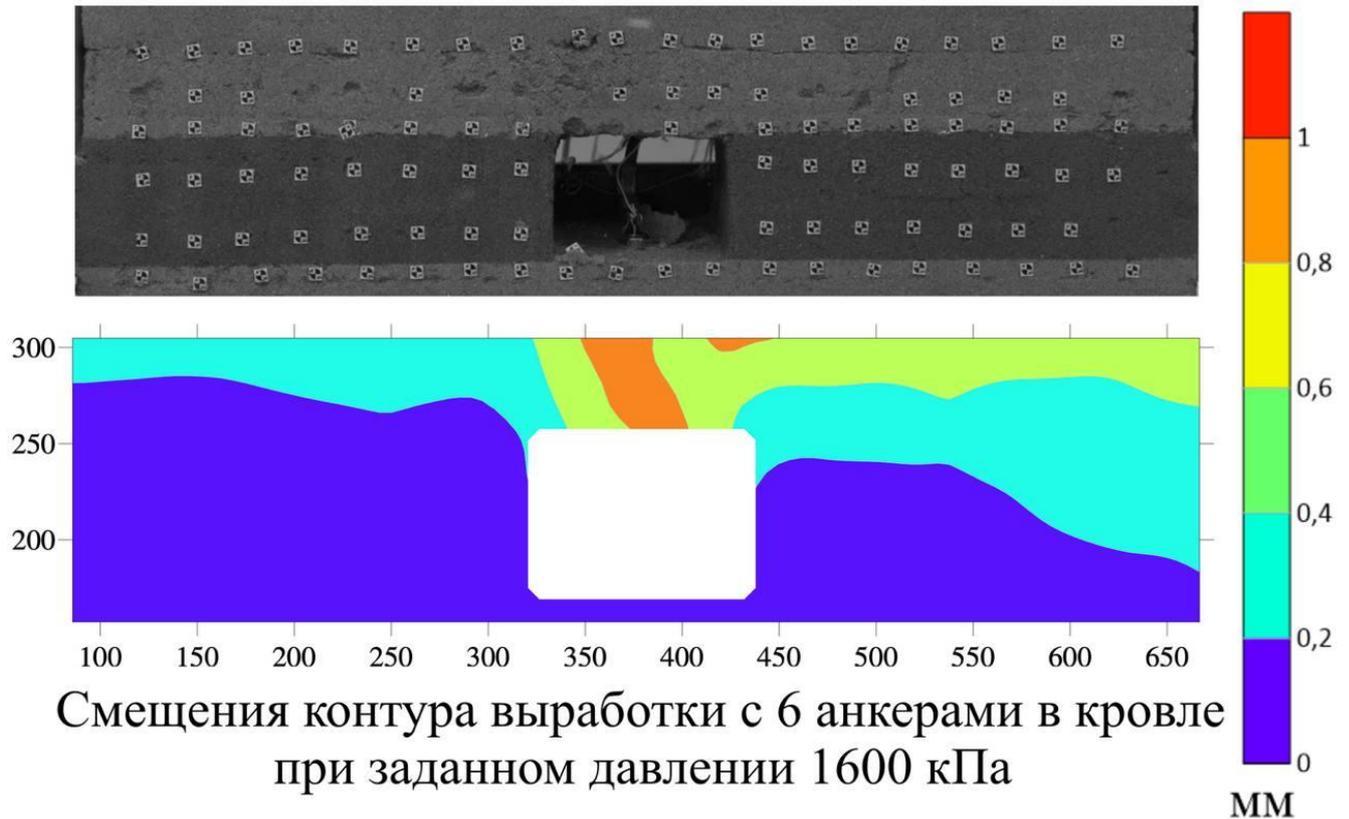


Рисунок 3.12 – Смещения контура выработки с 6 анкерами в кровле при заданном давлении 1600 кПа

Для определения характера разрушения, нагрузка ступенчато увеличивалась для получения критических параметров деформирования выработки, с целью оценки характера и последовательности разрушения той или иной модели. Описанные выше результаты по смещениям останавливаются на зафиксированном моменте начального разрушения модели, когда происходило расслоение и обрушение слоев в кровле.

При сопоставлении результатов отработки трех моделей была получена следующая зависимость смещений кровли от параметров анкерного крепления, прочности кровли и напряжений массиве. Зависимость представлена на рисунке 3.13.

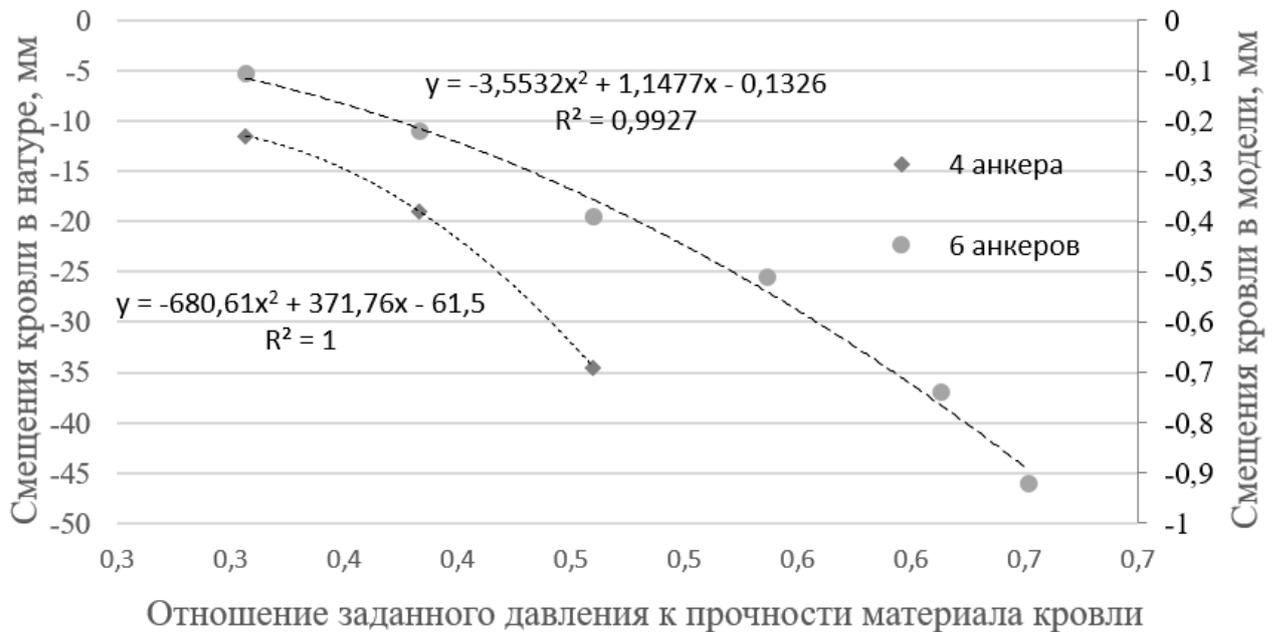


Рисунок 3.13 – Зависимость смещения кровли выработки от параметров анкерного крепления, действующих напряжений и крепости пород кровли

Таким образом, обеспечить устойчивость выработки при ее нахождении вне зон повышенного горного давления возможно при ее закреплении уменьшенным количеством анкеров, однако, в зонах повышенного горного давления частичного закрепления выработки может быть недостаточно.

Характер деформирования модели с незакрепленной кровлей отличается, от характера деформирования моделей с закрепленной кровлей тем, что при закрепленной кровле формируются повышенные напряжения в бортах выработки.

В выработках с закрепленной кровлей вертикальные смещения ограничиваются сопротивлением анкерной крепи, что, в свою очередь приводит к перераспределению напряжений и пригрузке бортов, где возможно формирование зон предельного состояния угля. Это обуславливает необходимость их крепления на первом этапе.

Для исследования зон предельного состояния угля в борту выработки и обоснования параметров крепления бортов выработки были выполнены численные исследования устойчивости бортов выемочной выработки.

### 3.5 Численные исследования устойчивости бортов выемочной выработки

Наиболее сложными условиями поддержания выработок характеризуется последний период существования выработки, после которого она погашается. Повышенные напряжения в бортах выработки, показанные в прошлом разделе, приводят к формированию зоны предельного состояния пород в борту выработки. В дальнейшем, в результате воздействия опорного давления, которое в 2-3 раза превышает уровень геостатических напряжений в массиве горных пород, и последующего влияния и наложения зон опорного давления зона предельного состояния развивается в глубь массива. Учет параметров этой зоны является необходимым условием для правильного выбора длины и плотности установки анкеров в борта выработки [43].

Выполненный анализ методических оснований Приложения №3 «Расчет параметров крепи для бортов выработок и сопряжений» к инструкции по анкерному креплению на угольных шахтах показал, что необходимость установки анкерной крепи в бортах горной выработки определяется степенью относительной вмещающих ее напряженности пород и пласта (11) [69,78]:

$$\delta_{\sigma} = \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_0 \gamma H}{R_{сб}}, \quad (11)$$

где

$\gamma$  - средний объемный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;

$H$  - глубина расположения горной выработки, м;

$R_{сб}$ - расчетное сопротивление на сжатие пород в бортах выработки, МПа;

$\kappa_1$ - коэффициент концентрации напряжений в бортах от проходки горных выработок и сопряжений;

$\kappa_2$  - коэффициент увеличения напряжений в бортах горных выработок и сопряжений от других горных выработок.

Инструкция по анкерному креплению [78] 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 равной 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, что предопределяет необходимость проведения специальных исследований [43,69,106,97,110].

Для оценки достоверности определения длины анкеров, устанавливаемых в борта выработки, выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород и размеров зоны предельного состояния угля в борту выработки [69].

Исследования проводились для следующих условий. Выработку шириной 5,2 м и высотой  $h = 4$  м проводят на глубине 450 м в условиях залегания в борту выработки угля с прочностью на одноосное сжатие  $R_6 = 10$  МПа с учетом коэффициента структурного ослабления массива  $K_c = 0,6$ . Максимальный уровень напряжений в пласте и породах в бортах для рассматриваемых условий может быть определен как (12):

$$\sigma_{\max} = K\gamma H, \quad (12)$$

где

$K$  – коэффициент концентрации напряжений в зоне влияния очистного забоя;

$\gamma$  – объемный вес вышележающих горных пород,  $25000 \text{ Н/м}^3$ ;

$H$  – глубина ведения горных работ, м.

Для рассматриваемых условий он будет равен:

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot 25000 \cdot 450 = 22,5 \text{ МПа}$$

Данные исследования позволили оценить как распределение напряжений в плоскости пласта (рисунок 3.14), так размеры зоны предельного состояния формирующейся в бортах выработки, как в период ее проведения (рисунок 3.15), так и в зоне влияния очистных работ (рисунок 3.16) [43].

Рисунок 3.14 позволяет оценить изменение уровня напряжений в окрестностях выемочных выработок на различных этапах их поддержания.

