

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

*На правах рукописи*

Евсюкова Алина Анатольевна



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ  
ВЫРАБОТОК ПО ПОЛОГИМ УГОЛЬНЫМ ПЛАСТАМ С ОСТАВЛЕНИЕМ  
ПОРОДЫ В ШАХТЕ

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

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

Санкт-Петербург – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>10</b>
1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок на шахтах Восточного Донбасса.....	10
1.2 Анализ мирового опыта проведения и поддержания подготовительных выработок при отработке тонких пластов на больших глубинах .....	14
1.3 Обзор технической литературы, нормативной базы проектирования паспортов проведения и крепления выработок при разработке тонких пологих пластов.....	22
1.4 Особенности применяемой технологии проведения и поддержания подготовительных выработок.....	25
1.5 Выводы по главе 1 .....	30
<b>ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК С ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ .....</b>	<b>32</b>
2.1. Общие положения .....	32
2.2 Оценка возможностей технологий проходки выработок с оставлением породы в выработанном пространстве за лавой .....	32
2.3 Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок широким ходом.....	37
2.4 Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте с использованием комплекта короткозабойного оборудования .....	41
2.5 Выводы по главе 2.....	48
<b>ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОХОДКЕ СПАРЕННЫХ ВЫРАБОТОК С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА.....</b>	<b>50</b>
3.1 Выбор метода проведения исследований .....	50
3.2 Исходные горно-геологические условия моделирования. Расчет необходимых физико-механические свойств эквивалентных материалов .....	52
3.3 Изготовление модели. Подготовительные операции .....	55

3.4 Исследование устойчивости кровли в заходках при выемке межштрекового целика .....	58
3.5 Выводы по главе 3 .....	61
<b>ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ СПАРЕННЫХ ВЫРАБОТОК С ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ .....</b>	<b>63</b>
4.1 Общие положения .....	63
4.2 Обоснование параметров ширины выработки и межштрекового целика.....	64
4.3 Обоснование параметров межтрековой породной полосы.....	65
4.4 Обоснование параметров проходческого цикла .....	70
4.5 Обоснование области применения схем .....	76
4.6 Выводы по главе 4.....	82
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>83</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>85</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Журнал отработки модели из эквивалентных материалов.....</b>	<b>98</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт внедрения.....</b>	<b>100</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Патент на изобретение .....</b>	<b>101</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Значительная часть подземной угледобычи на шахтах РФ сосредоточена на тонких и средней мощности пластах. Проходка выработок по пластам мощностью менее высоты выработки сопровождается присечкой пород кровли и (или) почвы, причем площадь присекаемых пород может превышать 60% площади поперечного сечения выработки. Так, на шахтах Восточного Донбасса выработки по пластам мощностью до 1,2 м проводятся буровзрывным способом с присечкой более 9 м<sup>3</sup> породы на 1 погонный метр выработки при проходке. Скорость проходки при этом составляет 120 м/мес. Кроме того, при бесцеликовой подготовке выемочных участков с сохранением выработок за лавой для их повторного использования в целях поддержания эксплуатационного сечения выработки объемы подрывки почвы могут достигать 8 м<sup>3</sup> на 1 погонный метр. Таким образом, применяемые технологии проведения и поддержания выработок не обеспечивают их безремонтного поддержания, предполагают присечку, выдачу на поверхность и складирование в отвалы до 150 тыс. т породы ежегодно, могут ограничивать использование потенциала очистных механизированных комплексов (ОМК) вследствие недостаточной скорости проходки для воспроизводства фронта очистных работ.

Переход на комбайновую проходку выработок по тонким и средней мощности пластам при бесцеликовой подготовке может повысить скорость проходки выработок, но не решает вопросов безремонтного поддержания и оставления породы в шахте. Применяемые ранее технологии проходки выработок широким ходом позволяют оставлять породу в шахте, улучшить условия поддержания выработок, но характеризуются высокой трудоемкостью и низкой скоростью проходки. Таким образом, с точки зрения оставления породы в шахте, обеспечения благоприятных условий поддержания выработок и технологических возможностей очистной выемки наибольший интерес представляют технологии проведения спаренных выработок широким ходом с оставлением породы в выработанном пространстве между выработками. При этом необходим поиск

технических решений, обеспечивающих приемлемую скорость и трудоемкость работ по проведению и поддержанию выработок.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучением вопросов проведения и поддержания выработок при разработке тонких и средней мощности пологих угольных пластов занимались многие ученые. Большой вклад в решение этих задач внесли: Борисов А.А., Долгий И.Е., Жихарев С.Я., Зубов В.П., Казанин О.И., Кузнецов Ю.Н., Мельник В.В., Нонг Жанг, Розенбаум М.А., Сид Пенг, Черняк И.Л., Шабаров А.Н., Штумпф Г.Г., Якоби О. и др. Проведенные исследования позволили разработать технологические схемы проходки выработок, способы охраны и управления состоянием массива для обеспечения эксплуатационного состояния выработок в течение срока службы, определить основные принципы выбора параметров технологий. Вместе с тем, разработка эффективной технологии проведения и поддержания спаренных выработок с оставлением породы в шахте требует дополнительных исследований и обоснования выбора средств механизации, технологии и организации работ по проходке выработок и закладке породы, параметров паспортов крепления и пр.

**Объект исследования** – технологии отработки тонких и средней мощности пологих угольных пластов на больших глубинах.

**Предмет исследования** – технологии проведения и поддержания спаренных выработок, оконтуривающих выемочные участки на угольных шахтах с оставлением породы в шахте.

**Цель работы** – повышение эффективности технологии проведения и поддержания выработок по тонким и средней мощности пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте.

**Идея** заключается в переходе от одиночных к спаренным выработкам для подготовки выемочных участков, с использованием комплекта короткозабойного оборудования для проходки выработок и выемки целика между ними с оставлением породы от проходки в межштрековом выработанном пространстве.

#### **Задачи исследования**

1. Провести анализ мирового опыта и научных достижений в области

проведения выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов с оставлением породы в шахте.

2. Разработать способ проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте с использованием комплекта короткозабойного оборудования.

3. Провести исследования устойчивости спаренных выработок, разделенных породной полосой в период их проведения и поддержания.

4. Разработать алгоритм выбора параметров разработанной технологии проходки спаренных выработок.

5. Оценить экономическую эффективность и определить область применения предлагаемых технологических решений.

#### **Научная новизна работы:**

1. Установлена зависимость величины смещений кровли выработок и заходок от параметров обнажения кровли при выемке межштрекового целика.

2. Установлена зависимость экономического эффекта в результате оставления породы в шахте от параметров технологических схем в условиях шахты «Обуховская».

**Соответствие паспорту специальности.** Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пунктам:

5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых».

7 «Способы управления состоянием подрабатываемых породных массивов, исключаяющие 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».

12 «Организация производства при ведении открытых и подземных работ и развитии механизации технологических процессов» области исследований паспорта научной специальности.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Разработан способ проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте, обеспечивающий переход от одиночных к спаренным выработкам для подготовки выемочных участков, а также более благоприятные по сравнению с применяемой технологией условия для очистных работ и поддержания выработок (патент на изобретение № 2827324, Приложение В);

2. Установлены зависимости смещений кровли межштрекового выработанного пространства, от горно-геологических и горнотехнических факторов, позволяющие определить предельно допустимую площадь обнажения кровли, при которой не требуется крепление;

3. Установлены условия, определяющие техническую возможность и экономическую целесообразность перехода на проходку спаренных выработок с оставлением породы в шахте.

4. Результаты исследований использованы в ООО НИПИ «Недра» при научном сопровождении горных работ при проектировании угольных шахт (акт о внедрении от 18.03.2025, Приложение Б).

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

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Наиболее предпочтительный вариант оставления в шахте породы от проходки выработок по тонким пологим пластам реализуется при переходе от бесцеликового способа подготовки к подготовке выемочных участков спаренными выработками с проведением выработок и отработкой межштрекового целика комплектом короткозабойного оборудования с отдельной выемкой угля и породы.

2. Устойчивость спаренных выработок, разделенных породной полосой, обеспечивается при рациональной ширине полосы, ее несущей способности не выше несущей способности угольного целика такой же ширины, анкерном креплении выработок и заходок в период проходки, не допускающим обнажений кровли выше установленных для заданных горно-геологических условий предельных значений.

3. Разработанная технология проходки спаренных выработок для подготовки выемочных участков по пластам мощностью 1,1-1,8 м для условий Восточного Донбасса обеспечивает оставление породы в шахте, благоприятные условия для очистных работ и поддержания выработок, что позволяет получить экономический эффект по сравнению с бесцеликовыми схемами до 120 млн. руб. в год.

**Степень достоверности** защищаемых положений, основных выводов и рекомендаций обеспечивается представленным объемом данных шахтных наблюдений; использованием современных апробированных методов исследований, включающих физическое моделирование процессов смещения кровли в выработанном межштрековом пространстве при отработке заходки, численные исследования напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки методом конечных элементов при различной жесткости межштрековых целиков; удовлетворительной сходимостью результатов лабораторных и численных исследований.

**Апробация результатов диссертации** проведена на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 5 международных. За последние 3 года принято участие в 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных:

1. Международный научный симпозиум «Неделя Горняка-2023» (январь 2023 года, г. Москва);
2. IX Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (май 2023 года, г. Санкт-Петербург);
3. Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования 2023» (апрель 2023 года, г. Санкт-

Петербург);

4. Международный научный симпозиум «Неделя Горняка-2024» (январь 2024 года, г. Москва);

5. Международном научном симпозиуме «Неделя Горняка-2025» (январь 2025 года, г. Москва).

**Личный вклад автора** заключается в формулировке цели и задач исследований, выборе метода проведения и выполнении численных исследований, физического моделирования, обобщении результатов исследований, формулировании основных положений и выводов, подготовке публикаций по теме исследований.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 4 печатных работах (пункты списка литературы № 32, 33, 35, 36), 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 издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение (пункт списка литературы №59, Приложение В).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 102 наименования, и 3 приложений. Диссертация изложена на 101 странице машинописного текста, содержит 44 рисунка и 6 таблиц.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору РАН д.т.н., доценту Казанину Олегу Ивановичу, д.т.н., профессору Зубову Владимиру Павловичу, коллективу кафедры разработки месторождений подземным способом за помощь, наставления и поддержку в процессе работы над диссертацией, а также сотрудникам лаборатории моделирования научного центра геомеханики и проблем горного производства за содействие в проведении экспериментальных исследований.

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

### **1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок на шахтах Восточного Донбасса**

Угольная сырьевая база восточной части Донецкого бассейна (Восточный Донбасс), расположенной на территории Ростовской области оценивается в 14,271 млрд тонн, в том числе: балансовые запасы категорий А + В + С1 – 6,468 млрд тонн, категории С2 – 3,158 млрд тонн; забалансовые запасы – 3,815 млрд тонн; прогнозные ресурсы категории Р1 – 751 млн тонн, категории Р2 – 79 млн. тонн. Балансовые запасы подсчитаны до глубины 1500 м; для Южно-Каменского участка № 4 запасы оценены до глубины 1700 м; Южно-Каменского участка № 2 – до глубины 2300 м.

В недрах Восточного Донбасса содержатся угли всех марок. Разведанные запасы (категорий А + В + С1) представлены на 86,15% антрацитами, на 13,42% – каменными углями (из них коксующиеся – 3,9%), на 0,43% – бурыми углями. Три четверти запасов коксующихся углей представлены углями особо ценных марок КЖ, К, ОС.

Антрациты – наиболее калорийное твердое топливо. По качественным характеристикам ростовские антрациты являются уникальными, характеризуются высокой степенью метаморфизма (показатель, во многом определяющий другие характеристики качества угля), в связи с чем имеют широкий спектр применения [5].

В 2022 году шахтный фонд Восточного Донбасса представлен 5 шахтами. С начала реструктуризации количество действующих шахт сократилось с 64 в 1995 году до 5 в 2022 году. В 2022 году добыча ведется на шахтах «Садкинская», «Шерловская-Наклонная», «Обуховская», «Дальняя», «Ростовская». На шахтах применяются системы разработки длинными столбами по простиранию, восстанию или падению, с полным обрушением кровли и бесцеликовыми схемами подготовки выемочных участков.

Из числа оставшихся после реорганизации угольной промышленности

наиболее значимой считается шахта «Обуховская» с проектной мощностью 3,0 млн т в год.

На шахте «Обуховская» к отработке предусмотрен пласт  $k_2$  мощностью 1,28-1,47 м. Глубина ведения горных работ составляет 705-810 м.

Основные горно-геологические и горнотехнические характеристики шахты представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Горно-геологические и горнотехнические характеристики пласта шахты (по данным автора)

№ п/п	Наименование	Шахта «Обуховская»
1	Количество очистных забоев, шт.	2
2	Количество проходческих бригад, шт.	6
3	<b>Показатели работы за 2022 год:</b>	
3.1	Добыча за 2022 год, тыс. тонн	1 454,6
3.2	Зольность горной массы, %	38,5
3.3	Влага, %	5,8
3.4	Нагрузка на очистные забои, т/сут.	3 271,0
3.5	Проведение горных выработок, п.м.	3 797,0
4	Категория шахты по газу	Не опасная
5	Опасность шахты по пыли	Не опасная
6	Опасность разрабатываемых пластов к самовозгоранию	Не склонен
7	Опасность по внезапным выбросам угля, породы и газа	Не опасная
8	Опасность шахты по суфлярным выделениям метана	Не опасная
9	Удароопасность пласта	Угрожаемый с глубины 860 метров

Проведение подготовительных выработок предусматривается по пласту  $k_2$  буровзрывным способом с подрывкой пород почвы и кровли. Бурение шпуров в забое производится при помощи машины УБШ-313А. Бурение шпуров под анкера по кровле и их установку производится при помощи пневматической буровой установкой MQT-120, по бортам - перфоратором УТ-28. Проветривание производится вентилятором местного проветривания типа ВМЭВО-6,7А. Отбитая горная масса из забоя погрузочной машиной БПР грузится на скребковый конвейер СП-202, далее перегружается на ленточный конвейер KL1200 и далее поступает на ленточный конвейер 1Л1000 в конвейерном уклоне.

Опыт проведения выработок показывает, что при этом возникает ряд проблем, связанных с обеспечением устойчивости кровли на больших глубинах,

своевременного и качественного крепления, исключая случаи вывалообразования и завалов выработок. При этом скорость проведения выработок иногда составляет 25-30 м/мес., что в свою очередь приводит к срыву запланированных сроков ввода лав в эксплуатацию, потере добычи и экономическому ущербу.

На шахте «Обуховская» широкое распространение для крепления выработок получили комбинированные крепи, состоящие из сочетаний анкерной сталеполимерной, рамной поддерживающей крепи и анкерной сталеполимерной двухуровневой крепи. Широко применяются анкера типа СПА20В и А20В. В настоящее время более 90 % поддерживаемых выработок закреплено рамными крепями. Однако, в связи ростом глубины, а также усложняющимися горно-геологическими условиями отработки угольных пластов, до 30 % выработок, закрепленных рамными крепями, в процессе эксплуатации ремонтируются, что повышает себестоимость угля. Кроме того, металлические рамные крепи обладают такими недостатками, как высокая металлоемкость, низкая степень механизации процесса ее установки, и, как следствие, ограничение темпов проведения.

Ведение горных работ на шахтах осложнено тем, что с увеличением глубины ведения работ (переходом на горизонт -500м), при отработке выемочных столбов, применяемые способы охраны штреков на границе с выработанным пространством (два ряда БДБ с органной крепью) не обеспечивают их безремонтного состояния перед повторным использованием, а повышенный уровень дефектности выработок значительно затрудняет ведение очистных работ. Проведенный анализ состояния выработок, примыкающих к очистным забоям на шахте АО «Обуховская», показал в ряде случаев интенсивное проявление пучения почвы выработок, которое может перекрывать до 90% сечения. Объемы пучения представлены на рисунке 1.1.

В большинстве случаев пучение почвы выработок происходит при значительной длине горных выработок, что приводит к увеличению затрат на их поддержание и ремонт [71, 64]. В ближайшей перспективе работа на шахтах АО «Обуховская» и «Дальняя» будет вестись в аналогичных горно-геологических условиях. Негативное воздействие зон ПГД будет усугубляться вследствие

увеличения длины выемочных столбов и глубины ведения работ [54].

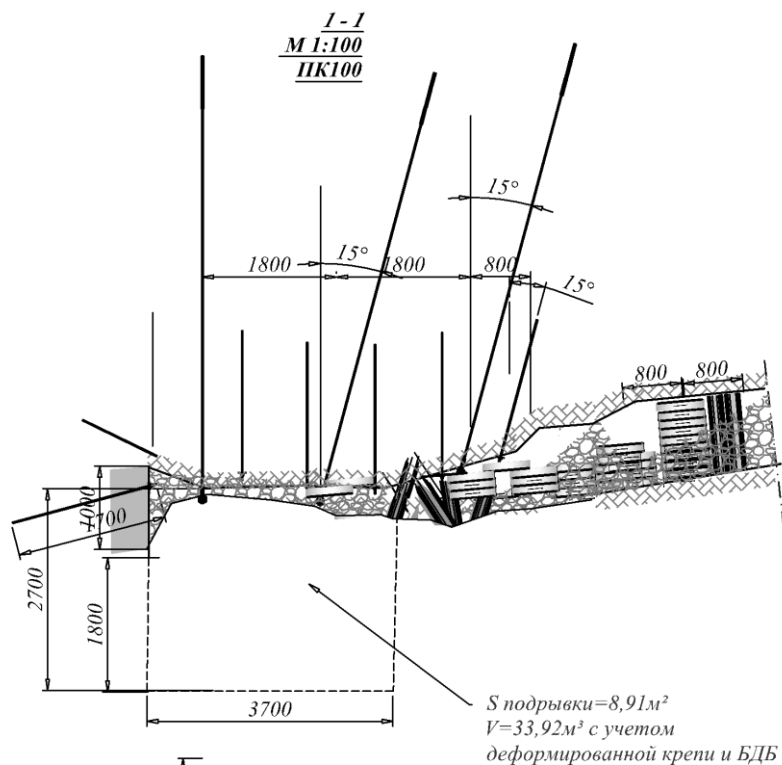


Рисунок 1.1 – Состояние штрека, сохраняемого для повторного использования на шахте «Обуховская» (составлено автором)

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания подготовительных выработок на шахтах Восточного Донбасса показывает, что, несмотря на значительные запасы угля (в том числе высококачественных антрацитов) и относительную безопасность шахт по ряду факторов (газ, пыль, самовозгорание и др.), ведение горных работ сопряжено с серьёзными сложностями — прежде всего из-за увеличения глубины отработки (в том числе переход на горизонт -500 м и более). Ключевые проблемы включают недостаточную устойчивость кровли, пучение почвы выработок (до 90 % сечения), высокую долю ремонтируемых выработок (до 30 % при использовании рамных крепей), ограничения темпов проходки, что ведёт к срыву сроков ввода лав, росту себестоимости угля и экономическому ущербу; при этом применяемые технологии крепления и охраны выработок (в том числе комбинированные крепи, БДБ с органной крепью) не обеспечивают их безремонтного состояния. В перспективе в связи с ростом глубины ведения работ условия поддержания выработок будут еще более осложняться.