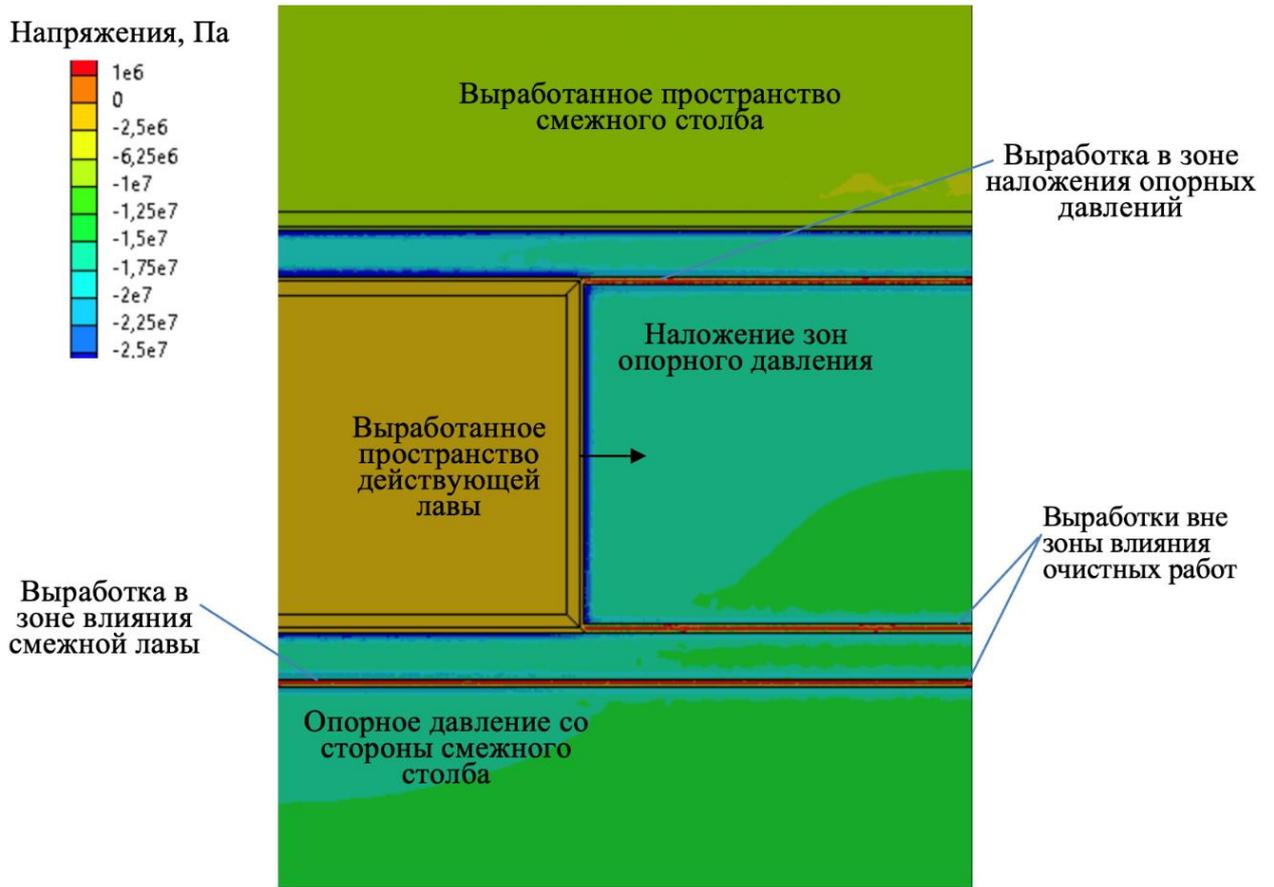


Рисунок 3.14 – Распределение вертикальных напряжений в плоскости пласта

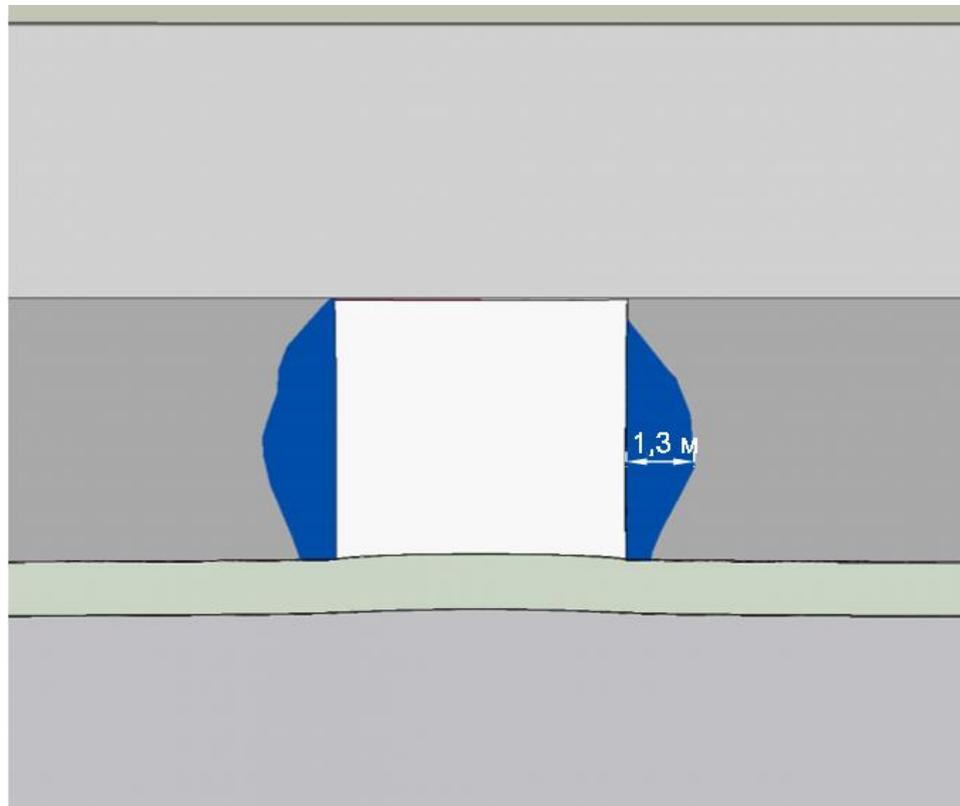


Рисунок 3.15 – Зоны предельного состояния угля в борту выработки в период ее проведения

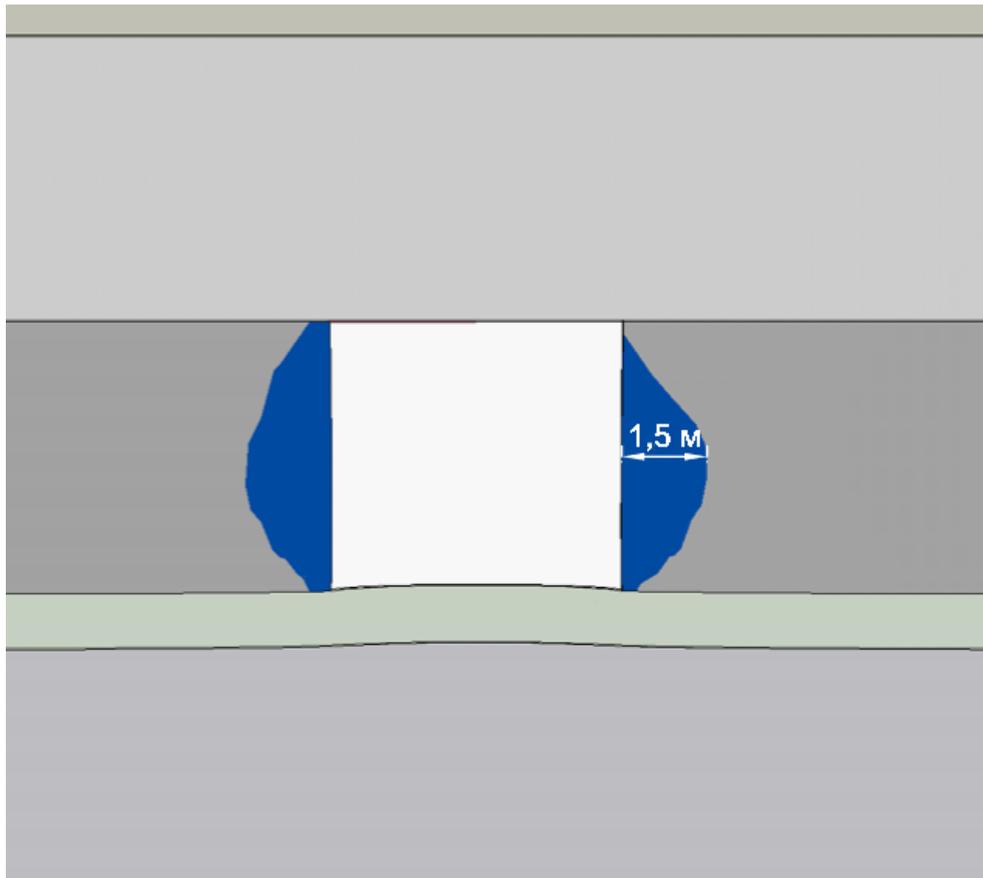


Рисунок 3.16 – Зоны предельного состояния угля в борту выработки в зоне опорного давления лавы

По результатам численного моделирования, на этапе проходки ширина зоны предельного состояния в борту выработки  $a = 1,3$  м, а в зоне опорного давления лавы  $a = 1,5$  м. С учетом максимальной ширины зоны предельного состояния угля в борту выработки равной 1,5 м, а также части анкера закрепленной за пределами зоны предельного состояния угля в борту выработки равной 0,5 м. и части анкера, выпирающей в выработку равной 0,2 м. необходимая длина анкера составит:  $1,5 + 0,5 + 0,2 = 2,2$  м. [43,69].

Резюмируя, можно сказать, что методические подходы к определению параметров анкерной крепи, изложенные в действующих нормативных документах не позволяют прогнозировать напряженно-деформированное состояние бортов выемочных выработок. В тоже время оценка зон предельного состояния, формирующих и развивающих в бортах выработки на различных этапах ее проведения, может быть успешно осуществлена с использованием метода конечных элементов [43].

### 3.6 Выводы по главе

1. Исследования показали возможность перехода на поэтапное анкерное крепление выработок в условиях шахт Кузбасса при отработке пологих угольных пластов.
2. Уменьшение количества анкеров в кровле с 6 до 4 на первом этапе не приводит к нарушению устойчивости кровли выработки в период ее проведения.
3. По результатам отработки трех моделей выявлена зависимость: с увеличением плотности установки анкеров в кровле, величина ее смещений уменьшалась, однако, это приводило к увеличению концентрации напряжений к незакрепленным бортам выработки, тем самым подтверждая необходимость закрепления бортов выработки на первом этапе с целью обеспечения устойчивости выработки после первого этапа крепления.
4. При принятых параметрах выработки: снижении плотности установки анкеров на первом этапе, предельные смещения кровли не превышают критических значений. Исходя из графиков нагружения и перераспределения напряжений следует, что даже при коэффициенте структурного ослабления  $K_c = 0,6$ , максимальные смещения кровли не будут превышать критических значений. Что, в свою очередь, в период проведения выработки и низкой интенсивности горного давления позволяет обеспечить ее устойчивость и дает некоторый запас времени для выполнения операций крепления на втором этапе с определенным отставанием.
5. В связи с плоским построением модели, не представлялось возможным оценить предельную площадь обнажения кровли, частично закрепленной анкерной крепью. Это может являться направлением для дальнейших исследований на объемных (трехмерных) или компьютерных моделях.
6. Определение длины анкеров для крепления бортов выработки может осуществляться на основе численной оценки НДС краевой зоны пласта методом конечных элементов, с учетом зон предельного состояния угля в борту выработки.

## ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СКОРОСТНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

### 4.1 Общие положения

Основными требованиями, предъявляемыми к схемам проходки выемочных выработок, являются:

1. Обеспечение необходимой скорости их проведения, с целью своевременного воспроизводства фронта очистных работ. При подготовке выемочных участков, помимо оконтуривающих штреков выполняются работы по проведению сбоек и монтажной камеры. В случае подготовки выемочных участков спаренными штреками, необходимая скорость их проведения должна быть в 2,1-2,4 раза выше скорости подвигания очистного забоя;

2. Обеспечение устойчивости выемочной выработки в течение всего срока ее эксплуатации. При этом, жизненный цикл выемочной выработки можно разделить на четыре основных периода.