## **1.2 Анализ мирового опыта проведения и поддержания подготовительных выработок при отработке тонких пластов на больших глубинах**

Безремонтное поддержание подготовительных выработок является одним из условий обеспечения эффективности и безопасности подземной угледобычи. Потеря устойчивости выработок, оконтуривающих выемочные участки, приводит к уменьшению свободного для прохода воздуха сечения выработок, дополнительным затратам на ремонт, простоям высокопроизводительного оборудования очистных забоев. При общих тенденциях по увеличению размеров выемочных участков, повышению интенсивности ведения очистных и проходческих работ на фоне увеличения глубины ведения горных работ, решение вопросов безремонтного поддержания выработок приобретает особую актуальность.

Подземная угледобыча на шахтах РФ сосредоточена, главным образом, на пологих пластах. При этом мощность отрабатываемых пластов колеблется от 0,9 до 10,0 м, глубина ведения горных работ – от 100 до 1100 м. Выработки проводятся, как правило, прямоугольной формы поперечного сечения с использованием анкерной крепи в качестве основной. Также в последнее время на угольных шахтах России и за рубежом широкое распространение для крепления выработок получили комбинированные крепи, состоящие из сочетаний анкерной сталеполлимерной, рамной поддерживающей крепи и (или) анкерной сталеполлимерной двухуровневой крепи [34, 50, 70]. В зоне влияния опорного давления лавы устанавливается крепь усиления, которая может быть представлена канатными анкерами, дополнительными стойками или сочетанием канатных анкеров и стоек. Наиболее сложные условия поддержания имеют подготовительные выработки при бесцеликовых схемах подготовки при ведении горных работ на больших глубинах. В этих случаях, для поддержания выработок за лавой на границе с выработанным пространством возводятся различные охранные сооружения. В качестве охранных сооружений, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий применяются органные ряды, костры, полосы из золоблоков, блоками из

железобетонных тумб, могут применяться породные полосы, литые полосы и пр. Устойчивость выработок определяется множеством различных факторов, в связи с чем выбор рационального сочетания формы и размеров поперечного сечения, типа основной крепи и крепи усиления, охранных сооружений и их параметров, способов управления состоянием массива вокруг выработок по-прежнему остается актуальной задачей для горной науки и практики.

Широкое распространение на шахтах РФ имеют системы разработки угольных пластов длинными столбами с использованием для подготовки выемочных участков спаренными выработок, разделенных неизвлекаемыми целиками. С увеличением глубины ведения горных работ размеры целиков могут достигать 30 метров и более, что приводит к увеличению эксплуатационных потерь угля. На шахтах, отрабатывающих пласты на больших глубинах (Воркутское месторождение, Восточный Донбасс) по-прежнему применяются бесцеликовые схемы подготовки, предполагающие сохранение выработок за лавой для повторного использования. Несмотря на масштабные исследования состояния массива вокруг выработок и его изменений в процессе отработки выемочных участков, применения различных охранных сооружений и способов управления состоянием массива, на сегодняшний день практически не удается обеспечить безремонтное поддержание выработок на протяжении всего срока службы при глубине разработки более 500 м.

Анализ применяемых на шахтах охранных сооружений для поддержания выработок на границе с выработанным пространством показал, что наибольший объем использования приходится на деревянные ограждения: костры, органную крепь [90, 61, 48, 28]. Их существенными недостатками являются несовершенство механических характеристик, преждевременная поломка стоек органного ряда, медленное нарастание сопротивления и большая величина податливости костровой крепи. Кроме того, на один выемочный столб для заготовки древесины для изготовления органной крепи может потребоваться более 1,5 га леса. На шахтах, отрабатывающих Воркутское месторождение, применение в качестве охранных сооружений трехрядных органных рядов в сочетании с мероприятиями по

усилению крепи в зоне влияния опорного давления лавы оказалось малоэффективным на глубинах более 500 м. Потери сечения выработок достигали 65%, а объемы подрывки почвы – до 4 м<sup>3</sup>/м длины выработки.

Охрана выработок литыми околоштрековыми полосами предполагает возведение на границе с выработанным пространством жесткой полосы из быстротвердеющего состава [29, 6, 69]. Достоинством таких полос являются быстрый набор прочности и создание необходимого сопротивления смещающемуся массиву, обеспечение плотного контакта между полосой и поддерживаемой кровлей, а также возможность механизации их возведения [79]. В качестве недостатка можно отметить высокую стоимость материалов для возведения полос.

Технология охраны выработок за лавой, разработанная в КНР для применения при отработке мощных пологих склонных к самовозгоранию пластов системами с обрушением и выпуском подкровельной толщи угля представлена на рисунке 1.2.

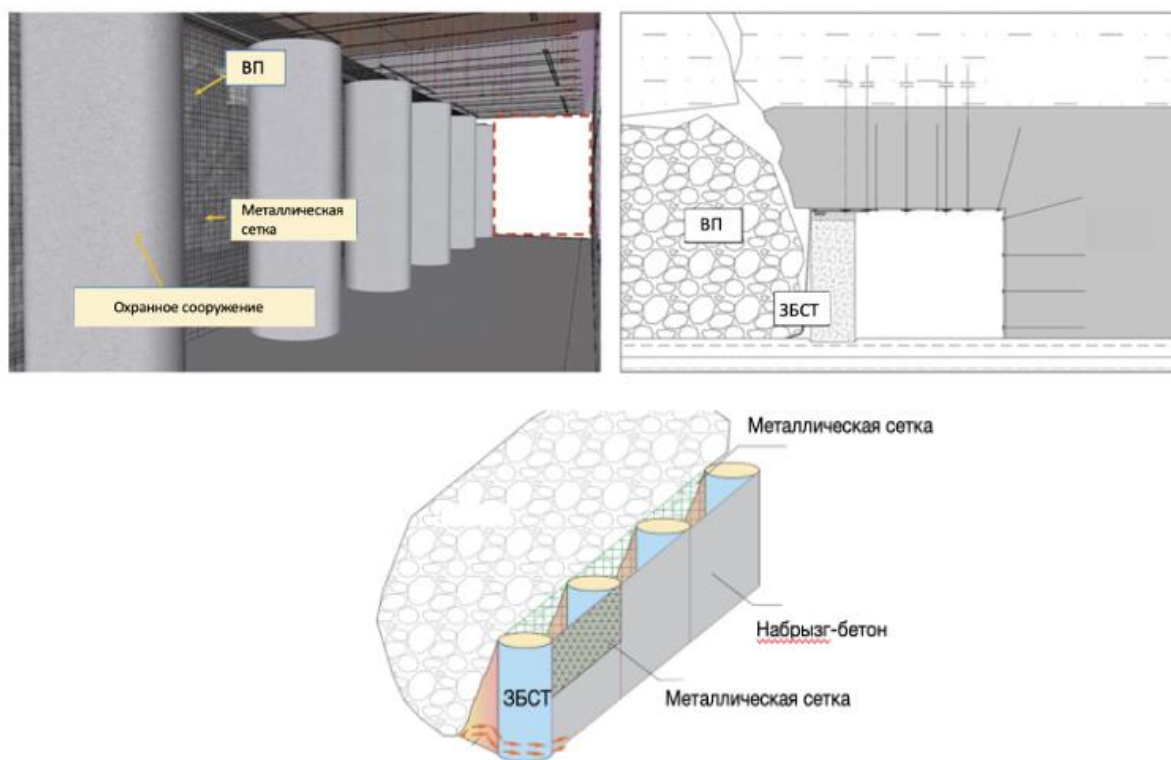


Рисунок 1.2 – Охрана выработки на границе с выработанным пространством с использованием ЗБСТ [91]

Требования к охранным сооружениям включали помимо обеспечения сохранности выработки, изоляцию выработанного пространства для исключения утечек воздуха и формирования очагов самовозгорания угля. Охранное сооружение включает в себя заполненные бетоном стальные трубы (ЗБСТ), установленные с шагом до 2 м, между которыми натянута металлическая сетка с внешней и металлический сетчатый слой и ткань с внутренней стороны тумб, на который наносится набрызг-бетон [91, 88, 83].

Внедрение технологии на шахте Вонг-Жанг (КНР) показало эффективность применения ЗБСТ в качестве охранных сооружений для выработок, сохраняемых для повторного использования, применение технологии позволило практически на 30% снизить потери угля в охранных целиках, обеспечить безремонтное поддержание выработок и избежать формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве [99]. Вместе с тем, такая технология характеризуется высокой стоимостью материалов и трудоемкостью их транспортирования, а также возведения охранных сооружений.

Широкое распространение для охраны выработок на шахтах Китая получили стены из бетонных блоков [101]. Недостатком этого способа является большое количество используемых бетонных блоков и слабая устойчивость стены вследствие слабой связи между блоками. Для экономии материалов при обеспечении достаточной несущей способности для сохранения выработки была предложена полая конструкция стены из блоков [92]. Для обеспечения соединения блоков и устойчивости охранного сооружения разработана конструкция блочной стены, которая отвечает данным требованиям изображена на рисунке 1.3.

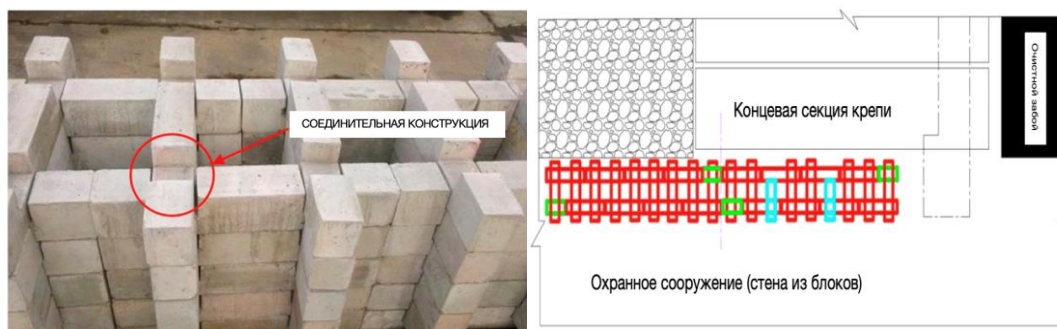


Рисунок 1.3 – Охрана выработки на границе с выработанным пространством с использованием стены из блоков [92]

Применение в качестве охранных сооружений полос из золобетонных блоков на шахтах Печорского бассейна показало возможность и целесообразность их использования для обеспечения устойчивости выработок, поддерживаемых за лавой, при бесцеликовых схемах подготовки выемочных участков [93]. При этом, для изготовления золоблоков использовалась зола из золоотвалов местной ТЭЦ, то есть процесс производства золоблоков можно рассматривать и как утилизацию отходов потребления угля.

Для шахт Восточного Донбасса применение бесцеликовых схем подготовки выемочных участков с сохранением выработок за лавой для повторного использования осложняется необходимостью выполнения трудоемких работ по ремонту выработок. Примеры применяемых способов крепления и охраны выработок, сохраняемых для повторного использования, приведены на рисунке 1.4.

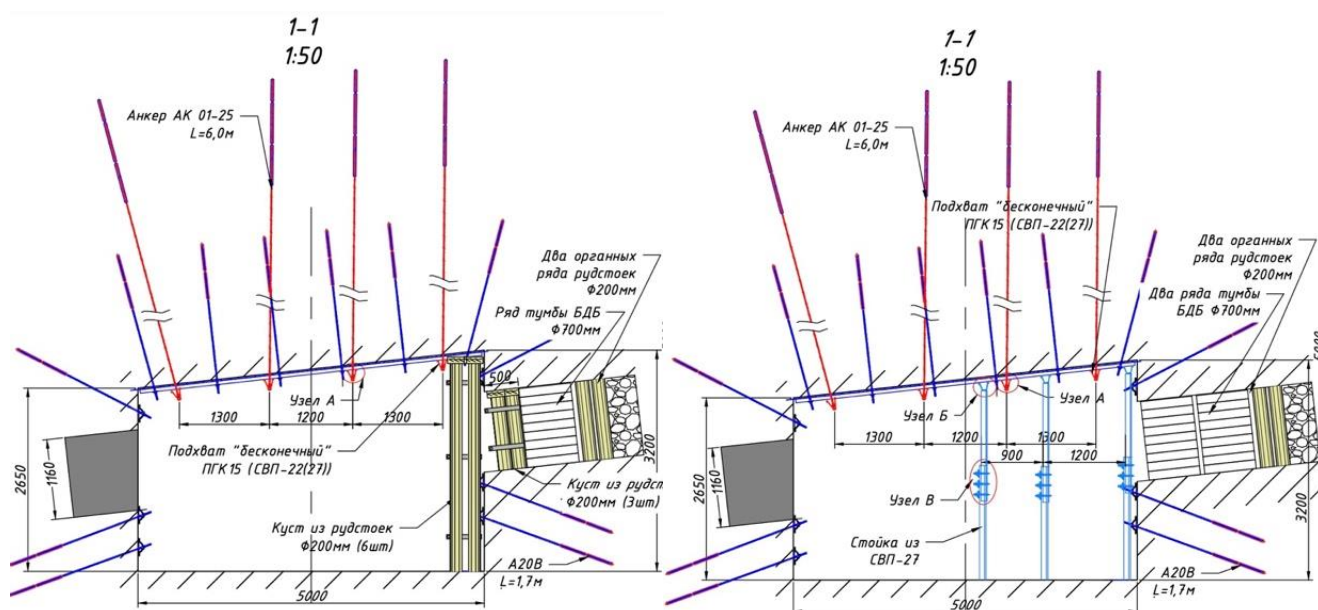


Рисунок 1.4 – Примеры схем крепления и охраны подготовительных штреков [36]

Как видно из рисунка 1.4, подготовительные выработки проводятся, трапецевидной формы поперечного сечения с плоской кровлей. В качестве основного вида крепи применяется анкерная двухуровневая крепь: сталеполимерные анкера в кровлю (до 6 шт.) и борта выработки длиной 1,7 м в сочетании с канатными анкерами (4 шт.) в кровлю длиной 6,0 м. Также применяется крепь усиления в виде деревянных или металлических стоек. Для охраны выработок за лавой применяются охранные сооружения в виде тумб из

бетонных блоков (БДБ) в один или два ряда в сочетании с органной крепью [36]. Возможны различные комбинации с возведением охранных сооружений не только на границе с выработанным пространством, но и внутри выработки за лавой. Вместе с тем даже применение всего комплекса крепей и охранных сооружений не обеспечивает безремонтного поддержания выработок.

Как показывает практика, интенсивное пучение почвы выработок за лавой вызывает необходимость подрывки почвы. В ряде случаев объемы подрывки могут превышать  $8 \text{ м}^3/\text{м}$  длины выработки рисунок 1.5.

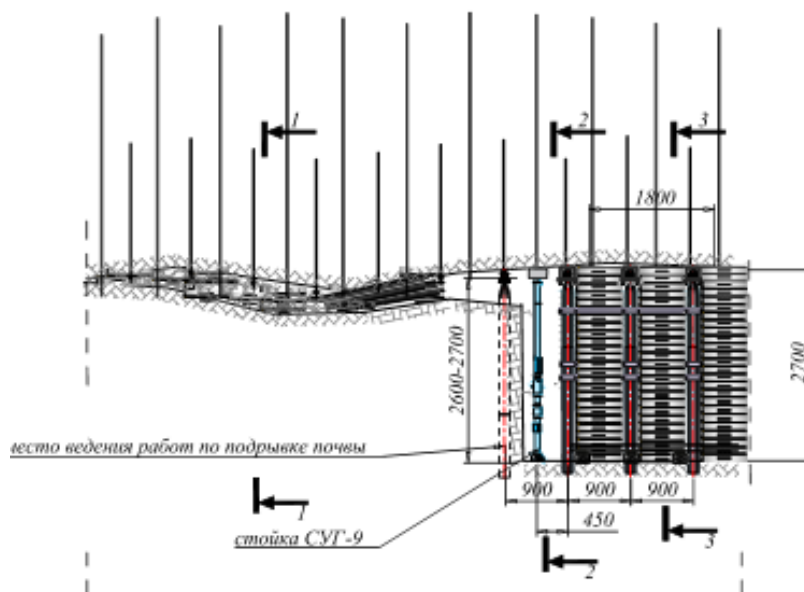


Рисунок 1.5 – Фрагмент паспорта на подрывку почвы в конвейерном штреке АО «Шахтоуправление «Обуховская» [36]

Помимо затрат на подрывку почвы, отбитую породу необходимо транспортировать внутри шахты, поднимать на поверхность, транспортировать и размещать в отвалах. Кроме того, при проходке выработок по тонким пластам присечка породы может превышать 60% от площади поперечного сечения выработки.

При проведении выработок вприсечку или при переходе на подготовку выемочных участков спаренными выработками с неизвлекаемыми целиками между ними возрастает удельная протяженность проводимых выработок и, соответственно, затраты на их проведение, а также объем извлекаемой на поверхность породы. Выработки проводятся сплошным забоем, отбитая при

проходке горная масса смешивается с углем из очистных забоев, что приводит к повышению зольности извлекаемой на поверхность горной массы, увеличению затрат на обогащение.

Таким образом, с учетом возрастаемых требований к горным технологиям в отношении воздействия производства на окружающую среду, представляют интерес способы охраны выработок с использованием в качестве материалов охранных сооружений породы от проходки (восстановления сечения) выработок.

Для принятия рационального решения по выбору способа поддержания выработки в определенных горно-геологических условиях необходим достоверный прогноз напряженно-деформированного состояния массива вокруг горных выработок и его изменений при ведении горных работ с учетом нелинейных процессов деформирования и разрушения структурированных горных массивов [96, 8, 14].

Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков спаренными выработками, проводимыми широким ходом, с размещением породы от проходки в раскоске между выработками, представлены в альбоме технологических схем разработки пластов на угольных шахтах 1991 года [73]. Там же предложены 5 вариантов технологических схем проведения спаренных выработок по пластам, мощностью от 0,8 м до 2,0 м с возведением породной полосы комплексами «Титан-1» или ЗК-03. Проходка выработок предполагается с помощью БВР при мощности пласта до 1,6 м и с помощью проходческих комбайнов на пластах большей мощности. Выработки проводятся арочной формы, сечением в свету не менее 8,5-10,4 м<sup>2</sup> с использованием для крепления рамной металлической крепи КМП-А3 или КМП-А5 и шириной породной полосы не менее 8 м. При этом скорость проходки выработок предполагается от 1,6 м/сут (тонкие пласты, проходка с помощью БВР) до 5 м/сут (пласты средней мощности, проходка с помощью комбайнов). На современных шахтах такая скорость проходки выработок не обеспечивает своевременное воспроизводство фронта очистных работ. Кроме того, как показал опыт применения породных полос для охраны выработок, такие полосы не обладают достаточной несущей способностью для

обеспечения безремонтного поддержания.

Белодедовым А.А. предложен ряд технологических схем проведения выработок по тонким пластам с оставлением породы в шахте [3, 4]. При этом, для размещения породы предлагается формирование полостей с помощью бурошнековых установок и пр. Применение предложенных решений позволяет размещать породу от проходки выработок в шахте, но, вместе с тем, предполагает существенное увеличение трудоемкости работ, снижение скорости проведения выработок и не гарантирует их устойчивого состояния в течение срока службы.

Представляет интерес комплексно-интенсивная технология отработки пластов, мощностью 1-2 м, предложенная специалистами ИГД им. А.А. Скочинского [73]. Подготовка выемочного участка осуществляется спаренными штреками, разделенными породной полосой или полосой из твердеющего закладочного материала. Проходку спаренных штреков по пластам мощностью 1-2 м, разделенных породной полосой, осуществляют с применением выемочного проходческого закладочного комплекса ВПЗК-1. С помощью ВПЗК-1 осуществляется проходка двух штреков сечением 14-16 м<sup>2</sup>. Породу от присечки кровли и почвы после дробления до крупности 60 мм оставляют в выработанном пространстве. Подобная технология при использовании современной техники для проведения выработок и обеспечения необходимой несущей способности полосы между выработками является наиболее перспективной для использования при отработке тонких пологих пластов в условиях шахт Восточного Донбасса.

Анализ мирового опыта проведения и поддержания подготовительных выработок при отработке тонких пластов на больших глубинах показывает, что задача обеспечения их безремонтного состояния остаётся крайне актуальной из-за комплекса проблем: потери устойчивости выработок, пучения почвы (в отдельных случаях — свыше 8 м<sup>3</sup>/м длины выработки), высоких затрат на ремонт и транспортировку породы, увеличения зольности горной массы [9, 16]. Применяемые технологии (анкерные и комбинированные крепи, органные ряды, костры, литые полосы, стены из бетонных/зобетонных блоков, заполненные бетоном стальные трубы — ЗБСТ и др.) имеют существенные ограничения: от

недостаточной несущей способности и несовершенства механических характеристик (например, у органной крепи и стен из блоков) до высокой стоимости и трудоёмкости (ЗБСТ, литые полосы). При глубине разработки свыше 500 м даже комплексные решения не гарантируют устойчивого состояния выработок в течение всего срока службы. Наиболее перспективной представляется комплексно-интенсивная технология с использованием выемочного проходческого закладочного комплекса (ВПЗК-1), предусматривающая проходку спаренных штреков с размещением породы от присечки в выработанном пространстве – она позволяет обеспечить оставление породы в шахте и обеспечить необходимую несущую способность при условии применения современной техники, однако требует дальнейшего совершенствования для повышения скорости проходки и надёжности поддержания выработок в определенных горно-геологических условиях.

### **1.3 Обзор технической литературы, нормативной базы проектирования паспортов проведения и крепления выработок при разработке тонких пологих пластов**

Подготовительные выработки на шахте «Обуховская» проводятся буровзрывным способом. Выбор параметров проведения и крепления выработок регламентируется соответствующими нормативными документами [62, 76].

Анкерное крепление позволяет обеспечивать устойчивость горных выработок, предотвращая обрушение и деформацию пород, успешно применяется как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами. В месте заложения (засечки) горной выработки проводится оценка несущей способности используемых при креплении горной выработки анкеров.

На шахте «Обуховская» нарушения устойчивости выработок чаще всего приводят к следующим последствиям: обрушению кровли и бортов выработки, а также пучению почвы. Например, в конвейерном штреке 3019 ПК106, пласт  $k_2$ , находящейся в зоне ПГД, установлено пучение пород почвы до 8,91 м<sup>3</sup>; в некоторых местах излом рудничных стоек, на границе с выработанным пространством достигает 70% рисунок 1.6.



Рисунок 1.6 – Излом рудничных стоек на границе с выработанным пространством  
(фото автора)

В исследованиях О. Якоби выделены два основных механизма пучения почвы горных выработок [80]:

- выдавливание породы внутрь контура поперечного сечения выработки;
- пучение пород почвы.

При этом в подготовительных выработках угольных шахт Донбасса подавляющее большинство случаев пучения (около 80 %) обусловлено именно выдавливанием породы в контур выработки.

Ключевым фактором, влияющим на интенсивность пучения, выступает влажность пород. Сам процесс развивается за счёт последовательного расслоения породного массива: зона расслоения постепенно смещается вглубь по естественным поверхностям ослабления (трещинам, плоскостям напластования и др.).

Современная научная база по проблеме пучения почвы существенно расширилась. Так, в работе предметно проведен анализ основных закономерностей процесса пучения, приведены и рассмотрены методики прогнозирования пучения для разных условий (с учётом расположения выработок и типа вмещающих пород), а также рассмотрены способы борьбы с пучением в различных горно-геологических ситуациях [10].

Среди методов противодействия наиболее эффективным признан способ частичной разгрузки массива [66]. Его преимущество заключается в возможности целенаправленно изменять напряжённно-деформированное состояние (НДС) породного массива в окрестности выработки, снижая тем самым риск развития пучения.

Проведение компенсационных щелей в подготовительных выработках на стадии отработки выемочного столба может производиться щеленарезной машиной, представленной на рисунке 1.7, должно осуществляться впереди лавы вне зоны влияния временного опорного давления.



Рисунок 1.7 – Щеленарезная машина [66]

Протяженность зоны временного опорного давления ( $L$ ) определяется по формуле (1) [62]:

$$L = -66.3 + 0.345H - 0.0001H^2, \text{ м} \quad (1)$$

где  $H$  – глубина разработки, м.

Зависимость справедлива при  $300 \leq H \leq 1000$ .

В подготовительных выработках, расположенных со стороны отработанного

или обрабатываемого с опережением смежного выемочного столба, компенсационные щели проводятся на расстоянии не менее 1.5L.

На практике для поддержания необходимых зазоров в выработке в процессе эксплуатации зачастую применяют подрывку пород почвы. Однако, данный метод носит характер временной меры: он лишь устраняет уже проявившиеся последствия пучения, но не воздействует на причины его возникновения.

Проведенный анализ нормативной базы проектирования паспортов проведения и крепления выработок при разработке тонких пологих пластов показывает, что процесс регламентируется ключевыми нормативными документами Ростехнадзора (в том числе приказами № 507 и № 448), а также эксплуатационной документацией на оборудование – при этом, несмотря на применение анкерного крепления и соблюдение технологических паспортов (включая буровзрывные работы с использованием установки УБШ-313А), на шахте «Обуховская» сохраняются серьёзные проблемы с устойчивостью выработок: фиксируются обрушения кровли и бортов, а также интенсивное пучение почвы (до 8,91 м<sup>3</sup> в отдельных выработках) и излом рудничных стоек (до 70 % на границе с выработанным пространством). Основной причиной пучения (около 80 % случаев в Донбассе) выступает выдавливание породы в контур выработки. Таким образом, для повышения устойчивости выработок требуется комплексное применение нормативных требований, научно обоснованных методов прогноза и превентивных технологических решений, направленных на изменение напряжённо-деформированного состояния породного массива.

#### **1.4 Особенности применяемой технологии проведения и поддержания подготовительных выработок**

Шахта «Обуховская» ведёт разработку пласта k<sub>2</sub>, характеризующегося выдержанной полезной мощностью в диапазоне 0,85–1,3 м и углом падения 6–12°. Средняя вынимаемая мощность пласта составляет 1,19 м. Непосредственная кровля представлена преимущественно среднеустойчивыми песчаными и песчано-глинистыми сланцами мощностью от 1,0 до 14,0 м с коэффициентом крепости  $f=6-9$ .

Вскрытие шахтного поля осуществлено несколькими вертикальными стволами: на промплощадке шахты расположены главный и вспомогательный стволы, на ВКШ (отметка  $-190$  м) — вертикальный ствол № 4, на ВКШ (отметка  $-500$  м) — вертикальный ствол № 6, а на вентиляционных штреках 300 и 301 (отметка  $-41$  м) — два вертикальных вентиляционных ствола (№ 3 и № 5).

Проветривание шахты организовано по комбинированной схеме с применением всасывающего способа. Вентиляция обеспечивается двумя вентиляторами главного проветривания: на вентиляционном стволе № 3 установлен вентилятор ВЦД-31,5, а на стволе № 5 — ВОКД-2,4.

Схема подготовки шахтного поля — панельная. Тупиковые выработки проводятся буровзрывным способом.

По газовому и пылевому фактору шахта относится к безопасным объектам — она классифицируется как негазовая и не опасная по пыли. Подготовительные штреки проводятся по простиранию пласта  $k_2$  буровзрывным способом с подрывкой пород почвы и кровли рисунки 1.8 и 1.9, сечением выработки  $15,0$  м<sup>2</sup>. Бурение шпуров по забою производится при помощи машины УБШ-313А. Бурение шпуров под анкера по кровле и их установку производится при помощи пневматической буровой установки MQT-120, по бортам - перфоратором УТ-28 [32].

Уборка горной массы осуществляется погрузочной машиной БПР на конвейера, расположенные в штреке (скребковый конвейер СП-202) и ленточный конвейер KL1200, и ленточный конвейер 1Л1000 в конвейерном уклоне №5.

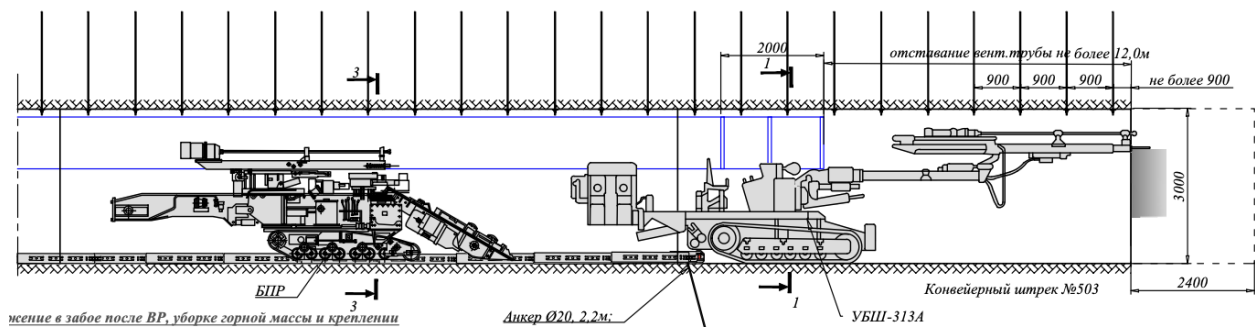


Рисунок 1.8 – Положение в забое на начало цикла [32]



№3.

С ПК95 по ПК106 производится подрывка почвы от нижнего (южного) борта на ширину выработки 5,2м на глубину 0,8-1,4м. Подрывка почвы производится при помощи отбойного молотка типа МО-2, кайла, лома. Отбитая горная масса убирается в вагоны с перекидкой.

Восстановление крепи усиления - три стойки Ø24см под подлапок

Выполняется замена деформированных ремонтин (крепей усиления) устанавливаются (или монтируются) тумбы из БДБ. Допускается возведение крепи усиления из СВП-27 с замками ЗПК (27).

По мере продвижения подрывки, настилка рельсового пути производится сегментами рельсов Р-24 длиной 2,0м, после продвижения по подрывки более чем 8,0м демонтируются короткие сегменты рельсового пути и производится настилка рельсов длиной 8,0м. Цикл повторяется по мере продвижения работ по подрывки почвы.

В результате встреченного горно-геологического нарушения в конвейерном штреке №503 произошло изменение гипсометрии пласта с ПК147+5 по ПК149+5. Для дальнейшей эксплуатации конвейерного штрека №503 требуется произвести:

- сокращение скребкового конвейера СП-202 на 20,0м
- подрывку пород почвы (на глубину 0,5 -2,0 м);  $V_{\text{Горной массы}} = 261,0\text{м}^3$ ;
- производится зачистка почвы.

Работы по подрывке почвы ведутся участком ПРН№1.

На данный вид работ направляются рабочие в количестве не менее 4 человек.

Перечень оборудования и инструмента: отбойный молоток МО-2 - 2шт., лом - 2 шт., оборник L=2,5м - 2 шт., монтировки - 4 шт., зубило слесарное - 2 шт., кувалда - 2шт., лопата породная - 4 шт., метр или рулетка - 2 шт.

График организации работ на одни сутки при проходке конвейерного штрека №503 шахты «Обуховская» представлен на рисунке 1.10.

НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	Время (мин)	I смена					II смена					III смена													
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
Подготовительно-заключительные операции	15																								
Наращивание ПОТ, вент труб, конвейера и т.п.	40																								
Работа по бурению забоя	120																								
Заряжание, взрывание	40																								
Проветривание	30																								
Уборка породы	50																								
Установка временной крепи	25																								
Установка постоянной крепи	160																								

Рисунок 1.10 – График организации работ при проходке конвейерного штрека шахты «Обуховская» (составлено автором)

Из приведенного графика следует, что наибольшие временные затраты отводятся на бурение, заряжание, взрывание, проветривание и уборку породы и суммарно составляют 240 минут на 1 смену. Также, проходка выработок на шахте «Обуховская» смешанным забоем подразумевает подрывку пород кровли и почвы, при этом объемы породы в процессе проведения подготовительных выработок значительно превышают объемы получаемого при проходке угля соотношение представлено на рисунке 1.11.

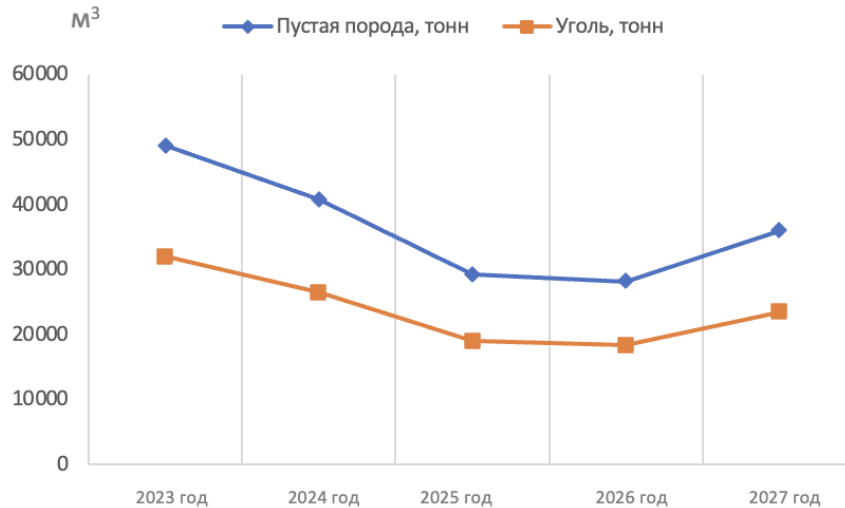


Рисунок 1.11 – Объемное соотношение получаемого угля и породы в процессе проведения подготовительных выработок на шахте «Обуховская» (составлено автором)

При отработке тонких пластов применение бесцеликовых технологий характеризуется большими объемами присечки породы при проходке, а также при подрывке почвы при ремонте выработок. Объемы породы, выдаваемой на поверхность, для условий шахт Восточного Донбасса могут достигать 150 тыс. т в

год и более.

Анализ особенностей технологии проведения и поддержания подготовительных выработок на шахте при разработке пласта  $k_2$  (мощностью 0,85-1,3 м, угол падения 6-12°, непосредственная кровля — среднеустойчивые песчаные и песчано-глинистые сланцы с  $f = 6-9$ ) показывает, что, несмотря на безопасность шахты по газу и пыли, технология сопряжена с существенными сложностями. Выработки (в том числе конвейерные штреки № 3019 и № 503) проводятся буровзрывным способом с подрывкой пород кровли и почвы (сечение — 15,0 м<sup>2</sup>), с применением машины УБШ-313А, пневматической установки MQT-120 и перфоратора УТ-28, а крепление выполняется анкерным способом (в том числе сталеполимерными анкерами А20В). Однако, встречающиеся горно-геологические нарушения приводят к уменьшению проектного сечения выработок (ниже минимально допустимых 1,8 м), что требует дополнительных трудоёмких мероприятий: подрывки почвы, зачистки, восстановления крепи усиления (включая установку стоек Ø 24 см и тумб из БДБ). При этом процессы бурения, заряжания, взрывания, проветривания и уборки породы занимают значительную часть рабочего времени (720 минут в сутки на 3 цикла), а объёмы присекаемой породы существенно превышают объёмы добываемого угля — в условиях Восточного Донбасса они могут достигать 150 тыс. т в год и более (в 2024 году прогнозируется 43 тыс. м<sup>3</sup>). Таким образом, ключевыми проблемами остаются высокие объёмы породы при проходке и ремонте, необходимость частых корректировок технологии из-за неоднородности массива и связанные с этим дополнительные затраты времени и ресурсов.