**1. Проведение выработки.** Выработка поддерживается вне зоны влияния опорного давления лавы. В течение первого периода устойчивость выработки обеспечивается за счёт правильного выбора параметров крепления и технологии проведения. Величина смещений на данном этапе, как правило, не превышает 5% от общей величины смещений контура выработки в течение всего срока ее эксплуатации.

**2. Влияние опорного давления лавы.** Характеризуется наибольшей скоростью смещений контура выработки в связи с влиянием приближающейся лавы. Продолжительность периода, как правило, составляет не более 1-2 месяцев. Все необходимые мероприятия по обеспечению полной устойчивости выработки должны быть выполнены до начала влияния очистных работ. Это касается в том числе докрепления выработки при поэтапном анкерном креплении.

**3. Остаточное опорное давление.** Третий период характеризуется снижением скорости смещений кровли до ее относительной стабилизации и составляет несколько месяцев.

**4. Влияние опорного давления смежной лавы.** Четвертый период характерен вновь возрастающей скоростью смещения контура выработки, вызванными приближением следующей лавы. Наибольшей величины смещения контура выемочной выработки достигают на этом этапе.

По результатам проведенного физического моделирования устойчивости кровли выработки, необходимо обеспечить крепление кровли с целью формирования в кровле несущей балки, ожидаемый прогиб которой не должен превышать податливость анкеров. Обеспечить это возможно при меньшей плотности установки анкеров.

По результатам проведенных численных исследований устойчивости бортов выработки необходимо обеспечить закрепление бортов выработки на величину, не менее зоны предельного состояния угля в борту выработки, поскольку их разрушение приводит к необоснованному увеличению поперечного сечения выработки, увеличению свода обрушения и, как следствие, нарушению устойчивости выработки.

Таким образом, для обеспечения необходимой скорости проведения и обеспечения устойчивости выемочной выработки целесообразно применение поэтапного анкерного крепления, позволяющего повысить скорость проведения выработки с обеспечением устойчивости выработки на первом этапе ее существования.

## **4.2 Обоснование параметров технологии проведения выемочных выработок при поэтапном креплении и область ее рационального применения**

### **4.2.1 Способ скоростного проведения выемочной выработки при поэтапном креплении**

На основании проведенных исследований разработан способ скоростного проведения выемочной выработки с поэтапным креплением (рисунки 4.1 – 4.4) Способ осуществляется следующим образом. Производят выемку горной массы проходческим комбайном 1 в объеме, обеспечивающим подвигание забоя выработки, необходимое для установки крепи. Параллельно производят погрузку

горной массы в транспортное средство, например вагон, конвейер или вагонетку, после чего производят ее транспортировку до ближайшего ленточного конвейера. Работы по креплению горной выработки осуществляют одновременно или после окончания работы комбайна по разрушению и погрузке горных пород, в зависимости от типа комбайна [25,43].

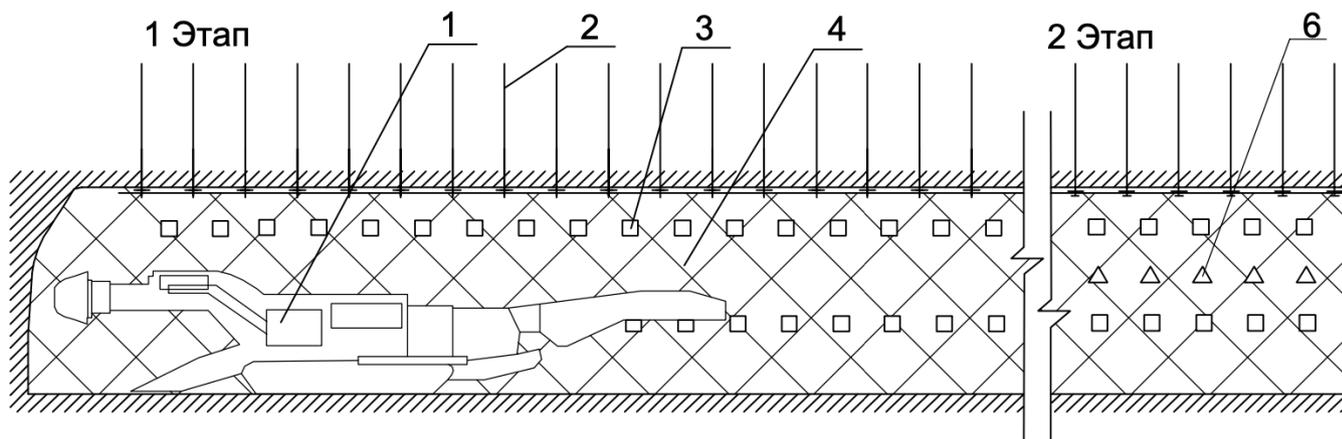


Рисунок 4.1 – Проводимая выработка вид сбоку

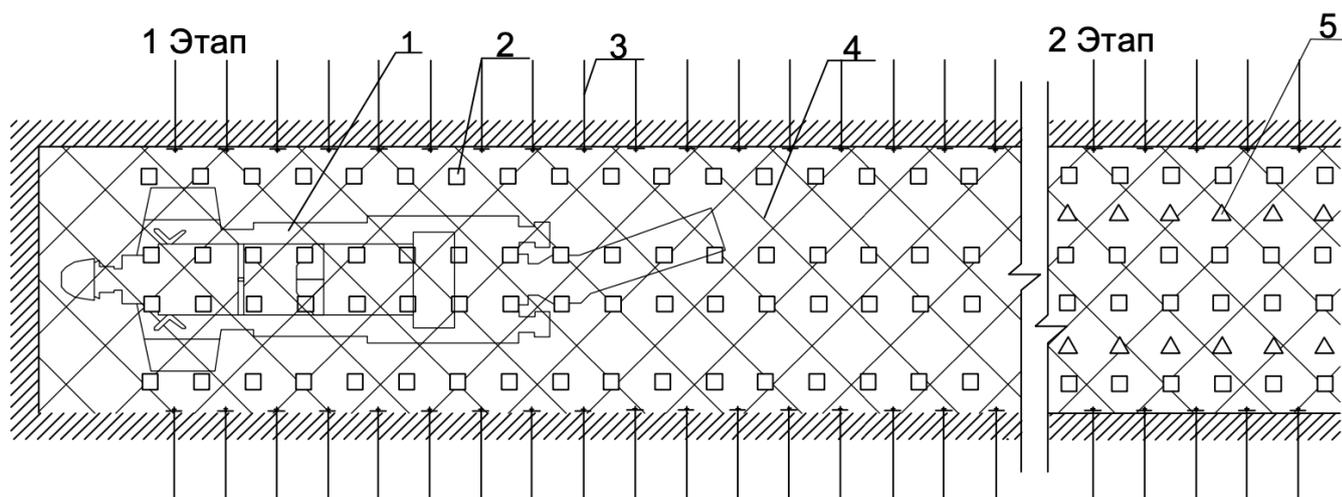


Рисунок 4.2 – Проводимая выработка вид сверху

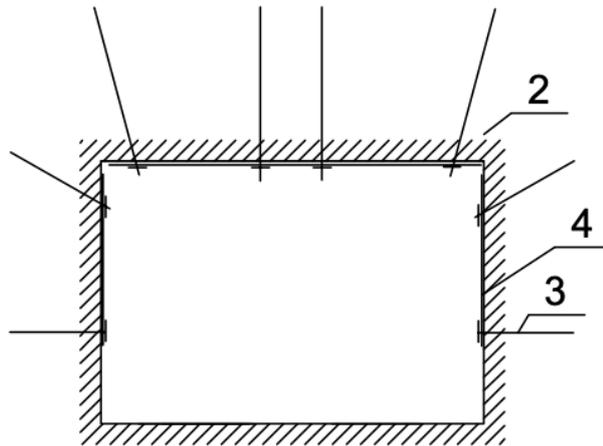


Рисунок 4.3 – Поперечное сечение проводимой выработки на первом этапе

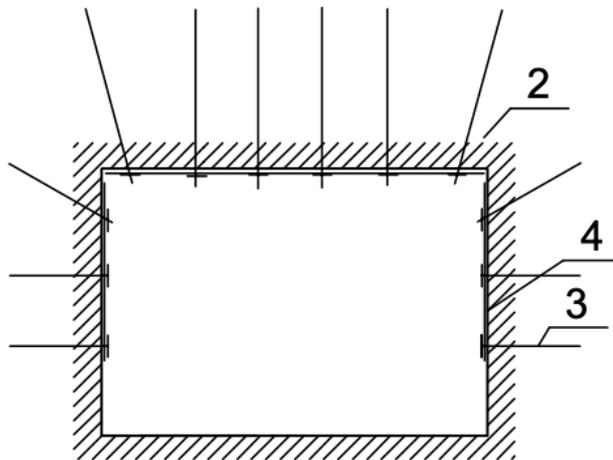


Рисунок 4.4 – Поперечное сечение выработки на втором этапе

С использованием буровой установки производят бурение шпуров первой очереди в кровлю, в которые далее устанавливают анкера первой очереди 2. Далее бурят шпуры первой очереди в борта выработки, в которые далее устанавливают анкера первой очереди 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 горной 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 горной выработки в течение всего срока ее эксплуатации. Данные работы производят с отставанием от проходческого забоя, в ремонтную смену. В результате получается создать закрепленную анкерной крепью выемочную выработку, способную сохранять эксплуатационное состояние в течение всего срока службы [25,43].

#### **4.2.2 Область рационального применения схемы скоростного проведения выработки**

Анкерное крепление применяется при проведении выемочных выработок на угольных шахтах и регламентируется действующим нормативным документом «инструкцией по анкерному креплению на угольных шахтах» [78]. Без дополнительных мер усиления анкерная крепь первого уровня может применяться при соблюдении условия  $H / R_c > 25$ , где  $H$  – глубина ведения работ, а  $R_c$  – прочность пород на одноосное сжатие. Если данное условие не соблюдается применение анкерной крепи предусматривается только с дополнительными мерами усиления, например, канатными анкерами или двухуровневым креплением. Расчет паспорта анкерного крепления, включающий в себя длину анкеров, их количество, расстояние между рядами и несущую способность анкеров выполняют на основе геологических данных подготавливаемого пласта и технологических размеров проводимой выработки. Основная область применения, горизонтальные либо наклонные (до 35 град.) выработки прямоугольного сечения, шириной до 5,5 метров и их сопряжения, в зонах, не склонных к горным ударам и внезапным выбросам газа и угольной пыли, а также вне зон геологических нарушений.

Таким образом областью применения поэтапного анкерного крепления являются выработки, в которых возможно применение анкерного крепления первого уровня с низкой интенсивностью проявлений горного давления, расположенные вне зоны влияния сближенных пластов [67], вне зоны геологических нарушений, на участках не опасных по горным ударам и внезапным выбросами газа и угольной пыли, а также находящиеся вне зоны влияния очистных работ. При этом, количество анкеров, устанавливаемых в кровлю на первом этапе,

должно обеспечить формирование в кровле выработки несущей балки, ожидаемый прогиб которой не будет превышать податливость анкеров, при условии закрепления бортов выработки. Второй этап крепления рекомендуется осуществлять в ремонтную смену.

Для оценки эффективности поэтапного анкерного крепления необходимо производить мониторинг смещений кровли выемочной выработки. При величине смещений, достигающих предельной величины податливости анкеров следует незамедлительно произвести докрепление выработки.