### **1.5 Выводы по главе 1**

Проведенный анализ применяемых технологий проведения и поддержания выработок при отработке тонких и средней мощности пологих пластов на больших глубинах показал, что с увеличением глубины ведения горных работ применение целиков для охраны подготовительных выработок влечет за собой увеличение потерь угля, а применение при этом спаренных выработок для подготовки выемочных участков приводит к повышению удельной протяженности

проводимых выработок по сравнению с бесцеликовыми схемами, а также увеличению объемов породы, присекаемой при проведении выработок.

Применение бесцеликовых схем подготовки с поддержанием выработок на границе с выработанным пространством с помощью охранных сооружений различных конструкций не обеспечивает их безремонтного поддержания.

В связи с этим, наиболее перспективными представляются схемы подготовки спаренными выработками с искусственным целиком между ними, сформированным из пород, присекаемых при проходке выработок. Такие технологии были предложены в альбоме технологических схем 1991 года, но не применялись вследствие высокой трудоемкости работ и низкой скорости проведения выработок. При применении комплекта короткозабойного оборудования для выемки пласта в контуре выработок и между ними, а также современного закладочного оборудования, эти недостатки могут быть преодолены.

Таким образом, целью работы является повышение эффективности технологии проведения и поддержания выработок по тонким и средней мощности пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте.

Достижение сформулированной цели диссертационной работы требует решения ряда взаимосвязанных задач:

1. Провести анализ мирового опыта и научных достижений в области проведения выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов с оставлением породы в шахте.
2. Разработать способ проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте с использованием комплекта короткозабойного оборудования.
3. Провести исследования устойчивости спаренных выработок, разделенных породной полосой в период их проведения и поддержания.
4. Разработать алгоритм выбора параметров разработанной технологии проходки спаренных выработок.
5. Оценить экономическую эффективность и определить область применения предлагаемых технологических решений.

## **ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК С ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ**

### **2.1 Общие положения**

Требования минимизации воздействия производства и потребления угля на окружающую среду отмечаются в ряде документов по развитию отрасли [13, 42, 60]. Многие компании угольного сектора пытаются адаптироваться к ESG-требованиям и внедрять более экологичные технологии [17, 18, 19]. Одним из направлений реализации таких технологий является оставление породы (твердых отходов) в шахте, получаемых как во время текущей деятельности, так и из ранее сформированных отвалов на поверхности [43, 67, 81]. На территории Ростовской области сформировано 452 отвала пород шахт и обогатительных фабрик [74]. Объем складированных в них отходов оценивается ориентировочно в 600 млн. м<sup>3</sup> [38, 65, 68]. Кроме того, ежегодно только из шахты «Обуховская» выдается более 150 тыс. т породы как от проходки, так и после ремонта выработок (подрывка почвы). Таким образом, актуальность решения вопросов утилизации таких отходов не вызывает сомнений в настоящее время и, с течением времени, будет возрастать [46, 43, 45].

Для решения вопросов оставления породы в шахте необходимо оценить объемы формируемых в результате развития горных работ выработанного пространства и получаемой породы, выбрать технологии подготовки породы к закладке, доставки и размещения в выработанном пространстве, определить ожидаемые затраты на реализацию технологий в сравнении с затратами на извлечение породы, транспорту на поверхности и размещению в отвалы. Главным условием успешного внедрения технологий является, прежде всего, экономическая целесообразность [27, 41, 72].

### **2.2 Оценка возможностей технологий проходки выработок с оставлением породы в выработанном пространстве за лавой**

Проходка выработок с оставлением породы в выработанном пространстве за лавой представляет собой перспективное направление развития технологий [25, 39,

40]. Оценка возможностей таких технологий имеет важное значение для повышения эффективности подземной угледобычи [2, 7, 32].

Наиболее распространенный способ оставления породы в шахте – использование ее в качестве закладочного материала при отработке пластов. Технологии отработки пластов с закладкой выработанного пространства применялись на угольных шахтах, главным образом, в 20-м веке (СССР, Польша, Германия, Чехословакия, Франция и др.) [94, 98, 99]. Применялись технологии с гидравлической (крутые пласты) и пневматической (пологие и наклонные пласты) закладкой. После перехода на рыночную модель и прекращения дотаций угольной отрасли практически все шахты, работающие с закладкой, оказались неконкурентоспособными и были закрыты.

Отработка пологих пластов с полной закладкой применяется на шахтах КНР как одна из составных частей концепции «Зеленая шахта». Разработаны механизированные комплексы, позволяющие отрабатывать угольные пласты длинными забоями и возводить закладочный массив механическим способом с использованием скребкового конвейера специальной конструкции и трамбовочного устройства рисунок 2.1а.

Для размещения закладки в погашаемых выработках предлагается использовать самопередвижной ленточный перегружатель рисунок 2.1б.

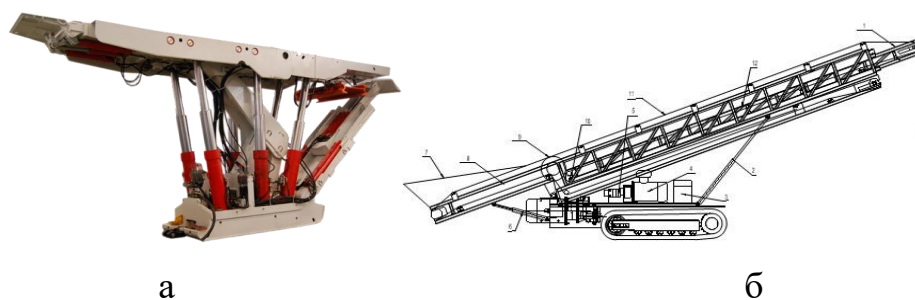


Рисунок 2.1 – Оборудование для возведения закладочного массива (КНР):

а – в выработанном пространстве за очистным забоем; б – в погашаемых выработках [35]

Самопередвижной ленточный перегружатель на гусеничном ходу рисунок 2.1б со скоростью ленты до 7 м/с и возможностью изменения длины, а также положения места разгрузки в вертикальной и горизонтальной плоскостях является

простым и эффективным инструментом для закладки, не требует специальной подготовки породы перед использованием в качестве закладочного материала.

Существует технология подземной разработки, предусматривающая локальное складирование породы в шахте: извлечённый при проходке материал размещают в специально обустроенных раскосах вблизи транспортного штрека [57]. Технология реализуется следующим образом: первоначально осуществляется проходка по угольному пласту широким забоем с превышением проектной ширины транспортного штрека. Дополнительная площадь выработки позволяет сформировать раскоску, куда складывается порода, извлечённая при проходке штрека. Наиболее распространённая схема размещения породы в раскоске под уровнем штрека. Однако, данный метод имеет ряд существенных ограничений: необходимость обнажения и крепления увеличенной площади выработки, что повышает трудоёмкость работ; усадка складированной породы в раскосках, приводящая к осложнениям в эксплуатации транспортного штрека; снижение производительности лавы из-за необходимости периодического ремонта и перекрепления штрека, вызванного деформацией конструкции.

Существует способ разработки пластов малой и средней мощности системой длинных столбов рисунок 2.2 по простиранию с оставлением породы в шахте, который предусматривает: проведение комплекса панельных или этажных выработок; подготовку выемочного поля посредством опережающей проходки транспортного штрека сначала в виде угольной камеры, а затем расширения её сечения до проектной ширины штрека за счёт выемки вмещающих пород с обеих сторон выемочного поля; выбуривание наклонных полостей в целике под транспортным штреком, куда впоследствии складывается порода от подрывки вмещающих пород. Отличительная особенность метода заключается в синхронной проходке угольной камеры и просека в угольном массиве (просек размещается на нижней границе будущей углепородной полосы под транспортным штреком), при этом выработки соединяются между собой печами.

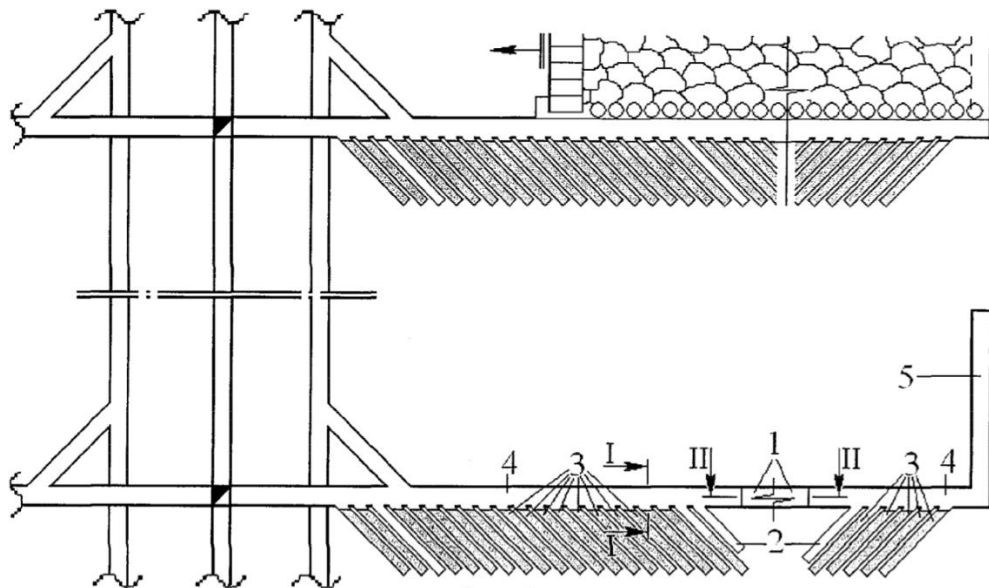


Рисунок 2.2 – Способ разработки пластов малой и средней мощности системой разработки длинными столбами по простиранию с оставлением породы в шахте [57]

Однако способ имеет существенные недостатки: необходимость подрывки кровли и почвы пласта, а также проведение и последующее погашение выработки-присечки, сооружаемой для транспортировки дроблёной породы от подрывки по вентиляционной выработке.

Известен опыт успешного применения способа разработки пластов, когда порода грузится на забойный конвейер, работающий в режиме реверса, после чего, транспортировалась к вентиляционному штреку и с помощью перегружателя подавалась в дробилку комплекса «Титан» [81]. В дробилке порода проходила измельчение и подавалась в породопровод. Сжатым воздухом от компрессора порода по породопроводу транспортировалась к месту возведения закладочного массива рисунок 2.3.

При этом производительность закладочных работ составляла 0,6-0,8 м<sup>3</sup>/мин.

Проходка выработок с оставлением породы в выработанном пространстве за лавой является перспективным направлением развития технологий. Данный метод позволяет снизить экологическое воздействие угледобычи на окружающую среду. Однако, большинство известных способов имеют существенные недостатки, такие как высокая трудоемкость, проблемы с управлением деформациями пород и недостаточная эффективность поддержания выработок.

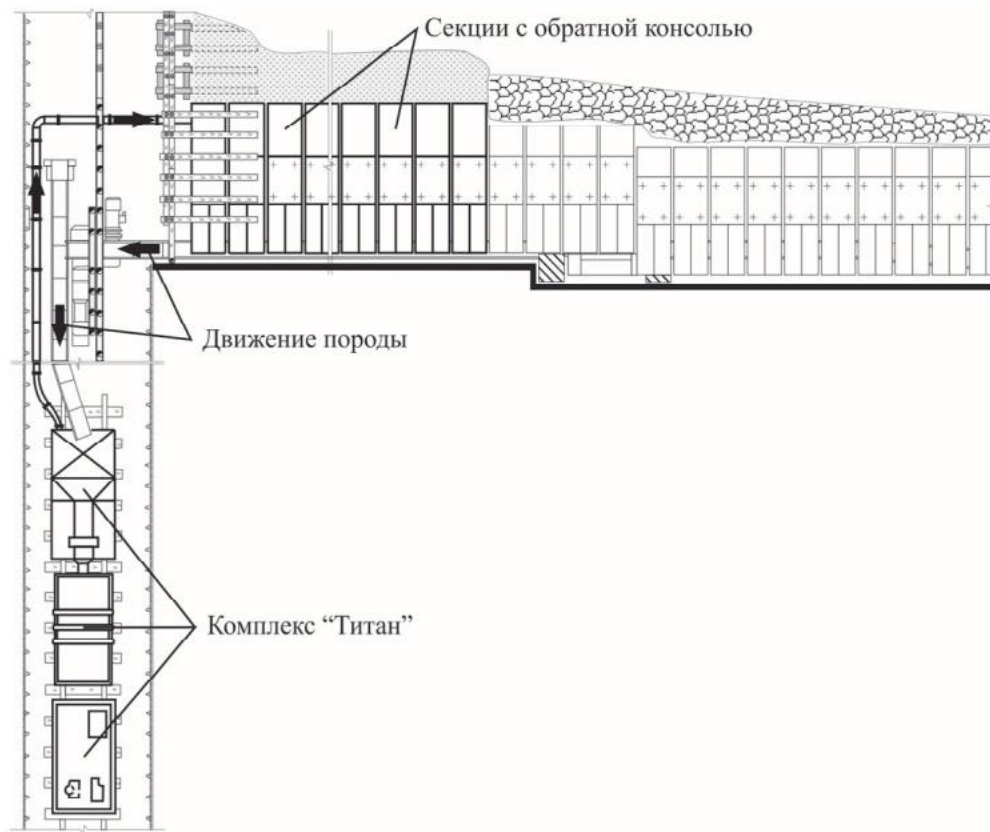


Рисунок 2.3 – Технологическая схема возведения бутовой полосы [81]

Несмотря на существующие трудности, исследования и внедрение новых технологий продолжают развиваться, демонстрируя потенциал для улучшения экономической эффективности и экологической безопасности шахт. Применение механизированных комплексов и инновационных методов закладки породы открывает новые возможности для совершенствования существующих подходов и достижения лучших результатов в области подземной добычи угля. Важнейшими направлениями дальнейших исследований остаются сокращение издержек и минимизация негативных последствий для окружающей среды.

Оценка возможностей технологий проходки выработок с оставлением породы в выработанном пространстве за лавой подтверждает их перспективность для повышения экономической эффективности и экологической безопасности подземной угледобычи — прежде всего за счёт сокращения объёмов породы, выдаваемой на поверхность, и утилизации отходов непосредственно в шахте. Исторический опыт (в том числе в СССР, Польше, Германии и др.) и современные разработки (в частности, в КНР в рамках концепции «Зелёная шахта») демонстрируют работоспособность таких решений: применяются

механизированные комплексы с закладкой выработанного пространства (включая самопередвижные ленточные перегружатели), технологии локального складирования породы в раскосах, системы разработки длинными столбами с формированием полостей под штреками для размещения породы, а также схемы с дроблением породы и транспортировкой её сжатым воздухом к месту закладки (с производительностью 0,6–0,8 м<sup>3</sup>/мин). Однако, большинство методов сопряжено с существенными ограничениями: высокой трудоёмкостью, необходимостью разделения грузопотоков угля и породы в реализуемых на шахтах технологических решениях, необходимостью подрывки кровли и почвы, усадкой складированной породы, сложностями транспортировки и подготовки материала для закладки. Несмотря на эти трудности, развитие механизированных комплексов и инновационных закладочных технологий открывает возможности для совершенствования способов проходки с оставлением породы в шахте, а приоритетными направлениями дальнейших исследований остаются снижение издержек, повышение эффективности поддержания выработок и минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

### **2.3 Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок широким ходом**

Спаренные выработки, проводимые широким ходом, применяемые для оконтуривания выемочных участков, представляют собой перспективный с точки зрения оставления породы в шахте способ подготовки выемочных участков. Вместе с тем, технологии проходки таких выработок требуют тщательной оценки возможности и целесообразности их применения в конкретных условиях залегания пластов и свойств вмещающих пород [26].

Известна столбовая система разработки, при которой выемочное поле подготавливают с использованием обособленных транспортных и вентиляционных штреков; при этом между соседними ярусами оставляют угольные целики шириной 20–40 м, что даёт возможность одновременно отрабатывать несколько ярусов в крыле панели и обеспечивать требуемую нагрузку на панель [46]. Вместе с тем у данной схемы есть существенные недостатки: значительные потери угля в

межъярусных целиках, а также ухудшение качества добываемого угля из-за его разубоживания породой, образующейся при проходке штреков.

Оставление породы от проходки выработок в шахте предусмотрено в представленной в альбоме технологической схеме №24 разработки пластов мощностью 0,8 – 1,9 м с углом падения до 10° (рисунок 2.4) [73].

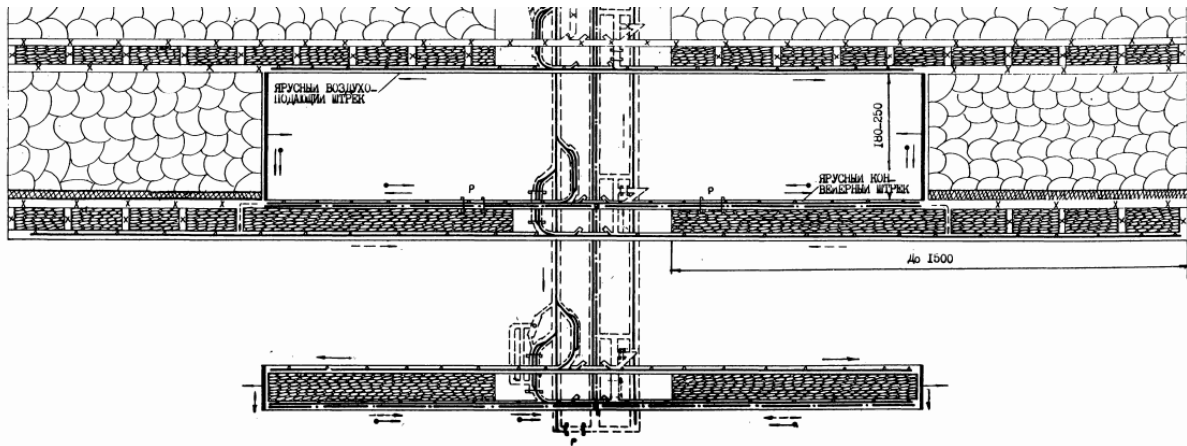


Рисунок 2.4 – Технологическая схема разработки тонких и средней мощности пологих пластов с проведением выемочных выработок широким ходом [73]

Для проведения выработок широким ходом предложено 2 технологические схемы, в которых проходка выработок предусмотрена с помощью БВР или проходческих комбайнов избирательного действия, закладка породы – закладочными комплексами Титан-1. При этом, выемка угольного пласта между выработками предусмотрена с помощью БВР с креплением призабойного пространства индивидуальной крепью и монтажом ограждения перед подачей закладочного материала. Схемы характеризуются высокой трудоемкостью, обеспечивают скорость проведения выработок в пределах 2,4-5,0 м/сут или 70-150 м/мес, что не позволяет обеспечить своевременное воспроизводство фронта очистных работ на современных шахтах.