Способ не рекомендуется к применению в зонах с повышенным горным давлением, в зонах разрывных геологических нарушений, а также в условиях обводненных, либо мерзлых пород.

#### **4.2.3 Алгоритм выбора параметров схемы скоростного проведения выемочных выработок**

Для обоснования рациональных параметров разработан алгоритм выбора параметров схемы скоростного проведения выработки с поэтапным креплением.

В первую очередь необходимо произвести оценку 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 превышает – производится перерасчет плотности установки анкеров.

Если необходимая скорость не обеспечивается при переходе на поэтапное крепление, производится пересмотр технологии проведения и крепления выработки.

Второй этап крепления осуществляется в ремонтную смену, либо незамедлительно при смещениях кровли, достигающих предела податливости анкеров.

Алгоритм выбора параметров схемы скоростного проведения выработки представлен на блок схеме на рисунке 4.5.

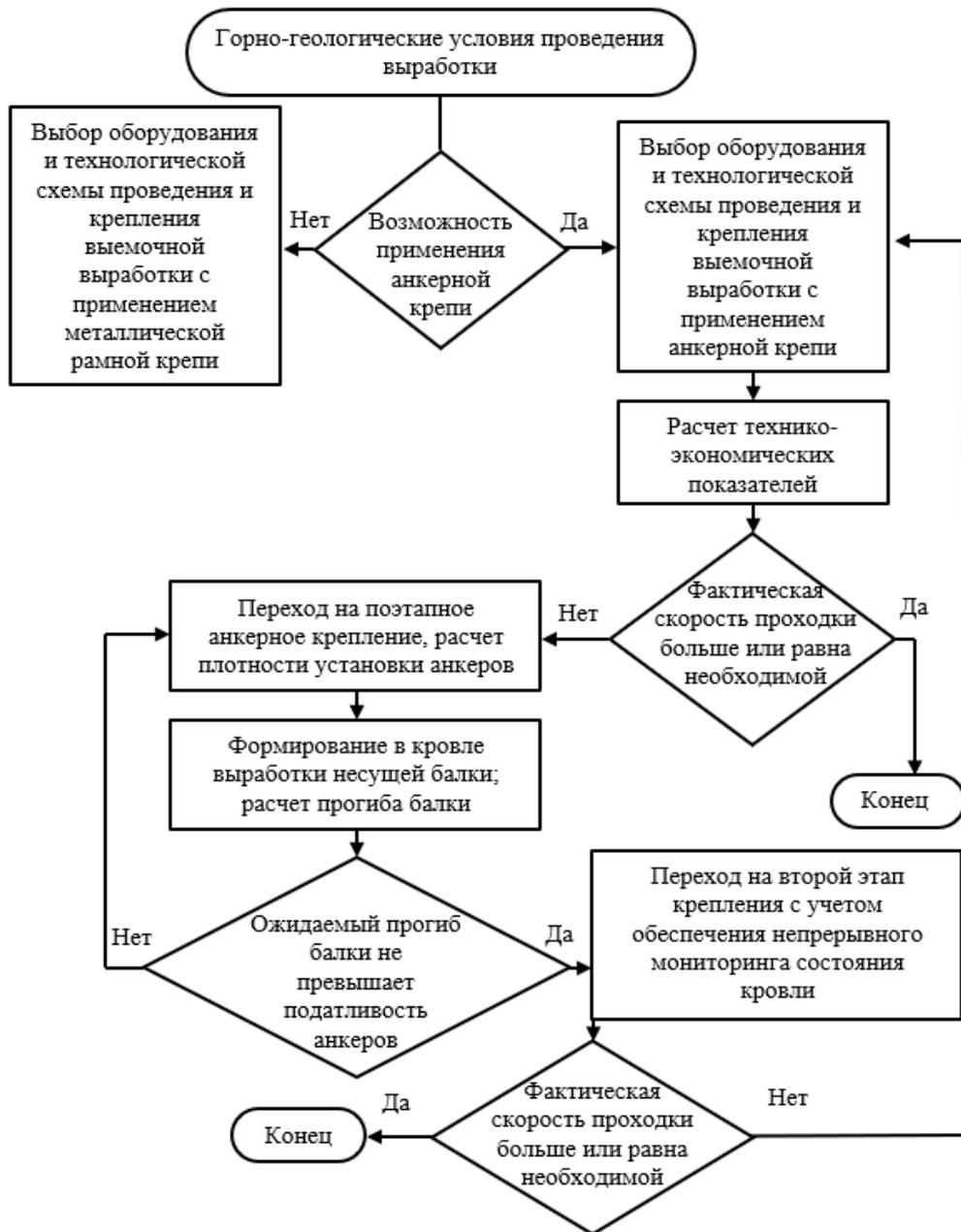


Рисунок 4.5 –Алгоритм выбора параметров схемы скоростного проведения выемочной выработки





метров в сутки и состояла из 17 циклов, с длиной выемки в 1 метр за один цикл. В месяц скорость проходки достигает 510 метров. Суточный коэффициент машинного времени комбайна составил 16,5% [43].

График организации работ представлен на рисунке 4.8.

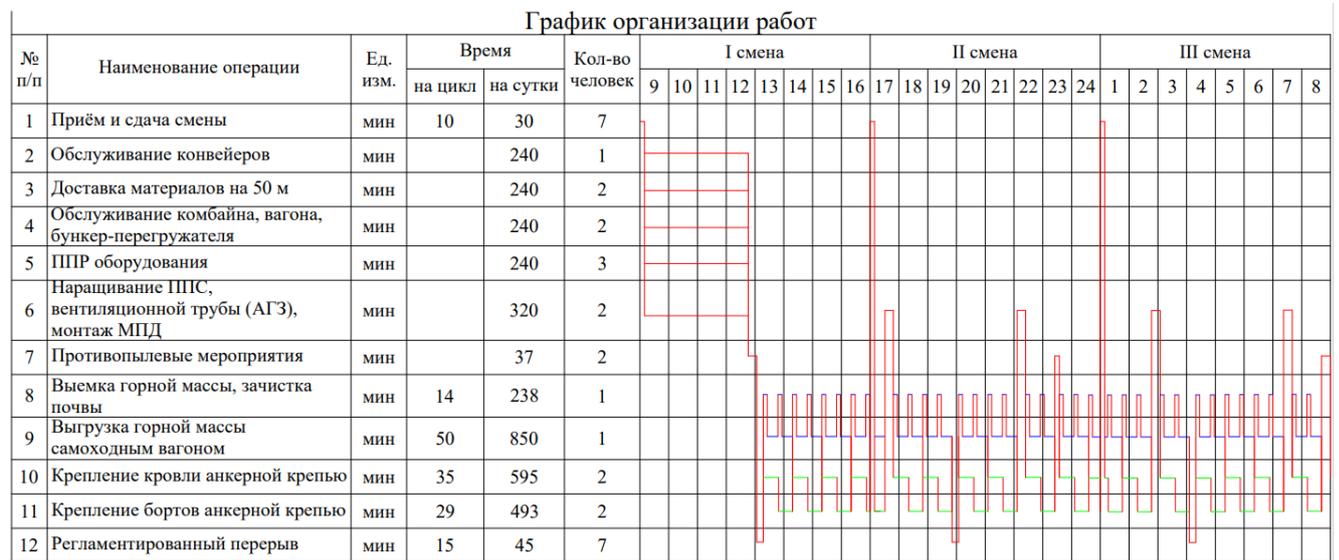


Рисунок 4.8 – График организации работ при проведении выработки комбайном фронтального действия

Из данной таблицы также следует, что крепление кровли и бортов выработки является одним из самых затратных по времени процессов, однако вторым сдерживающим фактором является еще и длительная транспортировка горной массы. Суммарное время крепления составляет 64 минуты на 1 цикл или 1088 минут в сутки при 17 проходческих циклах. Среднее время установки 1 анкера занимает 5,33 минуты.

Предлагаемая схема поэтапного крепления с установкой 4 анкеров в кровлю и 2 анкеров в каждый борт выработки позволит снизить суммарные затраты времени по креплению выработки на 204 минуты в сутки, однако, в данном случае сдерживающим фактором станем выемка и транспортировка горной массы. В случае, если геологические условия, производительность комбайна и система организации транспорта позволяет увеличить скорость проходки, то переход на поэтапное крепление, в свою очередь, позволит увеличить количество циклов с 17 до 22 и, соответственно, увеличить скорость проходки с 17 до 22 метров в сутки.

Суточный коэффициент машинного времени работы комбайна может составить при этом 21 %. [43]

Увеличение коэффициента машинного времени комбайна на 4,5 % может обеспечить повышение скорости проведения выработки в рамках одного месяца на 30% или 150 метров в месяц, при отсутствии других сдерживающих факторов, позволяя достичь месячной скорости проведения выработки до 660 метров.

Таким образом, применение поэтапного анкерного крепления позволит повысить скорость проведения выемочных выработок и будет наиболее целесообразно при их проведении комбайнами избирательного действия, в то время как переход на поэтапное крепление при проходке выработок комбайнами фронтального действия целесообразен лишь при устранении других сдерживающих факторов.

#### 4.3.2 Экономическая эффективность разработанной технологии

Для оценки экономической эффективности следует рассмотреть структуру затрат на проведение погонного метра выемочной выработки. В общем виде стоимость погонного метра складывается из количества затраченных средств, деленных на величину пройденных метров и состоит из постоянных и переменных затрат. В усредненном виде структура затрат представлена на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 – Структура затрат на проведение погонного метра выемочной выработки комбайном избирательного действия в долях

Как видно из данного рисунка, большую часть затрат составляет фонд оплаты труда проходческой бригады и страховые отчисления, в сумме составляющие 56% от общих затрат на проведение погонного метра выработки. Остальные 44% являются переменной величиной и будут возрастать пропорционально увеличению скорости проведения выемочной выработки.

Поскольку на шахтах применяется система оплаты труда «30-70» [55,2,82], где лишь 30% заработной платы зависит от объема выполненных работ, а 70% заработной платы являются величиной постоянной и не зависят от объемов работ, то с увеличением скорости проведения выработки доля постоянных затрат будет снижаться, следовательно, будут снижаться общие затраты на проведение погонного метра выработки.

Например, затраты на проведение 297 погонных метров составили 100%. Соответственно, затраты на проведение одного погонного метра выработки равны 3% от общего объема. Из этой величины 56% это ФОТ с отчислениями.

Далее приведен расчет изменения величины затрат на проведение погонного метра выработки при переходе на поэтапное крепление:

Постоянная часть ФОТ составляет 70% от ФОТ (70% от 56% в общей величине затрат).

$$70\% \times 56\% = 39,2\% \text{ от общей величины затрат на проведение погонного метра}$$

Переменная часть ФОТ составляет 30% от ФОТ (30% от 56% в общей величине затрат)

$$30\% \times 56\% = 16,8\% \text{ от общей величины затрат на проведение погонного метра}$$

Остальные переменные затраты составляют 44% от всей себестоимости

Предположим, что скорость проведения выработки увеличивается на  $x\%$ , тогда новая скорость может быть определен по формуле (13):

$$U_{\text{прох.нов.}} = U_{\text{прох.стар.}} * \left(1 + \frac{x}{100}\right); \quad (13)$$

$$U_{\text{прох.нов.}} = 297 * \left(1 + \frac{x}{100}\right).$$

Постоянная часть ФОТ не изменится и будет составлять 39,2% от всей себестоимости.

Переменная часть ФОТ с увеличением затрат будет изменяться следующим образом (14):

$$\text{ФОТ}_{\text{пер.}} = \frac{16,8\%}{1 + \frac{x}{100}} \quad (14)$$

Прочие переменные затраты  $q_{\text{пер.}}$  будут изменяться аналогичным образом (15):

$$Q_{\text{пер.}} = \frac{44\%}{1 + \frac{x}{100}} \quad (15)$$

Новая величина затрат на проведение погонного метра выработки по сравнению с базисной составит (16):

$$C_{\text{затрат}} = 39,2\% + \frac{16,8\%}{1 + \frac{x}{100}} + \frac{44\%}{1 + \frac{x}{100}} \quad (16)$$

Далее для примера приведен расчет величины изменения затрат при увеличении скорости проведения выемочной выработки на 10%

В указанные выше формулы (14,15,16) подставим  $x = 10$

$$\text{ФОТ}_{\text{пер.}} = \frac{16,8\%}{1 + \frac{10}{100}} = \frac{16,8\%}{1,1} = 15,27\%$$

$$Q_{\text{пер.}} = \frac{44\%}{1,1} = 40\%$$

Новая величина затрат на проведение погонного метра выработки по сравнению с базисной при увеличении скорости ее проведения на 10% составит:

$$C_{\text{затрат}} = 39,2\% + 15,27\% + 40\% = 94,47\%$$

Таким образом, при увеличении скорости проведения выемочной выработки на 10%, величина затрат на ее проведение составит 94,47% от первоначальной, что означает снижение на 5,53%.

Подставляя вместо  $x$  другие величины изменения скорости проведения выработки получена следующая зависимость, представленная на рисунке 4.10.

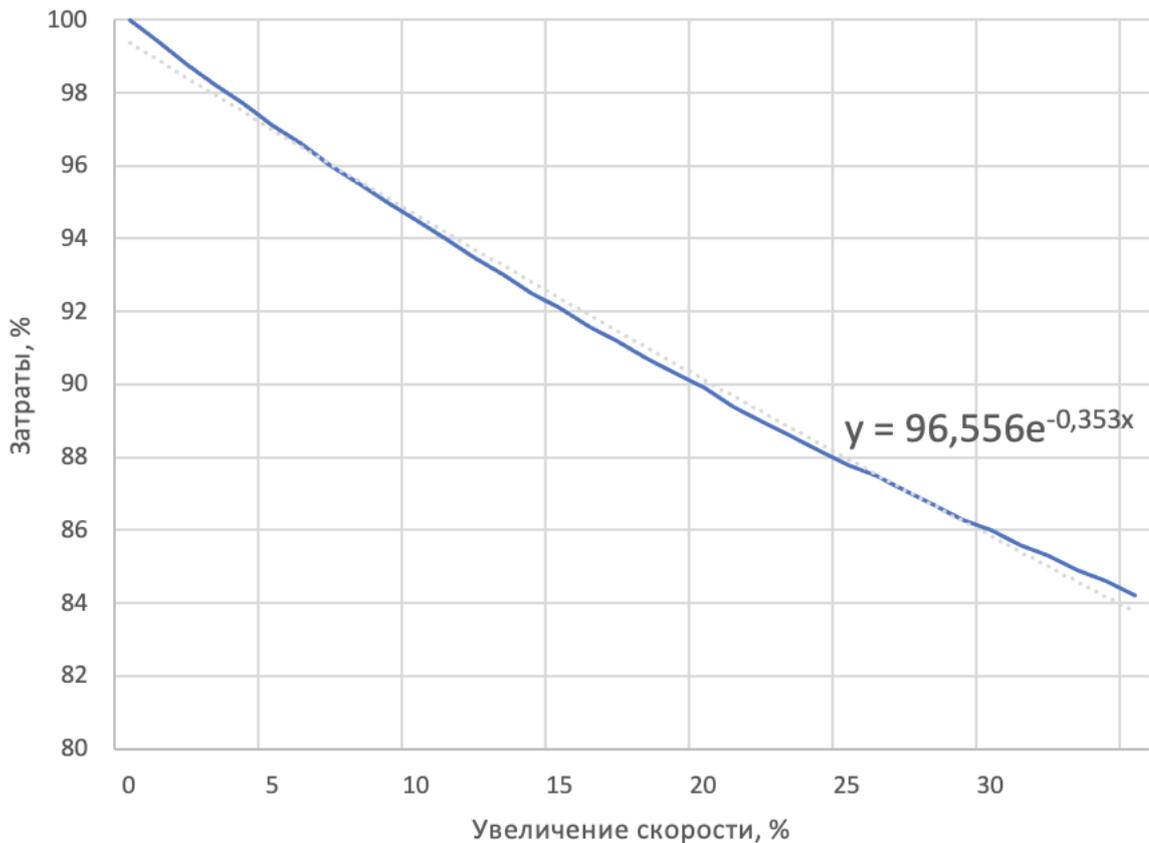


Рисунок 4.10 – Снижение затрат на проведение погонного метра выемочной выработки от увеличения скорости ее проведения

Зависимость, представленная на рисунке 4.10, имеет экспоненциальный характер. Данный тип функции описывает процессы, где происходит постепенное уменьшение или увеличение значений на фиксированный процент в зависимости от роста или снижения переменной.

Формула данной зависимости имеет вид (17):

$$y = a * e^{-bx}, \text{ где} \quad (17)$$

y-итоговое значение (величина затрат на проведение выработки);

x-процент увеличения скорости проведения выработки;

a-начальное значение (в данном случае 100%);

b-коэффициент, описывающий скорость изменения итогового значения.

Кроме того, недополученная прибыль шахты, связанная с простоем ОМК, составляет сотни миллионов рублей. Следовательно, экономический эффект от увеличения скорости проведения выемочных выработок, заключающийся в

сокращении или ликвидации простоев ОМК будет значительно выше эффекта от снижения затрат на ее проведение.

При переходе на поэтапное крепление для обеспечения безопасности работ необходимо оснащение выемочных выработок системами удаленного мониторинга состояния кровли [115,107]. Подобные системы позволяют следить за состоянием массива удаленно, что дает возможность проведения мероприятий по докреплению выработки заранее, на более ранних стадиях потенциально опасных геомеханических явлений [91,40,1].

#### **4.4 Выводы по главе**

1. Разработан способ и обоснована область рационального применения поэтапного анкерного крепления выемочных выработок при разработке пологих угольных пластов, позволяющий увеличить скорость проходки выработки комбайнами избирательного действия на 25% и более.

2. Повышение скорости проведения выработок обеспечивается за счет увеличения коэффициента машинного времени до 0,25 при сокращении затрат времени на крепление в общей продолжительности проходческого цикла.

3. Разработан алгоритм обоснования параметров схем скоростного проведения выемочных выработок при поэтапном анкерном креплении с учетом обеспечения необходимой скорости проходки и безопасных параметров поэтапного крепления.

4. При внедрении поэтапного крепления в технологию проходки выемочной выработки комбайном избирательного действия за счет повышения скорости ее проведения достигается снижение затрат на проведение за счет сокращения доли затрат на оплату труда в общих затратах на проходку.

5. Организация непрерывного мониторинга состояния кровли выемочной выработки является необходимым условием при внедрении поэтапного крепления для обеспечения безопасности горных работ.

## 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 м<sup>2</sup> 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 инструментального 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович, А.С. Совершенствование методов контроля смещений кровли в подземных горных выработках / А.С. Абрамович, Н.Е. Столбов, С. Н. Горбатенко // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. – 2018. – С. 28-31.
2. Алексенко, В.С. Модели повышения эффективности и безопасности производства посредством совершенствования организации и оплаты труда / В.С. Алексенко, Ф.И. Акшенцев, О.Б. Браун и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2-2. – С. 4-49.
3. Алиев, С. Б. Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, А.Н. Томилов, Н. А. Милетенко // Уголь. – 2021. – № 4 (1141). – С. 15-19.
4. Ананьев, К.А. Расширение рабочего диапазона проходческих комбайнов фронтального действия / К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков, А.В. Бабарыкин, Е.С. Голикова // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве. – 2019. – С. 517-520.
5. Апарин, А.Г. Обеспечение своевременной подготовки выемочных столбов при интенсивной подземной угледобыче / А.Г. Апарин, А.А. Сидоренко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы 18-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула: Тульский государственный университет. – 2022. – С. 213-217.
6. Апарин, А.Г. Выбор и обоснование технологических схем скоростного проведения участковых подготовительных выработок для обеспечения интенсивной угледобычи / А.Г. Апарин, Д.Г. Мисливский // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2022. – С. 24-28.

7. Артемьев, В. Б. Достижение наивысших показателей по добыче угля в месяц в условиях АО «СУЭК-Кузбасс» / В.Б. Артемьев, Е.П. Ютяев, К.Н. Копылов и др. // Уголь. – 2017. – № 8 (1097). – С. 82-88.
8. Артемьев, В.Б. Развитие производства в 2008-2017гг. Основные результаты и факторы их достижения / В.Б. Артемьев // Горная промышленность. – 2018. – № 5 (141). – С. 15-20.
9. Баскаков, В.П. Опыт скоростного проведения подготовительных выработок с применением технологии поэтапного крепления / В.П. Баскаков, М. С Добровольский // Уголь. – 2011. – №10. – С. 5-8.
10. Басов, В.В. Подбор эквивалентного материала для физического моделирования геомеханических процессов в окрестности подготовительных выработок угольных шахт / В.В. Басов, С.В. Риб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2016. – № 4 (18). – С. 32-35.
11. Беликов, В.В. Эффективные средства и технологии поддержания выемочных подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / В.В. Беликов // Уголь. – 2006. – №7. – С. 19-21.
12. Безносков, А.В. Инновационные технологические схемы проведения подготовительных выработок / А.В. Безносков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – 2021. – С. 316-320.
13. Борисов, А. А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов - М., Недра, 1980.
14. ВСН 126-90 Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Москва, 1991. – [136] с.
15. Волошин, В.А. Совершенствование технологических схем проведения выработок комбайнами непрерывного действия / В.А. Волошин, К.И. Бушуев, И.Г. Розум // Перспективы инновационного развития угольных регионов России. – 2020. – С. 64-67.
16. ГОСТ 2138-91 Пески формовочные: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 28.12.91 №2263: дата введения 1993-01-01/

разработан и внесен ТК 252 «Литейное производство» – Москва: Стандартинформ, 2005. – [8] с.

17. ГОСТ 3282-74 Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения: Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 17.01.74 №144: дата введения 1975-07-01/ разработан и внесен Министерством черной металлургии СССР. – Москва: Стандартинформ, 2007. – [11] с.

18. Габов, В. В. Особенности эксплуатации проходческих комбайнов на шахтах ОАО "Воркутауголь" / В.В. Габов, Д.А. Задков, Ю.В. Лыков и др. // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – №12. – С. 1- 6.

19. Гендлер, С. Г. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт / С.Г. Гендлер, В.В. Габов, Н.В. Бабырь, Е.А. Прохорова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №1. – С. 5-19.

20. Гречишкин, П. В. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горногеологических условиях / П.В. Гречишкин, Е.А. Разумов, Д.Ф. Зяятдинов, С.С. Чугайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №10. – С. 182-200.

21. Гречишкин, П. В. Оценка эффективности двухуровневого анкерного крепления сопряжений горных выработок угольных шахт / П.В. Гречишкин, А.С. Позолотин, Д.Ф. Зяятдинов, В.Н. Шаров // Горный журнал. – 2015. – №8. – С. 48-52.

22. Гусев, А.С. К вопросу снижения металлоемкости анкерного упрочнения кровли выемочных выработок / А.С. Гусев // Уголь Украины. – 2014. – №11. – С. 8-10.