Известна технология, представленная на рисунке 2.5, которая направлена на повышение качества добываемого угля, более полное извлечение его запасов, а также на улучшение условий поддержания подготовительных выработок и проветривания очистного забоя.

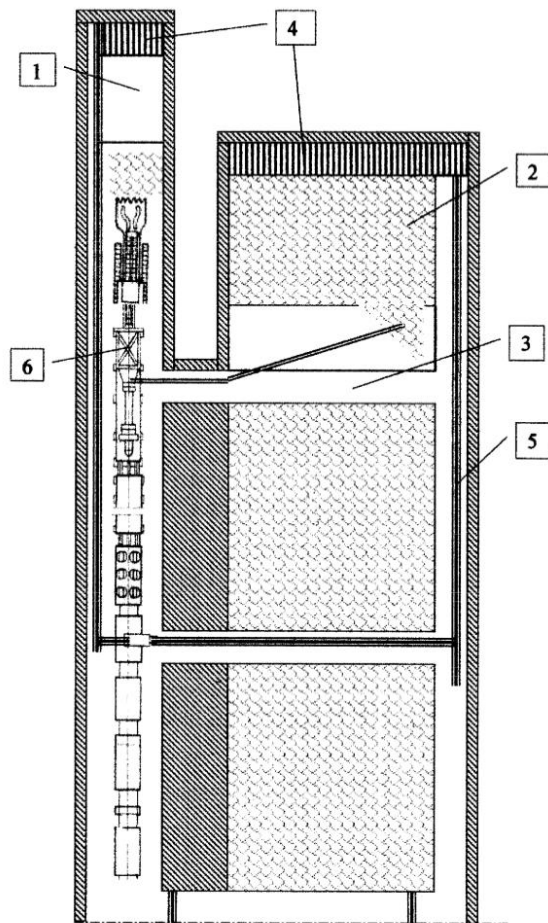


Рисунок 2.5 – Способ разработки пластовых месторождений [56]

Для этого сначала по угляю проходят камеру 1 шириной, соответствующей будущему штреку, а параллельно ей — через целик угля шириной 2–4 м — ещё одну камеру 2, предназначенную для складирования породы и имеющую достаточную ширину для размещения материала от последующей проходки и ремонта штрека. Проходку камер выполняют комплексом многоцелевого назначения КМН-4, а транспортировку осуществляют конвейерами 5 в вагонетки. После формирования необходимого объёма камеры 2 производят выемку породной части штрека, перемещая породу в камеру для складирования с помощью породозакладочного комплекса «Титан-1»; туда же впоследствии помещают породу от ремонта выработок и породных вывалов в лавах. В процессе складирования через определённые интервалы сооружают сбойки (выработки 3) от угольного массива до штрека, чтобы в дальнейшем обеспечить проветривание лавы нижнего этажа, когда транспортный (откаточный) штрек начнёт выполнять функцию вентиляционного. В результате в камере формируется бутовая полоса.

После отработки основных запасов нижнего этажа (при нисходящей выемке) и погашения штрека целик между штреком и широкой бутовой полосой можно извлечь в более благоприятных условиях. Применение данного способа разработки пластовых месторождений повышает устойчивость подготовительных выработок за счёт комбинированной охраны «целик – бутовая полоса», исключает утечки воздуха, снижает зольность добываемого угля (благодаря оставлению породы в шахте) и способствует более полному извлечению угольных запасов.

В настоящее время на действующих шахтах РФ технологии отработки пластов с закладкой выработанного пространства также, как и проведения выработок широким ходом, не применяются, поскольку не обеспечивают конкурентоспособность угледобычи по сравнению с отработкой с полным обрушением и проведением выработок сплошным узким забоем.

Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок широким ходом показывает, что они обладают существенным потенциалом для повышения эффективности подземной угледобычи: позволяют оставлять породу в шахте (снижая зольность угля и улучшая его качество), обеспечивают более полное извлечение запасов, повышают устойчивость подготовительных выработок за счёт комбинированной охраны «целик – бутовая полоса». Реализация технологии возможна с применением комплекса КМН-4 для проходки угольных камер и породозакладочного комплекса «Титан-1» для транспортировки породы в камеру складирования, а также комплекса КШХ, который механизмирует выемку угля и закладку породы, сокращая трудоёмкость работ более чем в 2 раза (по результатам испытаний — пройдено 203 м выработки с размещением 2200 м<sup>3</sup> породы). Вместе с тем технология имеет ряд существенных ограничений: неизбежные потери угля в целиках шириной 2–4 м (а в столбовой системе — до 20–40 м), высокую трудоёмкость ряда операций, недостаточную для современного производства скорость проходки (70–150 м/мес), а также сложности, связанные с необходимостью формирования сбоек и управления закладочным массивом. В результате на действующих шахтах РФ эти технологии в настоящее время не применяются – они уступают по экономической конкурентоспособности методам

отработки с полным обрушением и проходки выработок сплошным узким забоем, поэтому их внедрение требует дальнейшей оптимизации с целью сокращения потерь угля и повышения темпов ведения горных работ [57-59].

#### **2.4 Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте с использованием комплекта короткозабойного оборудования**

Для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ при подготовке выемочных участков спаренными выработками с закладкой выработанного межштрекового пространства в условиях шахты «Обуховская» при прогнозируемых увеличениях скорости подвигания очистных забоев необходимо решить целый комплекс взаимосвязанных научных и технических задач таких, как: определение расстояния между сбойками, выбор ширины межштрекового выработанного пространства между спаренными выработками для защиты участковой выработки от вредного влияния очистных работ (опорного давления) со стороны смежного выемочного столба, выбор средств механизации проходческих работ, обоснование параметров крепления и поддержания выработок, а также выбор рациональных схем проветривания.

При подготовке спаренными выработками в условиях Донецкого угольного бассейна предполагается отработка угольного пласта и возведение в выработанном межштрековом пространстве бутовой полосы, то есть искусственного целика, не способного накапливать упругую энергию, не представляющего опасности по горным ударам и не создающего зоны повышенного горного давления (ПГД). Корректное определение ширины межштрековых целиков представляет собой отдельную техническую задачу и является предметом детального рассмотрения в данной работе.

Анализ графика ввода-выбытия очистных забоев на шахте «Обуховская» за период с 2024 по 2025 гг. согласно принятой раскройке оставшейся части шахтного поля показал, что по рабочим пластам планируется отработка более 5 выемочных столбов протяженностью от 1350 до 2350 м. В таблице 2.1 приведены требуемые скорости проведения подготовительных выработок при подготовке спаренными

выработками выемочных участков с учетом запаса на возможное увеличение нагрузок на лавы по сравнению с планируемыми, на маневры и перегон проходческого комбайна из забоя в забой при поочередной их обработке, а также на простои по организационным причинам и по фактору «общешахтный транспорт». Полученные значения необходимой для воспроизводства фронта очистных работ скорости проходки выработок при планируемых нагрузках на очистные забои по пластам приняты в качестве базовых параметров при конструировании технологических схем.

Таблица 2.1 – Требуемые показатели проходческих работ при подготовке выемочных участков спаренными выработками (составлено автором)

Пласт $k_2$	
Планируемая нагрузка на лаву т/сут	4700
Протяженность выемочных столбов, м	1350-2350
Ориентировочное время отработки столба, мес	6-11
Показатели проходческих работ при подготовке	
Объем проводимых выработок на лаву, м	2700-4700
Требуемая скорость проходки*, м/мес	210

Примечание: \* Под требуемой скоростью проходки обозначен суммарный объем проходки в месяц, м

Исходя их требований, предъявляемых к технологиям в условиях Восточного Донбасса, была произведена оценка рассмотренных способов проходки для условий пласта  $k_2$  шахты «Обуховская» (таблица 2.2).

Проанализированные отечественные и зарубежные технологии проведения выработок и оставления породы в шахте не могут быть реализованы в условиях шахты «Обуховская» ввиду высокой трудоемкости и низких темпов проходки.

Таблица 2.2 – Сравнительная оценка рассмотренных способов проходки выработок для условий пласта  $k_2$  шахты «Обуховская» (составлено автором)

Технология проходки	Способ проходки	Формирование выработанного пространства для закладки породы	Примечание
Одиночная выработка, тупиковый забой	БВР	нет	Порода выдается на поверхность
Способ разработки пластовых месторождений № 2168628	КН-5	КМН4	Порода размещается в камерах
Спаренные выработки, технологические схемы ИГД Скочинского, №24	БВР	Установка «Штрек-3»	Порода размещается в шахте
Одиночная выработка	комбайновый	комбайн КП	Порода выдается на поверхность
Короткие забои	комбайновый	комбайн	Порода размещается в межштрековом выработанном пространстве

Первый вариант в таблице 2.2 предполагает изменения технологии проходки в части организации отдельной выемки и погрузки угля и породы, требует организации транспорта закладочного материала к месту закладки, а также подготовку закладочного материала к закладке (дробление). Кроме того, для реализации технологии потребуются устройства для обеспечения перегрузки породы с ленточного конвейера в уклоне на ленточный конвейер в конвейерном штреке.

Второй вариант обладает рядом недостатков таких как: увеличение объёмов первоначальных горнопроходческих работ за счет необходимости проходки двух параллельных камер (вместо прямого проведения штрека) — это удорожает начальную стадию разработки; дополнительных затрат времени и ресурсов на проходку камеры для складирования породы (шириной, достаточной для размещения породы от последующей проходки и ремонта штрека). Ограничения

по геологическим условиям: требование наличия достаточно прочного целика угля (шириной 2-4 м) между камерами — не подходит для зон с нарушенным массивом, трещиноватостью, склонностью к обрушениям; чувствительность к неравномерности залегания пласта, наличие зон повышенной водообильности или газоносности в целике. Технологические сложности при последующей отработке целика, которые заключаются в том, что извлечение угля из целика между штреком и бутовой полосой требует специальных схем выемки, дополнительных забоев, что усложняет технологию; возможные проблемы с креплением при вскрытии «старых» целиков в условиях изменённого напряжённого состояния массива. Увеличение капитальных затрат за счет проведения дополнительных камер и сбоек, повышенные расходы на вентиляционное оборудование для обслуживания разветвлённой сети выработок. Сложности при совмещении с другими системами разработки: трудности интеграции с соседними участками, где применяются иные технологии поддержания выработок; несогласованность схем проветривания и транспортировки при комбинировании с традиционными способами отработки пластов.

Для реализации технологии 3 возможно применение разных технологических схем с разным набором оборудования. Для обеспечения требуемой скорости проведения выработок и отдельной выемки угля и породы возможны варианты:

- выемку угля в пределах контура выработок и между выработками производить с помощью оборудования для длинных забоев, выемку породной части сечения выработок – с помощью двух проходческих комбайнов КП-330 или КСП-35, для закладки породы использовать два пневмозакладочных комплекса «Титан»;

- выемку угля в пределах контура выработок и между выработками производить с помощью комплекта короткозабойного оборудования, выемку породной части сечения выработок – с помощью проходческого комбайна КП-330 или КСП-35 (или зарубежного аналога), работающего по схеме «place-change», для закладки породы применять два пневмозакладочных комплекса «Титан».

Применение технологий с использованием короткозабойного проходческого

оборудования позволяет обеспечить раздельную выемку угля и породы, проводить выработки меньшей площадью сечения, что в свою очередь дает возможность осуществлять выемку угольных пластов мощностью от 0,91 м для формирования выработанного пространства для будущей его закладки.

На основе изучения опыта по проведению подготовительных выработок и применение ресурсосберегающих технологий выемки пологих угольных пластов, была предложена технологическая схема проведения выработок для подготовки выемочных участков спаренными выработками в условиях шахты «Обуховская» [50, 52, 59].

Предлагаемая технология рисунок 2.6 заключается в том, что выработки разделяются на два слоя (уголь и порода), которые последовательно отрабатывают в нисходящем порядке рисунок 2.7.

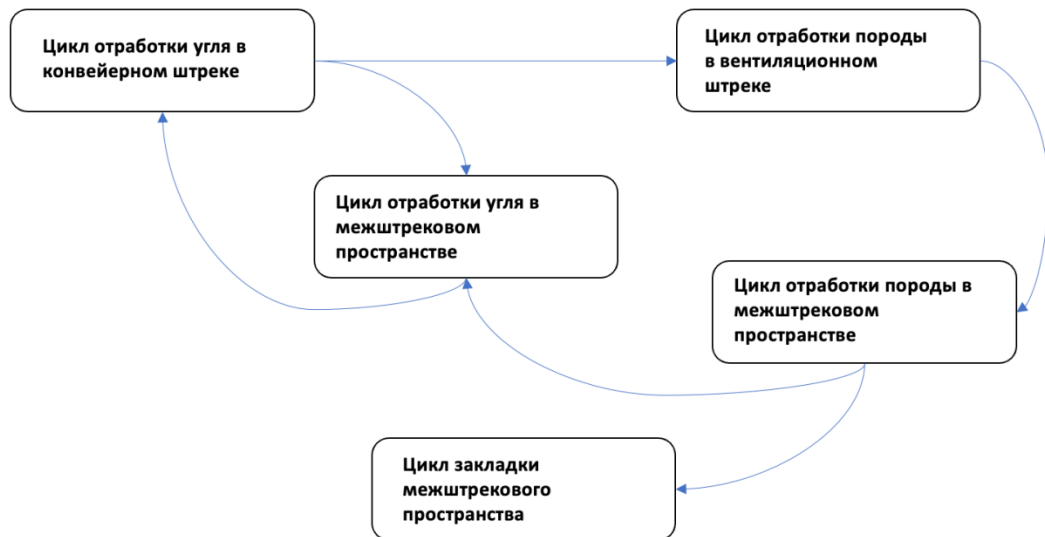


Рисунок 2.6 – Циклы проходки спаренных выработок (составлено автором)



Рисунок 2.7 – Деление вынимаемой части массива при проходке спаренных

выработок на два слоя: верхний слой 1 (угольный пласт) и нижний слой 2 (породы почвы) (составлено автором)

При этом обработка верхнего слоя короткозабойным проходческим комбайном по углю, который проходит конвейерный штрек, обрабатывая уголь в межштрековом целике с захватом угольного пласта в контуре будущего вентиляционного штрека рисунок 2.8.

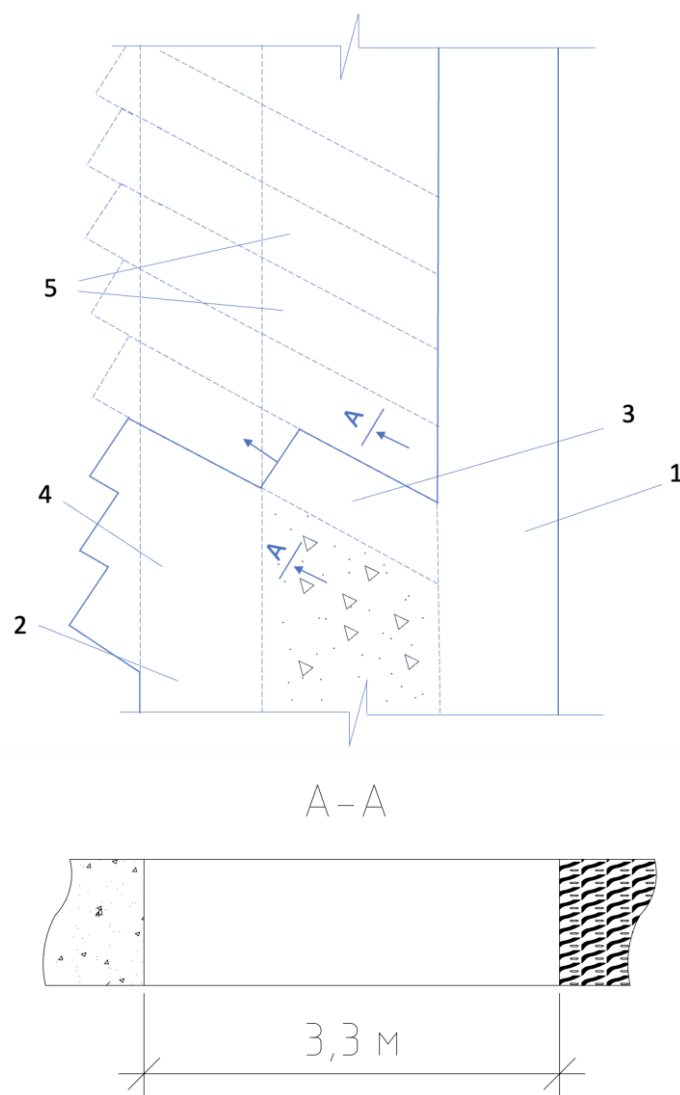


Рисунок 2.8 – Схема выемки угля комбайном при проведении спаренных выработок, 1 – вентиляционный штрек, 2 – конвейерный штрек, 3 – вынимаемая заходка, 4 – отработанные заходки, 5 – заходки, планируемые к обработке (составлено автором)

Необходимость косых заездов, обусловлена тем, что короткозабойный комбайн не имеет технических возможностей развернуться перпендикулярно для обработки заходки, поэтому он зарубается под технически возможным углом.

Синхронизированные перемещения проходческого короткозабойного комбайна по уголю с проходческим комбайном по породе в конвейерном и вентиляционном штреках во времени и пространстве, проходка выработки и сбойки косыми заездами до проектного сечения в направлении, противоположном направлению отработки короткозабойным комбайном рисунок 2.9. Отбитая порода размещается в выработанном пространстве между выработками помощью пневмозакладочной машины (ПЗМ).