23. Гусев, В.Н. Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с

применением геодезического квадрокоптера / В.Н. Гусев, А.А. Блищенко, А.П. Санникова // Записки Горного института. – 2022. – Том 254. – С. 173-179.

24. Демин, В. Ф. Оценка параметров деформационных процессов в подготовительных выработках при применении анкерного крепления / В.Ф. Демин, Т.В. Демина, С.Б. Алиев, Н.Л. Разумняк // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №7. – С. 44-55.

25. 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.

26. Патент № 2183746 Российская Федерация, МПК E21D 20/00(2006.01) Способ проведения горных выработок при отработке пологих угольных пластов : 2000117295 заявлено 29.06.2000 : опубликовано 20.06.2002 / Егоров А.П., Хриенко В.А., Фомин Е.В., Кшуманев В.Л., Суховольский С.Н.; заявитель ОАО «Кузнецкий научно-исследовательский угольный институт». – 6 с. : 2 ил.

27. Егоров, А.П. Оценка возможности и эффективности внедрения технологических схем скоростной проходки подземных горных выработок на угольных шахтах / А.П. Егоров, И. А. Кондаков // Уголь. – 2019. – №10 (1123). – С. 22-28.

28. Жданеев, О.В. Приоритетные направления развития российского программного обеспечения для угольной промышленности. Часть 2 / О.В Жданеев, О. Н. Оленёва // Уголь. – 2021. – № 7 (1144). – С. 13-19.

29. Жуков, Е. М. Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт / Е.М. Жуков, И.А. Лугинин, Ю.И. Кропото и др. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – № 4 (14). – С. 26-30.

30. Зубов, В. П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых / В.П. Зубов // Горный журнал. – 2018. – №6. – С. 77-83.

31. Зуев, Б. Ю. Научно-методические основы физического моделирования нелинейных геомеханических процессов при подземной разработке полезных ископаемых / Б.Ю. Зуев, А.И. Пальцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 5. – С. 18-28.
32. Зуев, Б.Ю. Физическое моделирование процессов деформирования массива горных пород при заблаговременной дегазации угольных пластов / Б.Ю. Зуев, В. М. Шик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 12. – №12. – С. 233-246.
33. Зуев, Б.Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов / Б.Ю. Зуев // Записки Горного института. – 2021. – Том 250. – С. 542-552.
34. Зуев, Б. Ю. Determination of static and dynamic stresses in physical models of layered and block rock masses / Б.Ю Зуев, В.П. Зубов, А.Д. Смычник // Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 61-70.
35. Зуев, Б.Ю. Применение методов физического и имитационного (компьютерного) моделирования для решения задач управления геомеханическим состоянием массива при добыче метана из неразгруженных пластов / Б.Ю. Зуев, М.Г. Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – № 6. – С. 75-78.
36. Зуев, Б. Ю. Физическое моделирование геомеханических процессов в блочноиерархических массивах на основе единого комплексного условия подобия / Б.Ю. Зуев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 4. – С. 356-360.
37. Иванов, О.В. Выбор математической модели при решении задачи прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям / О. В. Иванов // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых. – 2002. – С. 172-175.

38. Игнатов, Е. В. Состояние и основные задачи развития длинностолбовой системы разработки на угольных шахтах Кузбасса: краткий обзор / Е. В. Игнатов // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 4. – С. 30-49.
39. Ильинов, М.Д. Комплексные экспериментальные исследования механических свойств горных пород: проблемы и пути их решения / М.Д. Ильинов, В. А. Коршунов, Г. Б. Поспехов, А. Н. Шоков // Горный журнал. – 2023. – № 5. – С. 11-18.
40. Пудов, Е. Ю. К вопросу о необходимости создания и внедрения систем автоматизированного мониторинга и учета смещений в кровле угольных шахт / Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин, Р.А. Понкрашкин, М.Г. Лупий // Взрывное дело. – 2017. – № 117-74. – С. 299-306.
41. Казанин, О.И. Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования / О. И. Казанин, А. А. Сидоренко, А. А. Мешков // Уголь. – 2019. – №. 12 (1125). – С. 4-13.
42. Казанин, О. И. О проектировании технологических схем подготовки и отработки выемочных участков угольных пластов / О.И. Казанин, В.В. Козулин, М.В. Барабаш, Е.П. Ютяев // Уголь. – 2010. – №. 6. – С. 24-28.
43. 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.
44. Казанин, О. И. Исследование на физических моделях процессов сдвижений при подземной разработке угольных пластов в поле шахты «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» / О. И. Казанин, Б. Ю. Зуев, А. А. Мешков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №. 5. – С. 26-32.
45. Калашников, С. А. Основные направления совершенствования горно-проходческой техники / С. А. Калашников, О. А. Малкин, А. Н. Левченко // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 8. – С. 27-33.

46. Касьян, Н.Н. Методика расчета параметров анкерных породоармирующих систем для крепления горных выработок / Н.Н. Касьян, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2010. – № 2. – С. 235-242.

47. Касьян, Н. Н. Влияние схем расположения анкеров в слоистом массиве на его деформационные характеристики / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно // Геомеханические основы ведения горных работ. – 2005. – С. 200584.

48. Клишин, В. И. Современные технологии анкерного крепления: опыт применения и перспективы / В.И. Клишин, П.В. Гречишкин, А.А. Серов, Е.А. Разумов // Рудник будущего. – 2012. – Т. 3. – №11. – С. 89.

49. Магалимов, И.Т. Воспроизводство фронта очистных работ при интенсивной отработке угольных пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» / И.Т. Магалимов // Новая наука как результат инновационного развития общества. – 2017. – С. 159-163.

50. Мешков, А. А. О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В.Д. Ялевского / А.А. Мешков, М.А. Волков, А.А. Ордин и др. // Уголь. – 2018. – № 7 (1108). – С. 4-7.

51. Мешков, А.А. Реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования-ключевое направление совершенствования подземной добычи энергетических углей / А.А. Мешков, О.И. Казанин, А. А. Сидоренко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 12. – С. 156-165.

52. Глушихин, Ф. П. и др. Моделирование в геомеханике //М.: Недра. – 1991.

53. Неверов, А. А. Сравнительный анализ численного и физического моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А.А. Неверов, С.А. Неверов, С.Ю. Васичев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 4 (98). – С. 14-22.

54. Нестеров, В.И. Опыт эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия (на примере шахт ОАО “СУЭК-Кузбасс”) / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике и др. // СПб.: Славутич. – 2012. – С. 20-23.

55. Нифонтов, А. И. Совершенствование форм и систем оплаты труда, применяемых на шахтах юга Кузбасса / А. И. Нифонтов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2012. – № 2. – С. 49-52.

56. Павлова, С.Н. Управление минерально-сырьевым потенциалом в горном деле на основе геолого-экономического мониторинга / С.Н. Павлова, В. С. Дадыкин, О. В. Дадыкина // Горный журнал. – 2019. – № 2. – С. 13-17.

57. Ши, С. М. О выборе эквивалентных материалов для физического моделирования горных пород / С.М. Ши, Б.Г. Лиу, Ю.Ю. Сян, Ю. Ци // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 6. – С. 64-74.

58. Шабаев, О. Е. Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса проходческого комбайна КПД / О.Е. Шабаев, А.К. Семенченко, Н.В. Хиценко, Н.И. Стадник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. – 2010. – № 18. – С. 97-111.

59. Риб, С. В. Физическое моделирование геомеханических процессов в окрестности горной выработки / С.В. Риб, В.В. Басов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 4 (22). – С. 45-50.

60. Рогачков, А.В. Сталеминеральная анкерная крепь в сложных горно-геологических условиях угольных шахт / А.В. Рогачков, А.С. Позолотин, А.А. Ренев, П.В. Гречишкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (102). – С. 35-37.

61. Розенбаум, М. А. параметров крепи подготовительных выработок под наносами в зоне выветрелых пород на глубине менее 100 м / М.А. Розенбаум, Ю.П. Коренной, С.В. Кузьмин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 7. – С. 45-53.

62. Розенбаум, М.А. Определение деформационных критериев устойчивости пород кровли и анкерной крепи / М. А. Розенбаум, Д. Н. Демёхин //

Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 82-86

63. Рутковский, А.Ю. Совершенствование конструкции проходческого комбайна избирательного действия / А.Ю. Рутковский, Ю.А. Рутковский, В.А. Скрыга // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации: сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции (13–14 октября 2022 г.). Часть 2. – Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. – С. 34 – 36.

64. Рыпаков, А.А. Особенности применения выемочных участков больших размеров при интенсивной отработке пологих угольных пластов / А. А. Рыпаков // Научный форум. Сибирь. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 23-25.

65. Серегина, М. А. Оптимизация процедуры хронометражных наблюдений / М. А. Серегина, С. В Темина. // Охрана и экономика труда. – 2012. – № 4. – С. 94-101.

66. Сидоренко, А.А. Комплексное обоснование длины лавы для интенсивной отработки пологих газоносных пластов угля, склонного к самовозгоранию / А. А. Сидоренко, **А. Г. Апарин**, Д. Г Мисливский. // Актуальные вопросы современной науки и образования. – Пенза: Наука и Просвещение. – 2022. – С. 287-288.

67. Сидоренко, А.А. Расчет параметров зон повышенных проявлений горного давления в условиях отработки сближенных угольных пластов / А.А Сидоренко, **А. Г. Апарин**, Д. Г. Мисливский // Новые научные исследования. – Пенза: Наука и Просвещение. – 2022. – С. 267-270.

68. 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.

69. 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.

70. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" [Текст]: альбом / О. И. Казанин [и др.]; СУЭК (Сибирская угольная энергетическая компания). Подземные горные работы. — Москва: Изд-во "Горное дело" ООО "Киммерийский центр", 2014. — 255 с.: ил., табл., цв. ил.; ISBN 978-5-905450-58-7.

71. Трофимов, В.А. Моделирование взаимодействия сталеполимерных анкеров с массивом горных пород при различных условиях закрепления для оценки их несущей способности / В.А. Трофимов, Ю.А. Филиппов, И.М. Закоршменный и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 1. — С. 35–48.

72. Трушко, В. Л. Обоснование рациональных параметров крепи комплекса горных выработок, проводимых в сложных горно-геологических условиях / В. Л. Трушко, Е. К. Баева // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 12. — С. 55–69.

73. Утиралов, О.А. Поэтапная технология крепления горных выработок сталеминеральными анкерами / О.А. Утиралов // Научно-технические аспекты разработки и использования минеральных ресурсов: Материалы Междунар. научно-практич. конф. 8–11 июня, 2004. — Новокузнецк, 2004. — 8с.

74. Утиралов, О.А. Современные аспекты технологии крепления горных выработок / О.А. Утиралов, Н.В. Магдыч, В.В. Радашкевич // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: Тр. VII Междунар. конф. 20-21 ноября 2002. — Новокузнецк: СибГИУ, 2002. — 7с.

75. Утиралов, О.А. Системы анкерного крепления с минеральной основой / В.И. Магдыч, В.А. Юрченко, В.К. Новосадов, О.А. Утиралов // ТЭ К и ресурсы Кузбасса. — №4. — 2001. — 4 с.

76. Утиралов, О.А. Анкерная крепь на основе минеральных композиционных материалов / О.А. Утиралов, В.И. Клипшн // Сб. трудов II межд. конф. «Динамика и прочность горных машин». —Т.1. — Новосибирск — 2003. — 6 с.

77. Ушаков, Л. С. Современные тенденции развития проходческой техники для крепких горных массивов / Л.С. Ушаков, В.Е. Климов // Инновации на транспорте и в машиностроении. — 2016. — С. 63-68.

78. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». Издательство ЦЕНТРМАГ, 2022 г. – [168] с.
79. Халитова, А. Р. Сравнение анкерного и распорного методов крепления ограждающих конструкций котлована при строительстве зданий и сооружений / А. Р. Халитова, С. А. Синенко // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 4. – С. 408-419.
80. Хлусов, А. Е. Приближенный расчет необходимого усилия натяжения замковых анкеров при креплении слоистой кровли выработок / А.Е. Хлусов, С. М. Черняховский // Маркшейдерия и недропользование. – 2008. – № 6. – С. 40-43.
81. Хорешок, А. А. Горные машины и оборудование подземных горных работ / А.А. Хорешок, Ю.А. Антонов, Л.Ф. Кожухов и др. // Кемерово: КузГТУ. – 2012.
82. Худько, Е. В. Оценка снижения инвестиционной привлекательности ОАО «Распадская» в результате техногенной аварии / Е. В. Худько, А. С. Сидорова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 12. – С. 304-309.
83. Цейтлин, Е. М. Существующие методы прогноза. Их достоинства и основные недостатки применительно к предприятиям минерально-сырьевого комплекса / Е. М. Цейтлин // Теория и практика мировой науки. – 2021. – №.9. – С. 39-42.
84. Шурыгин, Д. Н. Горно-геометрическая оценка достоверности технико-экономических показателей при планировании горных работ / Д. Н. Шурыгин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S22. – С. 3-21.
85. Якоби, О. Практика управления горным давлением // М.: Недра. – 1987. – 566 с.
86. Янак, А.С. Проблема анкерного крепления горных выработок угольных шахт / А.С. Янак // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 3. – С. 96-97.

87. Bhattacharyya, S. Advances in coal mining technology and sustainable mining techniques / S. Bhattacharyya, L. Fan, S. Azam, S. Liu // *The Coal Handbook*. – Woodhead Publishing, 2023. – pp. 263-321.
88. Bruniany, C. Technology development trends in the American coal mining industry / C. Bruniany // *Mining in the New Millennium-Challenges and Opportunities*. – CRC Press, 2020. – pp. 63-70.
89. Cao, J. Stability Analysis of Support Anchor Bolt in the Process of Surrounding Rock Fracture Evolution / J. Cao, N. Zhang, L. Pi et al. // *Geofluids*. – 2023. – Vol. 2023. – № 1. – P. 4805857.
90. Cao, J. Investigation of mechanical properties for group anchors / J. Cao, N. Zhang, S. Wang, Q. Wei // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – № 4. – P. 1521.
91. Deokar, S. R. Coal mine safety monitoring and alerting system / S. R. Deokar, J. S. Wakode // *International Research Journal of Engineering and Technology*. – 2017. – Vol. 4. – № 3. – pp. 2146-2149.
92. Federal Coal Mine Health and Safety Act, USA 1969 / <https://arlweb.msha.gov/SOLICITOR/COALACT/69hous.htm> (дата обращения: 05.04.2024)
93. J. Xu. High-intensity longwall mining-induced ground subsidence in Shendong coalfield, China / J. Xu, W. Zhu, J. Xu et al. // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2021. – Vol. 141. – P. 104730.
94. Kang, H. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review / H. Kang // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2014. – Vol. 1. – pp. 261-277.
95. Kazanin, O. I. Reproduction of the longwall panels: Modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines / O.I. Kazanin, A.A. Sidorenko, A.A. Meshkov, S.A. Sidorenko // *Eurasian mining*. – 2020. – Vol. 2. – pp. 19-23.
96. Kazanin, O. I. On the design features of underground multiple gassy coal seam mining / O. I. Kazanin // *Journal of mining institute*. – 2015. – Vol. 215. – pp. 38-45.

97. Li, T. Research on gob-side entry-retaining technology with coal rib and corner strengthened support in soft rock strata / T. Li, Q. Zhu, Q. Lou et al. // *Energy Science & Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – № 10. – pp. 3597-3618.
98. Li, J. Study on deformation and instability characteristics and control technology of deep soft rock roadway with strong mining / J. Li, Y. Li, Z. Xie et al. // *SN Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 5. – № 11. – P. 292.
99. Ma, P. Application of bolter miner rapid excavation technology in deep underground roadway in inner Mongolia: a case study / J. Li, Y. Li, Z. Xie et al. // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – № 7. – P. 2588.
100. 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.
101. Nikiforov, A.V. Analysis of multiple seam stability / A.V. Nikiforov, E. A. Vinogradov, A.A. Kochneva // *International journal of civil engineering and technology*. – 2019. – Vol. 10. – № 2. – pp. 1132-1139.
102. Pan, R. et al. Failure of bolt support and experimental study on the parameters of bolt-grouting for supporting the roadways in deep coal seam / R. Pan, Q. Wang, B. Jiang et al. // *Engineering Failure Analysis*. – 2017. – Vol. 80. – pp. 218-233.
103. Peng, S. S. Longwall mining. CRC Press, 2019. 562 p.
104. Han, P. The influence of advance speed on overburden movement characteristics in longwall coal mining: insight from theoretical analysis and physical simulation / P. Han, C. Zhang, Z. Ren et al. // *Journal of Geophysics and Engineering*. – 2021. – Vol. 18. – № 1. – pp. 163-176.
105. Prakash, A. Trait of subsidence under high rate of coal extraction by longwall mining: some inferences / A. Prakash, A. Kumar, A. Verma et al. // *Sādhanā*. – 2021. – Vol. 46. – pp. 1-8.
106. Wang, Q. In-situ test and bolt-grouting design evaluation method of underground engineering based on digital drilling / Q. Wang, H. Gao, B. Jiang et al. //

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Vol. 138. – P. 104575.

107. Shen, B.T. Integrated real-time roof monitoring / B.T. Shen, H. Guo, A. King // *J Coal Sci Eng China* 15. – 2009 – pp. 313–317.

108. Su, O. Evaluation of various mining equipment used for roadway development in coal mines / O. Su // *Archives of Mining Sciences*. – 2019. – Vol. 64. – №. 4. – pp. 797-812.

109. Iwanec, A. M. S. Geomechanics of subsidence above single and multi-seam coal mining / A. M. S. Iwanec, J. P. Carter, J. P. Hambleton // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2016. – Vol. 8. – № 3. – pp. 304-313.

110. Sui, W. Interactions of overburden failure zones due to multiple-seam mining using longwall caving / W. Sui, Y. Hang, L. Ma et al. // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2015. – Vol 74. – pp. 1019-1035.

111. Wang, J. State-of-the-art in underground coal mining and automation technology in the United States / J. Wang, S. S. Peng, Y. Li // *Journal of China Coal Society*. – 2021. – Vol. 46. – № 1. – pp. 36-45.

112. Wang, G. 2025 scenarios and development path of intelligent coal mine / G. Wang, H. Wang, H. Ren et al. // *Journal of China Coal Society*. – 2018. – № 2. – pp. 295-305.

113. Wang, J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines / Wang J. // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2014. – Vol. 1. – pp. 253-260.

114. Wang, Y. Damage data analysis of deep coal roadway roof and application of long anchorage and zone linkage support technology / Y. Wang, N. Zhang, W. Wu et al. // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – № 13. – pp. 8092.

115. Zhao, Y. A fiber bragg grating-based monitoring system for roof safety control in underground coal mining / Y. Zhao, N. Zhang, G. Si // *Sensors*. – 2016. – Vol. 16. – № 10. – pp. 1759.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Хронометражные листы с шахтными наблюдениями за продолжительностью операций проходческого цикла



Акционерное  
Общество  
"СВЭК-Кузбасс"

ШУ Комсомолец

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер

ШУ Комсомолец

"СВЭК-Кузбасс"

*[Signature]*  
16-06-2023 г.

#### Хронометражный лист

Наименование рабочего процесса: Проведение горной выработки

Предприятие: ШУ Комсомолец

Участок №1

Дата наблюдения: 20.06.2023 г 3 смена

№ п/п	Наблюдение	Начало	Окончание	Продолжительность операции, мин.	Простой, мин
1	Пересменка	1:00	1:10		0:10
2	Проведение выработки (1 цикл) 0,6п.м.	1:10	7:45	6:35	
3	Крепление выработки (монтаж решетки)	7:45	8:02		0:17
4	Зачистка выработки от горной массы для крепления выработки	8:02	8:22		0:20
5	Крепление бортов, кровли (1 цикл)	8:22	8:50	0:28	
6	Осланцовка выработки	8:50	9:00		0:10
ИТОГО, мин				423	57

#### ВЫВОД:

Количество п.м. за 3 смену составило:	0,6 п.м.	0,4п.м. 2 смена
Машинное время (работа комбайна) составило	74,5 мин.	
Производительность	0,08 п.м./час	
Технологические запланированные простои составили:	57 мин.	
Организационные	10 мин.	

Факторы и условия работы:	
1. Угол падения выработки, градус	17
2. Категория пород	Песчаники мелко-зернистый, Алевролит
3. Креность породы	7,9
4. Сечение выработки	11,7 м <sup>2</sup>
5. Ширина выработки	4,1 м
4. Высота выработки	2,85 м

Способ транспортировки:

Скреповый конвейер → Ленточный конвейер 1200 → Скреповый конвейер → Вагонеточная откатка до МКШ

Начальник участка №1

*[Signature]*

Рисунок А.1 - Проведение выемочной выработки по породе комбайном избирательного действия



ШУ Комсомлец

Акционерное  
Общество  
"СВЭК-Кузбасс"

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер  
ШУ Комсомлец  
"СВЭК-Кузбасс"

  
26.08.2023 г.

## Хронометражный лист

Наименование рабочего процесса: Проведение горной выработки  
 Предприятие: ШУ Комсомлец  
 Участок №1  
 Дата наблюдения: 20.06.2023 г 3 смена

№ п/п	Наблюдение	Начало	Окончание	Продолжительность операции, мин.	Простой, мин
1	Пересменка	1:00	1:05		0:05
2	Проведение выработки (1 цикл)	1:05	2:45	1:40	
3	Крепление выработки (монтаж решетки)	2:45	3:00		0:15
4	Зачистка выработки от горной массы для крепления выработки	3:00	3:12		0:12
5	Крепление бортов, кровли (1 цикл)	3:12	3:43	0:31	
6	Проведение выработки (2 цикл)	3:43	5:17	1:34	
7	Крепление выработки (монтаж решетки)	5:17	5:34		0:17
8	Зачистка выработки от горной массы для крепления выработки	5:34	5:52		0:18
9	Крепление бортов, кровли (2 цикл)	5:52	6:19	0:27	
10	Проведение выработки (3 цикл)	6:19	7:55	1:36	
11	Крепление выработки (монтаж решетки)	7:55	8:10		0:15
	Зачистка выработки от горной массы для крепления выработки	8:10	8:22		0:12
12	Крепление бортов, кровли (3 цикл)	8:22	8:50	0:28	
13	Ослабцовка выработки	8:50	9:00		0:10
ИТОГО, мин				370	86,4

## ВЫВОД:

Количество циклов за смену составило:	3 цикла
Среднее значение 1 цикла составляет:	2ч.8мин
Машинное время (работа комбайна) составило	6,2 часа
Производительность	0,48 п.м./час
Технологические запланированные простои составили:	1 час 44 мин.
Организационные	5 мин

## Факторы и условия работы:

1. Угол падения выработки, градус	10
2. Категория пород	Алевролит
3. Крепость породы	5,7
4. Сечение выработки	19,8 м2
5. Ширина выработки	5,2 м
4. Высота выработки	3,8 м

Способ транспортировки:

Скреповый конвейер → Ленточный конвейер L200 → Скреповый конвейер → багеточная откатка до МКШ