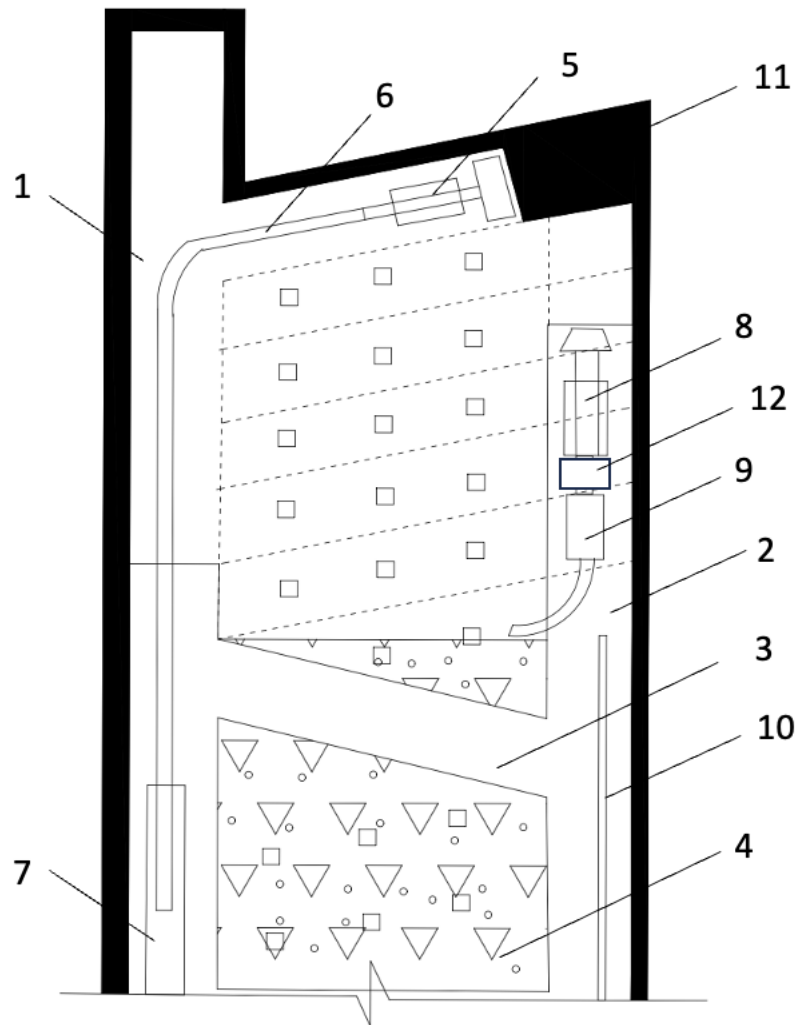


Рисунок 2.9 – Схема проходки спаренных выработок, где 1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – сбойка; 4 – бутовая полоса; 5 – короткозабойный проходческий комбайн по уголю; 6 – изгибающийся конвейерный поезд; 7 – наращиваемый ленточный конвейер; 8 – комбайн по породе; 9 – пневмо-закладочный комплекс; 10 – монорельс; 11 – угольный пласт; 12 – дробильная установка (составлено автором)

Укрупненная стоимостная оценка внедрения технологий оставления породы от проходки в шахте показала экономическую целесообразность их реализации, а также социальный эффект от снижения объемов породы, размещаемых в отвалах на поверхности [35].

Оценка возможностей технологий проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте с использованием комплекта короткозабойного оборудования показывает, что, несмотря на перспективность подхода для снижения объемов породы, выдаваемой на поверхность, и обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ (в том числе на шахте «Обуховская» при отработке пласта  $k_2$ ), их внедрение сопряжено с комплексом научно-технических задач: необходимо обосновать ширину межштрекового пространства и расстояние между сбойками, выбрать средства механизации и схемы проветривания, обосновать параметры крепления межштрекового выработанного пространства. Анализ существующих технологий выявил их ограниченную применимость в условиях Восточного Донбасса из-за высокой трудоёмкости и недостаточной скорости проходки (традиционные схемы не обеспечивают требуемые 210 м/мес для отработки выемочных столбов длиной 1350–2350 м). Наиболее перспективной признана схема с разделением выработки на два слоя (уголь и порода) и синхронизированной работой короткозабойных комбайнов по углю и комбайна с избирательным исполнительным органом породе с применением пневмозакладочных комплексов «Титан»: она позволяет вести отдельную выемку, формировать бутовую полосу в межштрековом пространстве и снижать зольность угля. Укрупнённая стоимостная оценка подтверждает экономическую целесообразность и социальный эффект от внедрения таких технологий (сокращение отвалов на поверхности), что делает их развитие приоритетным направлением для повышения эффективности и экологичности подземной угледобычи.

## 2.5 Выводы по главе 2

Оценка возможности применения технологии проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте выявила ряд ключевых преимуществ. Во-

первых, технология исключает выдачу на поверхность отбиваемой породы, уменьшая нагрузку на транспортные системы и повышая общую экономическую эффективность работы шахты. Во-вторых, формирование бутовой полосы между выработками в процессе проходки способствует обеспечению устойчивости выработок, а переход от бесцеликовой подготовки к подготовке спаренными выработками создает условия для более полного использования потенциала современных очистных механизированных комплексов.

Эффективность способа во многом зависит от правильного выбора конструктивных параметров проектируемых выработок, ширины межштрекового выработанного пространства, объемов породы, получаемой при проходке выработок и размещаемой в межштрековом пространстве. Для обоснования возможности применения способа проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте в условиях шахты «Обуховская» необходимо обоснование параметров технологии для условий шахты.

На основе изученного отечественного и мирового опыта проведения и поддержания подготовительных выработок, был разработан способ проходки спаренных выработок по тонким пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте. Технологическая схема проведения спаренных выработок подразумевает возможность использования различного оборудования в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий. Возможны разные варианты реализации способа при обеспечении требуемой скорости проходки выработок, позволяющий оставлять породу в шахте при этом создаются условия для безремонтного поддержания выработок.

Для детальной проработки необходимо провести исследования устойчивости спаренных выработок, разделенных породной полосой в период проведения и поддержания выемочной выработки для повторного использования в зависимости от жесткости и ширины искусственного межстолбового целика, которые оказывают существенное влияние на распределение напряжений вокруг участков подготовительных выработок (особенно в зоне влияния очистных работ) и в значительной степени определяют возможность поддержания их эксплуатационного состояния в течение всего срока службы [36].

## **ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОХОДКЕ СПАРЕННЫХ ВЫРАБОТОК С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

### **3.1 Выбор метода проведения исследований**

На основании проведенных исследований разработан способ проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте. Цель исследования геомеханических процессов состоит в обосновании для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий шахты параметров технологии, а именно в определении предельно допустимых значений площади обнажения кровли, при которых непосредственная кровля сохраняет свою устойчивость и не требует дополнительного крепления при отработке угольного целика между проводимыми спаренными выработками. Для достижения поставленной цели применяется метод физического моделирования с использованием эквивалентных материалов, позволяющий воссоздать реальные условия нагружения и оценить влияние конструктивных решений на поведение массива горных пород. Результаты проведенных экспериментов имеют важное значение для дальнейшего совершенствования технологии и повышения уровня промышленной безопасности при применении способа в различных условиях.

Для изучения напряжённо-деформированного состояния горного массива в зоне формируемых спаренных выработок и межштрекового выработанного пространства – в соответствии с технологией, описанной в предыдущей главе, – был использован метод физического моделирования на эквивалентных материалах. Этот метод зарекомендовал себя как эффективный инструмент для исследования и решения сложных горнотехнических задач; само исследование выполнено по методике, разработанной лабораторией моделирования Санкт-Петербургского горного университета [8, 11, 20].

Традиционные подходы к физическому моделированию геомеханических процессов основываются на принципах теории подобия и теории размерности; их суть заключается в создании масштабного аналога природного геологического массива, воспроизводящего ключевые характеристики реального объекта [24, 79,

102]. Имитация структуры и физических свойств реальных пород, процесс реальной добычи полезных ископаемых воспроизводится в модели эквивалентно для конкретной глубины, производится оценка интенсивности и характера распределения напряженно-деформационных состояний внутри массива, получается наглядное представление о процессах деформации и смещения на разных уровнях [21]. Подобранные на основании теории подобия эквивалентные материалы позволяют создать модели, поведение которых соответствует поведению исследуемого горного массива [31, 49, 53]. Это даёт возможность применять полученные на моделях результаты к реальным условиям, определять характеристики напряжённого состояния массива и детально изучать процессы перемещения и разрушения пород на различных глубинах.

Модель является подобной, если она построена в системе, имеющей одинаковую геометрическую форму, причём отношение соответствующих физических величин в аналогичных точках остаётся постоянным числом [82]. Такие отношения именуется коэффициентами подобия (или масштабными множителями), которые нельзя выбирать произвольно, поскольку величины, определяющие явления, взаимосвязаны согласно законам природы.

Для адекватного моделирования физико-механических свойств и структуры горного массива требуется тщательный подбор эквивалентных материалов, при этом необходимо учитывать ключевые факторы, определяющие физическую сущность процесса: механические характеристики реальных пород (прочность, модуль упругости, коэффициент Пуассона); структурные особенности массива (слоистость, трещиноватость, наличие контактов и нарушений); условия нагружения и характер действующих напряжений; влияние влаги и других физико-химических факторов; масштабный эффект и требования теории подобия для обеспечения корректного переноса результатов на натуру.

Стадии изготовления эквивалентной модели следующие: подготовка компонентов, составление рецептов и дозирование исходя из горно-геологических условий месторождения и теоремы подобия, приготовление и перемешивание смеси, твердение. Основные рецептурные параметры эквивалентной модели –

массовые доли связующего  $C_s$  и наполнителя  $C_n$  ( $C_s + C_n = 100$ ). В качестве связующих были приняты парафин с канифолью, мелкодисперсный кварцевый песок эпоксидиановая смола [22, 23].

### **3.2 Исходные горно-геологические условия моделирования. Расчет необходимых физико-механических свойств эквивалентных материалов**

Исследования, проводимые с использованием метода физического моделирования на моделях из эквивалентных материалов, будут осуществляться исходя из условий отработки пласта  $k_2$  ШУ «Обуховская».

Непосредственная кровля представлена сланцем песчаным, темно-серый, окремненный, слоистый, сильно трещиноват по всему слою, с обилием включений обугленного материала, средней твердости, контакт четкий. Мощностью  $m=1,60-4,85$  м, объемный вес  $2,68$  т/м<sup>3</sup>, крепость по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f=6-8$ .

Характеризуется как среднеустойчивая, участки снижения устойчивости кровли приурочены к зонам развития размывов угольного пласта и повышенной трещиноватости. Непосредственная почва пласта  $k_2$  представлена песчаным сланцем, темно-серым, неслоистым с линзовидными включениями песчаника, трещиноватым, по трещинам тальк,  $m=1,0$  м,  $f=8-9$ , объемный вес  $2,71$  т/м<sup>3</sup>. В начале слоя с остатками стигмарий («кучерявчик») средней твердости, мощностью до  $0,25-0,30$  м. Основная почва пласта  $k_2$  представлена песчаником кварцевым на кремнистом цементе, светло-серого цвета, мелко-среднезернистый, неслоистый, с остатками обугленного растительного детрита, твердый  $m = 14,40$  м,  $f=12\div 14$ ,  $\sigma_{сж}=116,3$  МПа, объемный вес  $2,71$  т/м<sup>3</sup>. Характеризуется как устойчивая, не склонная к пучению.

Расчетные физико-механические свойства эквивалентных материалов представлены на рисунке 3.1 и в таблице 3.1.


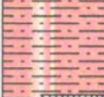

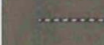
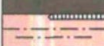
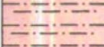
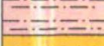

	Песчаник кварцевый, серый, мелкозернистый, трещиноватый. Имеет невыдержанную литологию: в 4,77 метрах от непосредственной кровли (5,3-5,5м от кровли угольного пласта) залегает прослой песчаного сланца с обилием обугленной флоры и зеркальными поверхностями скольжения, мощность данного слоя достигает 2,3м, крепость не более 6-7ед.,	$m=\text{до } 12,0\text{м}$ $f=12-14$
	Сланец песчаный, темно-серый, с косо параллельной слоистостью, и линзовидными прослоями песчаника, по слою отмечаются остатки обугленной флоры	$m=8,5\text{м}$ $f=6-9$
	Сланец песчано-глинистый, темно-серый, с горизонтальной слоистостью, с большим количеством растительных остатков.	$m=0,3-0,4\text{м}$ $f=4-5$
	Уголь антрацит, черный, блестящий, тонко-полосчатой структуры, горизонтально-слоистый, однородный.	$m=0,48\text{м};$ $f=2-3$
	Кварц	$m=0,01\text{м}; f=6-7$
	Уголь антрацит, черный, блестящий, однородный.	$m=0,50\text{м}; f=2-3$
	Сланец песчаный, темно-серый, с неровным изломом. в песчаном сланце прослеживается невыдержанный прослой углисто - глинистого сланца мощностью до 0,25-0,30м, крепостью $f=3-4$ .	$m=0,65\text{м}$ $f=5-7$
	Песчаник, в верхней своей части с прослоями песчаного сланца.	$m=\text{до } 23,0\text{м}$ $f=12-14$

Рисунок 3.1 – Горно-геологические условия отработки пласта  $k_2$  (составлено автором)

В соответствии с нормативно-правовыми документами расчетное сопротивление пород одноосному сжатию в массиве,  $R_c$ , МПа, определяется как усредненное по залегающим литологическим разностям в кровле горной выработки – на высоту, равную ширине протяженных горизонтальных, наклонных горных выработок, равную  $B$ , где  $B$  – ширина выработки, м; на сопряжениях – на высоту, равную  $1,5B_c$ , где  $B_c$  – расчетная ширина сопряжения, м (2) [76, 77].

$$R_c = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 + R_{c2} \cdot m_2 + \dots + R_{cn} \cdot m_n) k_{вл} k_c}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \text{ МПа} \quad (2)$$

Где  $R_c \dots R_n$  – сопротивление сжатию слоев пород, МПа, определяется по формуле (3):

$$R = 10f, \text{ МПа} \quad (3)$$

$m_1 \dots m_n$  – мощности слоев пород, залегающих в кровле или в боках горной выработки, м;

$k_c$  – коэффициент, при отсутствии результатов по бурению с отбором керна принимается равным  $k_c=0,9$ ;

$k_{вл}$  – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия

влаги. Принимаем  $k_{вл} = 1$ .

Для кровли:

$$R_c = \frac{(60 \cdot 1,25 + 120 \cdot 4,65 \cdot 1) \cdot 0,9}{5,9} = 96,55 \text{ МПа}$$

Таблица 3.1 – Результаты лабораторного исследования на одноосное растяжение/сжатие образцов горных пород (керн) Скважины № 1 в условиях Вентиляционного штрека №401 АО «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ «Обуховская» (по данным автора)

Образец	Порода, схема нагружения относительно слоистости образца	Глубина отбора	Нагрузка (P)	Площ. Разр. (Sp)	Предел прочности на сжатие	f*
№		м	кН	см <sup>2</sup>	$\sigma_{сж}$ (МПа)	
1.1	Сланец, поперёк	1,10	9,60	24,70	82,82	8
1.2	Сланец, вдоль	1,10	17,40	15,32	214,01	>20
2.1	Сланец, поперёк	1,70	13,20	23,24	119,16	12
2.2	Сланец, вдоль	1,70	22,40	17,41	250,59	>20
3.1	Сланец, поперёк	2,30	8,90	24,04	78,34	8
3.2	Сланец, вдоль	2,30	17,20	13,18	235,74	320
4.1	Сланец, поперёк	2,80	15,20	23,48	136,16	13
4.2	Сланец, вдоль	2,80	16,30	11,68	244,36	320
5.1	Сланец, поперёк	3,40	10,40	24,89	89,21	9
5.2	Сланец, вдоль	3,40	16,60	13,87	221,63	>20
6.1	Сланец, поперёк	4,20	27,50	23,98	242,49	>20
6.2	Сланец, вдоль	4,20	21,20	12,01	311,22	>20
7.1	Сланец, поперёк	4,90	7,80	24,20	68,32	7
7.2	Сланец, вдоль	4,90	12,10	10,19	201,23	320
8.1	Сланец, поперёк	5,50	17,00	24,09	149,38	15
8.2	Сланец, вдоль	5,50	21,20	12,53	301,65	320
9.1	Сланец, поперёк	6,40	21,70	23,64	193,38	20
9.2	Сланец, вдоль	6,40	27,50	14,92	345,01	>20
10.1	Сланец, поперёк	7,40	14,30	22,86	130,70	13
10.2	Сланец, вдоль	7,40	21,40	16,69	246,89	>20
<b>Сред. Мпа; сред. коэфф. f:</b>					<b>193,11</b>	<b>20</b>
Среднеквадратичное отклонение:					<b>82,53</b>	
Коэффициент вариации:					<b>42,74</b>	

\* – Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова

### Опасные зоны или осложняющие факторы ведения работ

1. Снижение устойчивости непосредственной кровли в зонах развития мелкоамплитудной тектоники, представленной ступенчатыми сбросами с амплитудами смещения 0,05-0,14 м и в местах сопряжений горных выработок  
Размывы угольного пласта, с замещением размывной части песчаниками кровли до 35 % мощности пласта.
2. Обводненность пород кровли в местах повышенной трещиноватости.
3. Угрожаемый по горным ударам с глубины 860 м
4. Наличие ослабленных контактов по слоистости непосредственной кровли, расслоение кровли на блоки до 0,2-0,5 м.

### 3.3 Изготовление модели. Подготовительные операции

Для изготовления модели был начерчен эскиз, который отображал наиболее значимую область проведения эксперимента, а именно размеры проводимых спаренных выработок, расстояние между спаренными выработками, при использовании для моделирования стенда с размерами 60\*70 см и геометрическом масштабом 1:50. Принципиальная схема физической модели из эквивалентных материалов представлена на рисунке 3.2.

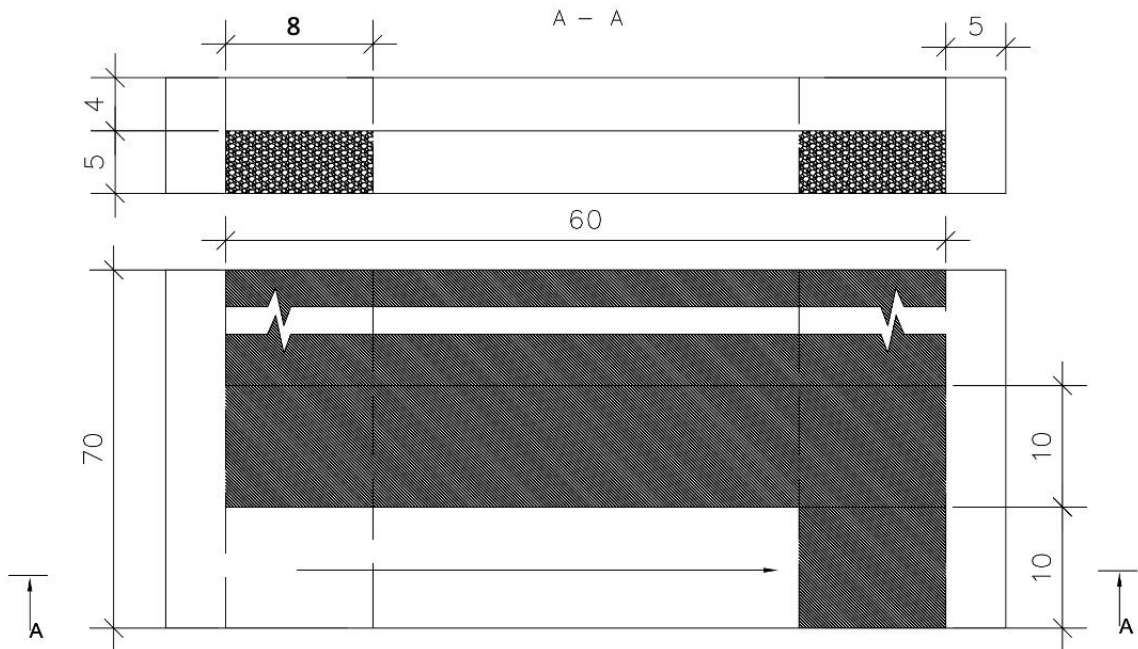


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема физической модели (составлено автором)

Для измерения возникающих напряжений в модели, в слоях непосредственной и основной моделируемой кровли были размещены

тензодатчики МДГ-3: в слое непосредственной кровли были размещены над моделируемым обрабатываемым угольным целиком с шагом установки 65 мм по длине заходки и 50 мм по ширине, в слое основной кровли размещались тензодатчики с шагом установки 100 мм. Схема их расположения представлена на рисунке 3.3.

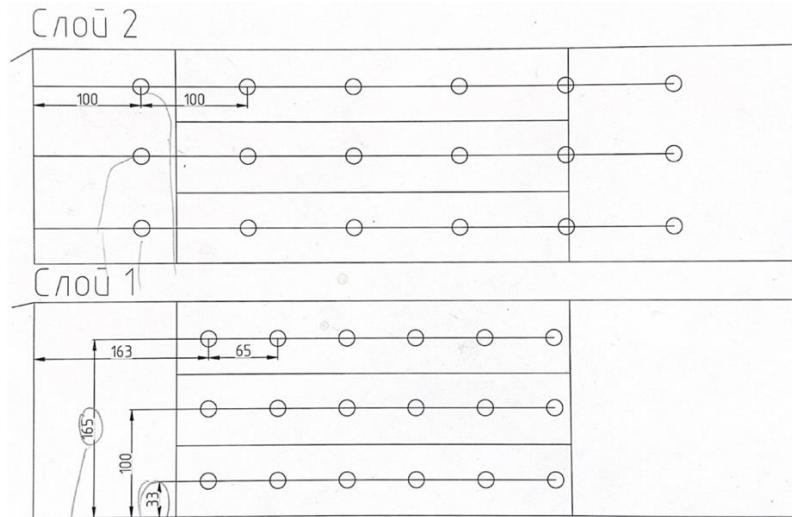


Рисунок 3.3 – Схема расположения тензодатчиков в модели по слоям (составлено автором)

Сбор и обработка данных с тензодатчиков, включая информацию о нагрузке на модель осуществлялись информационно-измерительной системой на базе крейта LTR-EU-16. В режиме реального времени контроль режима нагружения тензобалки и мониторинг показаний датчиков обеспечивались специализированным программным обеспечением AC Test Pro.

Для фиксации смещений в модели и над межштрековым выработанным пространством на модель были установлены реперные марки типа «квадрант» рисунок 3.4; величины их смещений определяли посредством фотофиксации с использованием камеры Hasselblad H5D-200MS рисунок 3.4 и программного обеспечения TEMA Motion 2D. Полученные снимки с разрешением 50–200 мегапикселей обеспечили оценку смещений пород с погрешностью в диапазоне 0,06–0,24 мм. Последующую обработку данных выполняли в MS Excel, а визуализацию результатов — в геоинформационной системе Surfer.

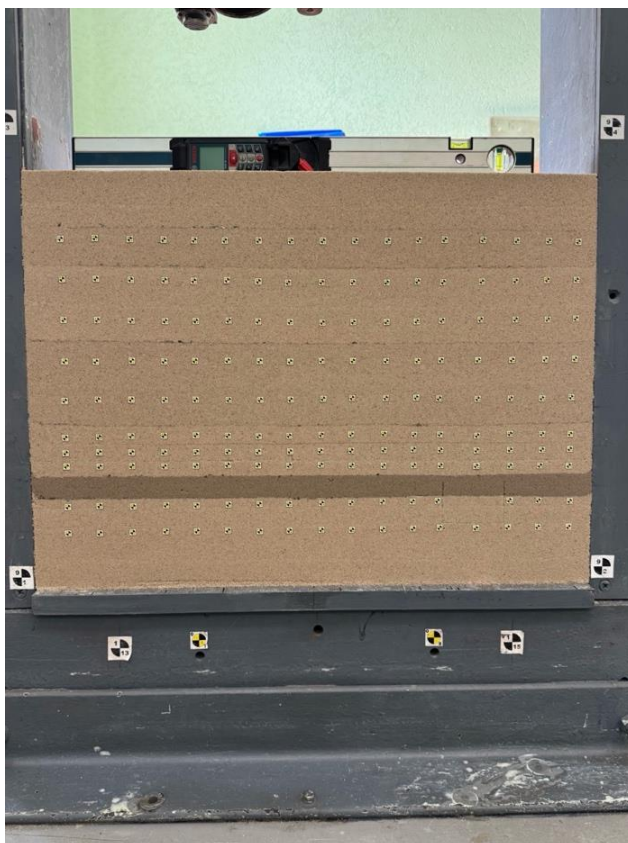


Рисунок 3.4 – Физическая модель, оснащенная реперными марками (фото автора)

Общий вид стенда для физического моделирования из эквивалентных материалов и применяемое для фиксации смещений непосредственной кровли оборудование представлено на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Физическая модель из эквивалентных материалов и применяемое оборудование для фотофиксации смещений (общий вид) (фото автора)

Таким образом, была изготовлена модель при условии, когда отработка межштрекового выработанного пространства ведется со стороны пройденной на полное сечение выработки.

### **3.4 Исследование устойчивости кровли в заходках при выемке межштрекового целика**

Отработка заходок в модели велась от правого края стенда рисунок 3.5. Моделирование считается законченным в момент потери непосредственной кровлей устойчивости за счет обнаженной ее части в пределах отработанных заходок в пределах угольного пласта между спаренными выработками. Журнал с зафиксированными этапами отработки модели представлен в приложении 1.

Отработка физической модели из эквивалентных материалов велась шагами. Шаги отработки модели можно разделить на следующие этапы:

- 1 – Отработка первой заходки. Шаги 1 – 11;
- 2 – Отработка второй заходки. Шаги 12 – 20;
- 3 – Отработка третьей заходки. Шаги 21 – 30.

Выполненное физическое исследование на эквивалентных материалах позволило определить площадь обнажения кровли, при которой начинались смещения непосредственной кровли в межштрековом выработанном пространстве. Результаты выполненных исследований представлены на рисунках 3.5, 3.6 и 3.7 соответственно.

Поскольку основным определяемым параметром является предельно допустимая площадь обнажения, то представляет значительный интерес оценка влияния длины отработки межштрековой заходки на устойчивость непосредственной кровли при отработке короткими забоями межштрекового пространства.

Результаты обработки физического эксперимента на различных шагах отработки заходки представлены на рисунках 3.6 и 3.6. На рисунке 3.6 показано состояние кровли при отработке 5 шага первой заходки, красная область характеризует увеличение смещений кровли. Наличие смещений при обработке данных, полученных с помощью фотофиксации, было зафиксировано в

моделируемом массиве в положении, когда отработан 6 шаг первой заходки  
рисунок 3.7.

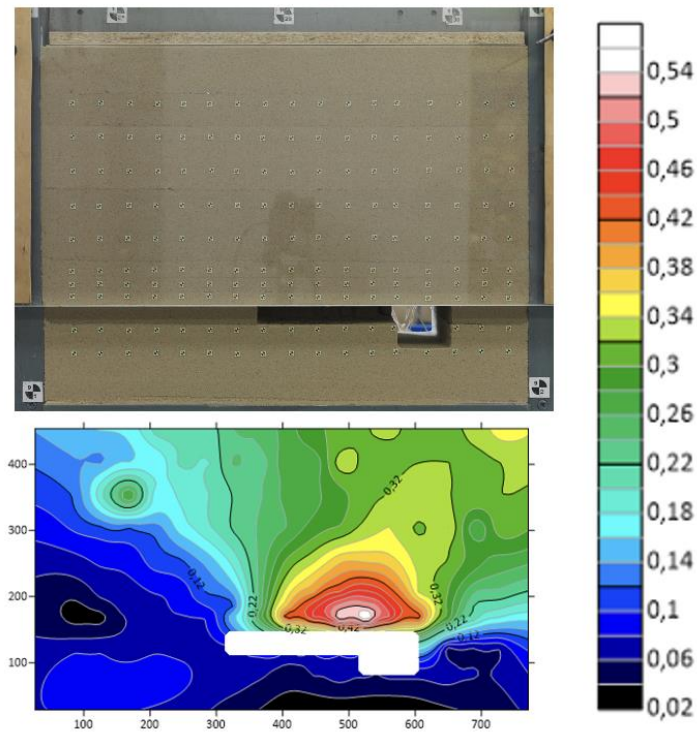


Рисунок 3.6 – Смещения кровли после отработки 5 шага – 200 мм  
модельных или 8 м фактических (составлено автором)

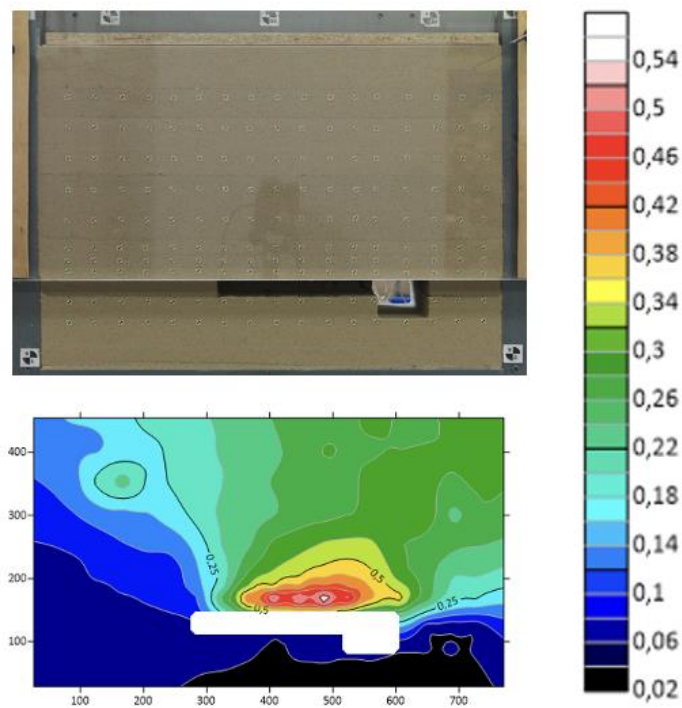


Рисунок 3.7 – Смещения кровли после отработки 6 шага – 240 мм  
модельных или 10 м фактических (составлено автором)

Однако при обработке показаний датчиков было зафиксировано, что

критические смещения кровли наступают при обработке межштрекового угольного целика в диапазоне от 2 до 3 шага первой заходки межштрекового целика рисунок 3.8.

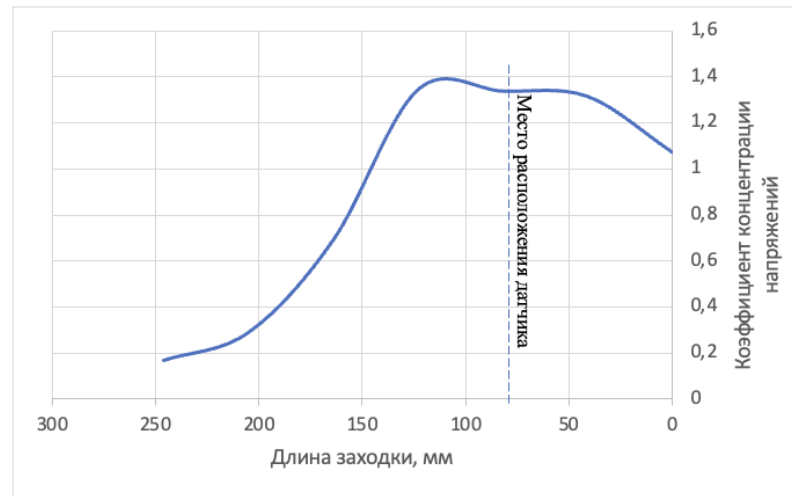


Рисунок 3.8 – Показания тензометрического датчика (пунктир место установки датчика в модели) (составлено автором)

Выполненное физическое моделирование на эквивалентных материалах позволило определить предельно допустимую площадь обнажения кровли, и расстояние от пройденного штрека таблица 3.2 рисунок 3.9, на котором началось отслоение непосредственной кровли [33].

Таблица 3.2 – Смещения кровли в зависимости от площади обнажения кровли (по данным автора)

Длина заходки, м	Ширина заходки, м	$S_{\text{обн.кр.}}$ , м <sup>2</sup>	Смещения, мм
2	3,3	6,6	8
4	3,3	13,2	26
8	3,3	26,4	60
10	3,3	33	100
12	3,3	39,6	123
14	3,3	46,2	130

Выполненное физическое моделирование на эквивалентных материалах позволило определить предельно допустимую площадь обнажения кровли, и расстояние от пройденного штрека, на котором началось отслоение непосредственной кровли, что составит при ширине заходки 3,3 м – 4,5 м.

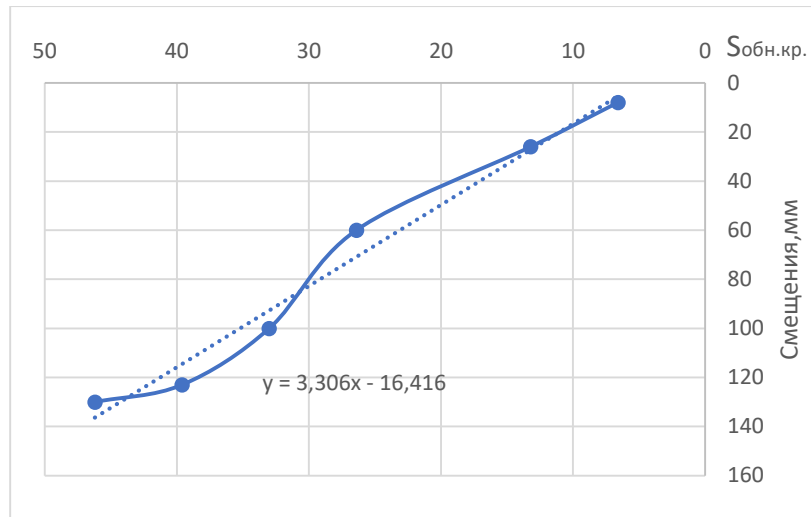


Рисунок 3.9 – Зависимость смещения кровли в межштрековом выработанном пространстве от площади ее обнажения (составлено автором)

Исследование устойчивости кровли в заходках при выемке межштрекового целика с применением физического моделирования на эквивалентных материалах позволило установить ключевые параметры, определяющие предельную устойчивость непосредственной кровли: критические смещения начинаются уже на 2-3 шаге первой заходки, а визуально заметные деформации (в том числе отслоения) фиксируются при отработке 6-го шага – что соответствует фактической длине обнажения 10 м. При ширине заходки 3,3 м предельно допустимое расстояние от пройденного штрека до зоны начала отслоения кровли составляет 4,5 м, а анализ зависимости смещений от площади обнажения (от 6,6 м² до 46,2 м²) показал нелинейный рост деформаций – с увеличением длины заходки с 2 до 14 м смещения возрастают с 8 мм до 130 мм. Полученные данные дают возможность обоснованно нормировать длину заходки, которая не требует крепления и обосновать рекомендации по креплению, чтобы минимизировать риск потери устойчивости кровли и обеспечить безопасность горных работ.

### 3.5 Выводы по главе 3

Установлено, что в устойчивом состоянии массив находится на расстоянии от пройденной выработки в 4,5 м фактических, при отработке 3 шага первой заходки физической модели из эквивалентных материалов наблюдается перераспределение напряжений и уменьшение давления к центру, что говорит об отслоении непосредственной кровли межштрекового выработанного пространства

на расстоянии 5 м фактических от пройденной на полное сечение выработки.

Устойчивость спаренных выработок, разделенных породной полосой, обеспечивается при рациональной ширине полосы, ее несущей способности не выше несущей способности угольного целика такой же ширины, анкерном креплении выработок и заходок в период проходки, не допускающим обнажений кровли выше установленных для заданных горно-геологических условий предельных значений. Выполненные исследования показали, для предотвращения отслоения кровли и обеспечения безопасности ведения горных работ при реализации предлагаемой технологии крепление участка должно быть приурочено к отработке 2 шага заходки, что эквивалентно 4 м фактическим.

Для выбора параметров технологии проведения спаренных выработок с оставлением породы в шахте необходимо разработать алгоритм выбора параметров разработанной технологии проходки спаренных выработок, а также оценить экономическую эффективность внедрения вариантов технологий и определить область применения предлагаемых технологических решений.