Начальник участка №1

Рисунок А.2 - Проведение выемочной выработки по углю комбайном избирательного действия

## Хронометражный лист

Наименование проведения и крепление горной выработки  
Предприятие ш.им.С.М.Кирова  
Участок №7 25-03  
Дата наблюдения 22.06.2023г

№ п/п	Наблюдение	Начало	Окончание	Продолжительность операции, мин.	Простой, мин.
1	Ремонт самох. Вагона	0:00	0:35	0:35	0:35
2	Проведение выработки, выгрузка, цикл №0	0:35	0:44	0:09	
3	Крепление промежуток, бортов	0:44	0:52	0:08	
4	Проведение выработки, выгрузка, цикл №1	0:52	0:59	0:07	
5	Замена рукава на комбайне	0:59	1:31	0:32	0:32
6	Проведение выработки, выгрузка, цикл №1	1:31	1:37	0:06	
7	Заводка решетки крепление, цикл №1	1:37	1:45	0:08	
8	Проведение выработки, выгрузка	1:45	1:51	0:06	
9	Крепление промежуток, бортов	1:51	1:58	0:07	
10	Проведение выработки, выгрузка, цикл №2	1:58	2:06	0:08	
11	Заводка решетки крепление, цикл №2	2:06	2:14	0:08	
12	Загрузка, доставка крепежного материала	2:14	2:23	0:09	
13	Проведение выработки, выгрузка	2:23	2:28	0:05	
14	Крепление промежуток, бортов	2:28	2:37	0:09	
15	Проведение выработки, выгрузка, цикл №3	2:37	2:44	0:07	
16	Заводка решетки крепление, цикл №3	2:44	2:52	0:08	
17	Проведение выработки, выгрузка	2:52	2:58	0:06	
18	Крепление промежуток, бортов	2:58	3:05	0:07	
19	Проведение выработки, выгрузка, цикл №4	3:05	3:12	0:07	
20	Заводка решетки крепление, цикл №4	3:12	3:19	0:07	
21	Загрузка, доставка крепежного материала	3:19	3:25	0:06	
22	Проведение выработки, выгрузка	3:25	3:31	0:06	
23	Крепление промежуток, бортов	3:31	3:39	0:08	
24	Проведение выработки, выгрузка, цикл №5	3:39	3:45	0:06	
25	Заводка решетки крепление, цикл №5	3:45	3:53	0:08	
26	Проведение выработки, выгрузка	3:53	3:59	0:06	
27	Крепление промежуток, бортов	3:59	4:06	0:07	
28	Проведение выработки, выгрузка, цикл №6	4:06	4:12	0:06	
29	Заводка решетки крепление, цикл №6	4:12	4:21	0:09	
30	Загрузка, доставка крепежного материала, нарост в става	4:21	4:43	0:22	
31	Проведение выработки, выгрузка	4:43	4:50	0:07	
32	Крепление промежуток, бортов	4:50	4:58	0:08	
33	Проведение выработки, выгрузка, цикл №7	4:58	5:05	0:07	
34	Заводка решетки крепление, цикл №7	5:05	5:14	0:09	
35	Проведение выработки, выгрузка	5:14	5:23	0:09	
36	Крепление промежуток, бортов	5:23	5:31	0:08	
37	Проведение выработки, выгрузка, цикл №8	5:31	5:38	0:07	
38	Заводка решетки крепление, цикл №8	5:38	5:46	0:08	
39	Загрузка, доставка крепежного материала	5:46	5:54	0:08	
40	Проведение выработки, выгрузка	5:54	6:01	0:07	
41	Крепление промежуток, бортов	6:01	6:10	0:09	
42	Проведение выработки, выгрузка, цикл №9	6:10	6:18	0:08	
43	Заводка решетки крепление, цикл №9	6:18	6:28	0:10	
44	Проведение выработки, выгрузка	6:28	6:36	0:08	
45	Крепление промежуток, бортов	6:36	6:45	0:09	
46	Проведение выработки, выгрузка, цикл №10	6:45	6:53	0:08	
47	Заводка решетки крепление, цикл №10	6:53	7:02	0:09	
48	Проведение выработки, выгрузка	7:02	7:09	0:07	
49	Крепление промежуток, бортов	7:09	7:19	0:10	
50	Проведение выработки, выгрузка, цикл №11	7:19	7:26	0:07	
51	Заводка решетки крепление, цикл №11	7:26	7:34	0:08	
52	Проведение выработки, выгрузка	7:34	7:42	0:08	
53	Крепление промежуток, бортов	7:42	7:52	0:10	
54	Пересменка	7:52	8:00	0:08	0:08
<b>ИТОГО</b>				<b>8:00</b>	

ВЫВОД:  
Количество тонн с цикла 352т н.  
Проходка за смену составила 11 п.м.  
Время цикла №1 составило 34 мин.  
Время цикла №2 составило 39 мин.  
Время цикла №3 составило 28 мин.  
Время цикла №4 составило 34 мин.  
Время цикла №5 составило 27 мин.  
Время цикла №6 составило 52 мин.  
Время цикла №7 составило 33 мин.  
Время цикла №8 составило 39 мин.  
Время цикла №9 составило 35 мин.  
Время цикла №10 составило 34 мин.  
Время цикла №11 составило 33 мин.  
Среднее время цикла по проведению и креплению составило 35,2 мин.  
Среднее время цикла по выемке горной массы без простоев составило  
При условии что цикл с концевой операцией мин, то за смену можно делать

Хронометражный замер вел  
Зам. Начальника участка №7



Рисунок А.3 - Проведение выемочной выработки по углю комбайном фронтального действия

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Журналы фотофиксации лабораторного эксперимента

Таблица Б.1 – Журнал фотофиксации, отработка модели без крепления (14.05.2024)

Время	№ Фото	Нагрузка, кг	Примечания
~11:30	0	0	
~11:30	1	400	Проходка, осыпание ложной кровли сразу после проходки
11:55	3	270	До установки тензоскоб
12:00	4-5	350	До установки оргстекла
12:10	6	400	Установка оргстекла
12:20	7	400	
12:30	8	600	Повышение нагрузки до 600 перед снимком, выход на номинальную нагрузку
12:40	9	600	
12:50	10	600	
13:00	11	700	Повышение нагрузки до 700 перед снимком
13:10	12	700	
13:20	13	700	
13:30	14	800	Повышение нагрузки до 800 перед снимком, обрушение кровли
13:40	15	800	
13:50	16	800	
14:00	17	900	Повышение нагрузки до 900 перед снимком
14:10	18	900	Начинает активно сбрасывать нагрузку
14:20	19	850	
14:30	20	800	
14:40	21	840	
14:50	22	900	
15:00	23	880	
15:13	25	950	
15:xx	26	1100	Сбрасывает с 1100 до 1000 за 30 секунд; начало постоянного увеличения нагрузки
	27	1100	
	28	1100	
	29	1100	Разрушение бортов
	30-44		Серия снимков полного разрушения

Таблица Б.2 – Журнал фотофиксации, отработка модели с 4 анкерами (06.05.2024)

Время	№ Фото	Нагрузка, кг	Примечания
15:xx	0	0	
15:27	1	400	Проходка
15:30	2	600	Достижение номинальной нагрузки
15:40	3	600	
15:50	4	700	Повышение нагрузки до 700 перед снимком
16:00	5	700	
16:10	6	800	Повышение нагрузки до 800 перед снимком
16:20	7	800	
16:30	8	1000	Повышение нагрузки до 1000 перед снимком
16:40	9	1000	
16:50	10	1200	Повышение нагрузки до 1200 перед снимком; начинает активно сбрасывать нагрузку
17:00	11	1200	Сброс нагрузки с 1200 до 1100 за 30 секунд
17:10	12	1200	
		1300	Полное разрушение

Таблица Б.3 – Журнал фотофиксации, отработка модели с 6 анкерами (26.04.2024)

Время	№ Фото	Нагрузка, кг	Примечания
16:20	1		
16:24	2	400	Проходка
16:58	4	600	Достижение номинальной нагрузки
16:59	5	500	
17:10	6	600	
17:20	7	600	
17:30	8	550	
17:31	9	700	
17:41	10	600	
17:51	11	700	
18:01	12	700	
18:04	13	800	
18:14	14	770	
18:24	15	760	
18:29	16	900	
18:31	17	1000	
18:41	18	1000	
18:51	19	1200	
19:01	20	1100	
19:11	21	1200	
19:31	23	1075	
19:41	24	1150	
19:49	25	1400	
19:59	26	1400	
20:09	27	1600	Разрушение, сброс с 1600 до 1500 за 30 секунд
20:15	28	1700	Разрушение, сброс с 1700 до 1520 за 30 секунд
20:18	29	1600	Разрушение, сброс с 1600 до 1500 за 30 секунд
20:19	30	1600	Разрушение, сброс с 1600 до 1500 за 30 секунд
20:19	31	1400	
20:20	32	1200	
20:20	33	1200	
20:21	34		
20:21	35	1000	
	36		
	37		
20:25	42	570	

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Акт внедрения



Утверждаю:

Исполнительный директор  
АО «НЦ ВостНИИ»  
канд. техн. наук  
В.В. Семенцов

19.06.2024

АКТ о внедрении (использовании) результатов  
кандидатской диссертации  
**Апарина Алексея Геннадьевича**  
по научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Комиссия (НТС, рабочая, специальная) в составе:

Председатель: Осминин Д.В. - Заведующий лабораторией горной геомеханики, к.т.н.;

Члены комиссии: Нифанов Е.В. - Заместитель заведующего лабораторией горной геомеханики;

Шабалин М.П. – старший научный сотрудник лаборатории горной геомеханики, составили настоящий акт о том, что результаты эксперимента по исследованию поэтапного анкерного крепления на моделях из эквивалентных материалов, в рамках написания диссертации на тему «Обоснование технологических схем скоростного проведения выемочных выработок с увеличением коэффициента машинного времени комбайнов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, приняты к сведению АО «НЦ ВостНИИ», использованы в качестве рекомендаций при ведении научного сопровождения горных работ, составлении заключений по параметрам крепи горных выработок, которые выполняются в АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли»:

1. Заключение по параметрам крепи проектируемых горных выработок по пласту 78 н.п. в условиях шахты «Увальная 2» № ЛГМ 24 – 05;

2. Методика и программа научно-исследовательских работ по уменьшению длины анкеров подвески монорельсовой дороги по выработкам пластов 26 и 25 в условиях ООО «ММК-УГОЛЬ» Шахта «КОСТРОМОВСКАЯ» № ЛГМ 24 – 11.

Использование указанных результатов позволит повысить скорость проведения выемочных выработок комбайновым способом на угольных шахтах при отработке пологих пластов средней мощности.

**Председатель комиссии:**

Заведующий лабораторией  
«Горной геомеханики»

Осминин Д.В., к.т.н.

**Члены комиссии:**

Заместитель заведующего лабораторией  
горной геомеханики

Нифанов Е.В.

старший научный сотрудник лаборатории  
горной геомеханики

Шабалин М.П.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г  
 Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2805691**

**СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ  
 РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Сидоренко Андрей Александрович (RU), Апарин  
 Алексей Геннадьевич (RU), Сидоренко Сергей  
 Александрович (RU), Сиренко Юрий Георгиевич (RU)*

Заявка № **2022132438**

Приоритет изобретения **12 декабря 2022 г.**

Дата государственной регистрации  
 в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **23 октября 2023 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **12 декабря 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
 по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
 Сертификат 429b6a0fe3853164ba9f6f83b73b4aa7  
 Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**  
 Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

*Ю.С. Зубов*