## **ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ СПАРЕННЫХ ВЫРАБОТОК С ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ**

### **4.1 Общие положения**

К способам проходки подготовительных выработок предъявляются следующие основные требования:

1. Обеспечение своевременного воспроизводства фронта очистных работ. 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 раздельной выемки угля и породы и оставление породы от проходки в шахте;

3. Обеспечение безремонтного состояния подготовительных выработок в течение всего срока службы.

По результатам физического моделирования отработки межштрекового угольного целика, крепление межштрекового выработанного пространства необходимо осуществлять не позднее отработки 2 шага первой заходки, что эквивалентно 2 см модельным и 4 м фактическим.

Для определения наиболее благоприятных условий поддержания выработки необходимо проведение численных исследований, с оценкой НДС массива вокруг спаренных выработок в зоне влияния и вне зоны влияния очистных работ с различными видами закладочного массива.

Таким образом, для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ и безремонтного поддержания подготовительных выработок целесообразно применение способа проходки спаренных выработок с применением короткозабойного проходческого оборудования, позволяющего снизить объемы породы, выдаваемой на поверхность, за счет оставления породы в выработанном межштрековом пространстве.

## 4.2 Обоснование параметров ширины выработки и межштрекового целика

В предложенном способе проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте размеры поперечного сечения спаренных выработок (ширина, высота, диаметр и площадь) обусловлены их функциональным назначением, размерами используемого транспортного и иного оборудования, требованиями к перемещению персонала, необходимым объёмом воздухообмена, а также выбранной формой сечения. Расчёт параметров выполняется двумя методами – графическим и аналитическим; в качестве итогового значения площади поперечного сечения принимается большее из двух полученных результатов.

Площадь поперечного сечения выработок в свету определяется расчетом по факторам допустимой скорости воздушной струи (проветривания), габаритных размеров подвижного состава и оборудования с учетом минимально допустимых зазоров, величины усадки крепи после воздействия горного давления и безремонтного их поддержания в течение всего периода эксплуатации.

Проектные показатели проведения и крепления выработки: срок службы выработки – 7 лет, направление проведения выработки – по простиранию пласта, глубина заложения выработки – 859 м, форма поперечного сечения выработки – прямоугольная, проектная длина выработки – 1700 м, размеры поперечного сечения выработки: ширина по кровле – 5,0 м, высота – 3,0 м, площадь сечения в проходке – 15,00 м<sup>2</sup>, площадь сечения в свету – 14,90 м<sup>2</sup>, крепость присекаемых пород – 12-14, коэффициент присечки пород – 65%, выбросоопасность пород – нет.

В конвейерном штреке предполагается размещение ленточного конвейера и подвешенного монорельса рисунок 4.1.

По техническим возможностям предлагаемого проходческого оборудования минимальное сечение составляет 16 м<sup>2</sup>.

Параметры межштрекового пространства обусловлены мощностью вынимаемого угольного пласта и шириной, необходимой для размещения породы, полученной при проходке выработок по породе.

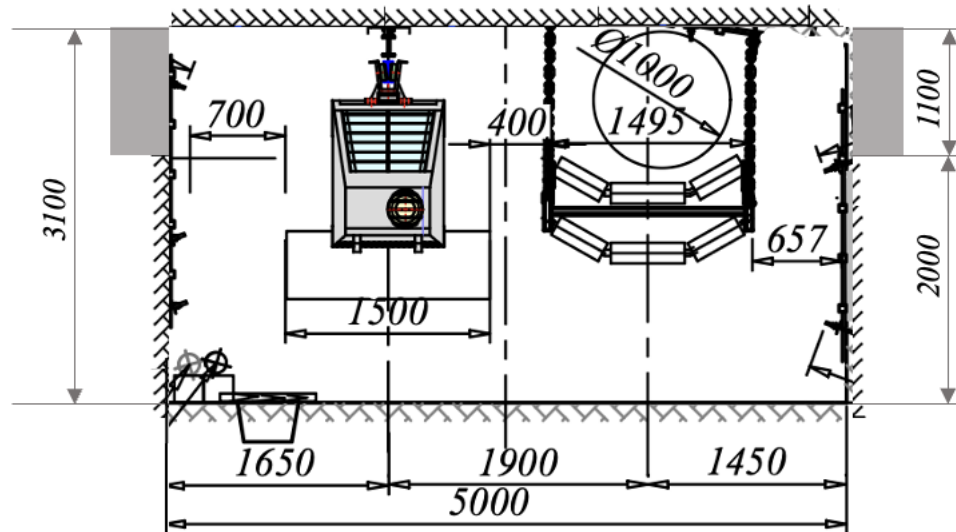


Рисунок 4.1 – Графическое изображение средств механизации в конвейерном штреке [35]

При проходке горных выработок комбайном типа КП330 по породе образуется пустая порода, которую необходимо полностью разместить в выработанном межштрековом пространстве. Ширина межштрекового выработанного пространства зависит от объема получаемой при проходке выработок породы; объем пустой породы  $V_{п.п.}$  определяется по формуле (4):

$$V_{п.п.} = (2l_{ш} + 2b_{ш} + 2h_{ш}) \cdot k_{раз} \quad (4)$$

где  $l_{ш}$  – длина проводимых горных выработок,

$b_{ш}$  – ширина проводимых горных выработок,

$h_{ш}$  – высота проводимых горных выработок по породе,

$k_{раз}$  – коэффициент разрыхления.

Поскольку высота выработанного пространства эквивалентна мощности угольного пласта, ширина между выработками  $B_{в.п.}$  определяется по формуле (5):

$$B_{в.п.} = \frac{k_{раз} \cdot 2h_{ш} \cdot 2b_{ш} \cdot 2l_{ш}}{l_{ш} \cdot h_{у.п.}} \quad (5)$$

где  $h_{у.п.}$  – мощность разрабатываемого угольного пласта

Таким образом определены значения высоты и ширины межштрекового выработанного пространства при длине проводимых горных выработок 1700 м  $B_{в.п.} = 14,5$  м, при мощности отработываемого угольного пласта  $m = 1,1$  м.\

### 4.3 Обоснование параметров межтрековой породной полосы

Основными параметрами межштрековой породной полосы являются ее ширина и несущая способность [89, 100]. Ширина полосы между выработками определяется исходя из условия размещения в ней всей породы, отсекаемой при проведении спаренных выработок. При ширине выработок 5,0 м и мощности пласта 1,1 м ширина полосы между выработками может составлять 12-16 м в зависимости от высоты выработок и мощности принятого к отработке угольного пласта. Для обеспечения устойчивости выработок необходимо определить требования к несущей способности и деформационным характеристикам пород с точки зрения формирования наиболее благоприятных условий для поддержания. С этой целью были выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния массива вокруг подготовительных выработок, разделенных породной полосой.

Для изучения особенностей напряженно-деформированного состояния массива пород вблизи горных выработок выполнено численное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS [12, 30, 75].

С целью проведения анализа напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестностях участковых выработок была разработана численная 2D модель, включающая в себя: угольный пласт, вмещающие породы, участковые выработки, межстолбовой целик [36, 84, 85, 95]. При проведении исследований моделировалась отработка пласта на глубине 800 м. В качестве исходной для геомеханической модели принята типовая горная выработка прямоугольного сечения высотой 3.0 м и шириной 5.0 м. Кровля пласта представлена сланцем песчаным мощностью 5 м и прочностью на одноосное сжатие 32 МПа, выше которых находятся песчаники мощностью 10 м с прочностью на одноосное сжатие 119 МПа. Почва пласта представлена песчаником кварцевым на кремнистом цементе мощностью 14.5 м с прочностью на одноосное сжатие 116,4 МПа. Использовалась модель Кулона-Мора для учета изменения механических свойств горных пород [97]. Кроме того, для оценки влияния очистных работ моделировалось выработанное пространство, заполненное обрушенными

породами. Жесткость межстолбового целика определялась его типом: угольный целик, податливый породный целик, искусственный жесткий породный целик с упрочнением цементными смесями, и задавалась путем изменения деформационный и прочностных свойств слагающих его материалов.

В качестве примера результатов численных исследований на рисунке 4.2 приведены поля напряжений для горнотехнической ситуации, когда охрана участковых выработок 1, 2, пройденных по пласту 3, осуществляется с помощью искусственного целика 4, жесткость которого существенно превышает жесткость угольного пласта.

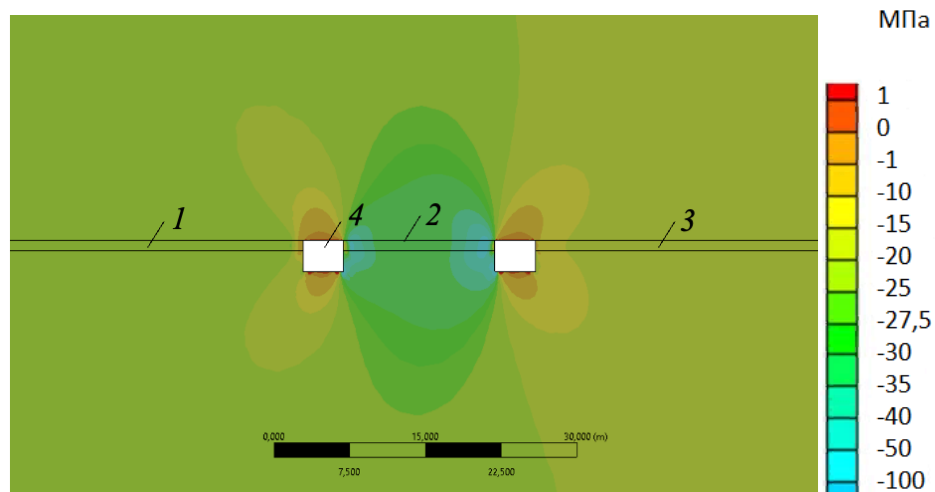


Рисунок 4.2 – Поле нормальных вертикальных напряжений в окрестности подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ при оставлении упрочненного целика, цветовая зона эпюры, соответствующая диапазону значений от -1 до -50 МПа (составлено автором)

Выполненные численные исследования позволили сравнить напряженное состояние массива горных пород в окрестности рассматриваемых выработок на различных этапах их поддержания: 1) формирование искусственного или угольного целика между парными выработками, проводимыми в массиве горных пород вне зоны влияния очистных работ; 2) поддержание выработки, охраняемой искусственным или угольным целиком в зоне влияния очистных работ. Результаты выполненных исследований для указанных горнотехнических ситуаций представлены на рисунках 4.3 и 4.4 соответственно [36].

На основании анализа эпюр, представленных на рисунке 4.3, можно сделать

следующие выводы:

– оставление угольного целика шириной 15 м в рассматриваемых условиях не исключает взаимовлияния выработок, что подтверждается повышенной концентрацией напряжений в краевых частях целика по сравнению с уровнем напряжений в краевых частях массива – 27,3 МПа и 25,3 МПа соответственно;

– использование в качестве закладки пород, полученных при проведении выработки, без их упрочнения (цементации) при формировании искусственного целика приводит к снижению его жесткости и, как следствие, снижению в нем уровня напряжений с закономерной переноской нагрузки на краевые части массива, которые становятся основных несущим элементом в системе пласт-выработки-целик;

– применение жестких целиков снижает уровень смещений на контуре выработок благодаря высокой несущей способности целика, который воспринимает основную часть нагрузки от вышележающих слоев.

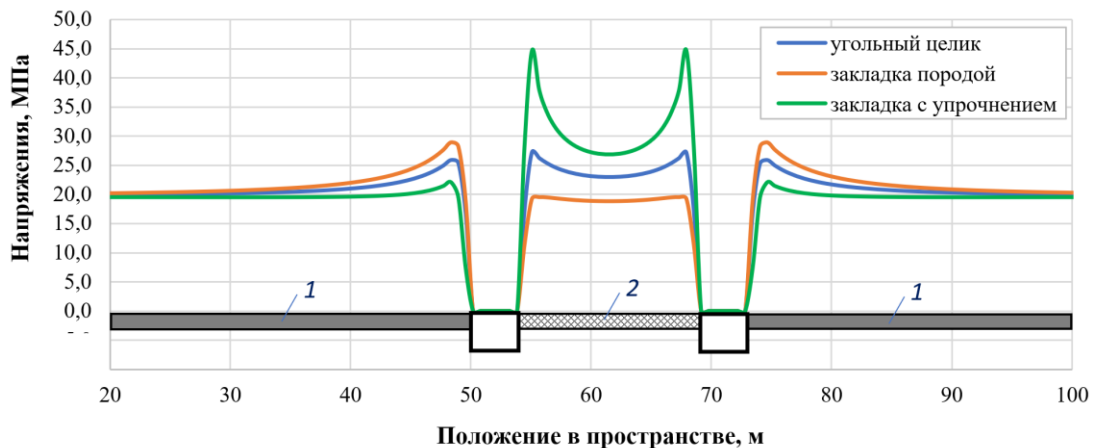


Рисунок 4.3 – Эпюры вертикальных напряжений вне зоны влияния очистных работ при использовании различных целиков шириной 15 м (составлено автором)

Поскольку основной функцией рассматриваемого целика является охрана участковой выработки от вредного влияния очистных работ (опорного давления) со стороны смежного выемочного столба, а жесткость целика предопределяет эффективность выполнения такой функции, то представляет значительный интерес оценка влияния жесткости целиков на напряженное состояние массива на этапе поддержания выработки в зоне влияния очистных работ. Результаты выполненных

численных исследований для целиков различной жесткости представлены на рисунках 4.3 и 4.4. Рисунок 4.4 наглядно демонстрирует различие в распределении напряжений в окрестности межстолбового целика, который имеет различную жесткость. В случае использования искусственного целика без упрочнения цементирующими составами его жесткость превышает жесткость породного массива в выработанном пространстве, но ниже жесткость пласта, что предопределяет возможность восприятия им части нагрузки, однако в рассматриваемом случае ширина целика 15 м является недостаточной для исключения негативного влияния опорного давления со стороны смежного столба, что подтверждается ростом уровня напряжений в борту выработки со стороны краевой части массива с 28,5 МПа до 31,2 МПа.

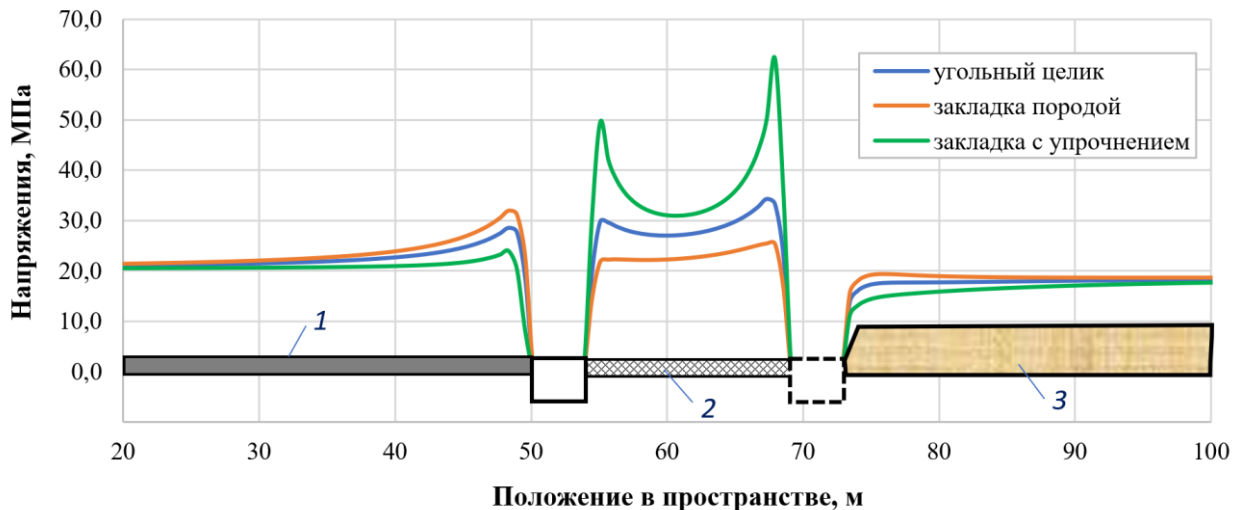


Рисунок 4.4 – Эпюры вертикальных напряжений в зоне влияния очистных работ при использовании различных целиков шириной 15 м (составлено автором)

Выполненные численные исследования подтвердили определяющее влияние ширины и жесткости искусственных межстолбовых целиков на напряженное состояние массива горных пород в окрестностях охраняемых горных выработок, поддерживаемых в зонах влияния очистных работ. При этом следует отметить, что жесткость искусственного целика и его ширина должны подбираться исходя из конкретного сочетания горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ на участке, которые определяют: фактический уровень нагрузок на межстолбовые целики и краевые части массива (с учетом прочности угля), физико-

механические свойства пород, используемых при закладке, а также свойств пород в выработанных пространствах.

В результате численных исследований выявлено, что создание породных полос между выработками (при условии, что их несущая способность близка к несущей способности угольного целика, но не превосходит её) обеспечивает наиболее благоприятные условия для поддержания выработки, примыкающей к соседнему выемочному участку. Вместе с тем, при попадании в зону опорного давления лавы дополнительные напряжения возникают в борту выработки со стороны угольного пласта, что может привести к пучению почвы. В этом случае возможно применение различных способов разгрузки краевой части пласта. При этом поддержание за лавой выработки, примыкающей к выработанному пространству, не предусмотрено, что является главным преимуществом перед бесцеликовыми схемами.

Выполненные исследования показали перспективность применения для подготовки выемочных участков при отработке тонких пластов на шахтах Восточного Донбасса схем с применением спаренных выработок с формированием между ними искусственного целика из породы, образуемой при проходке. Такие схемы сочетают преимущества спаренных выработок в плане возможности погашения выработок за лавой и бесцеликовых схем с минимальными эксплуатационными потерями. Кроме того, присекаемая при проходке выработок порода остается в шахте, что существенно снижает воздействие шахт на окружающую среду. Определены требования к прочностным свойствам формируемых искусственных целиков. Формирование технологических схем проведения выработок с использованием комплекта короткозабойного оборудования для выемки пласта в пределах контура выработок и целика между ними в сочетании с современным закладочным оборудованием для формирования искусственного целика являются предметом дальнейших исследований.

#### **4.4 Обоснование параметров проходческого цикла**

При принятых на шахте технологических решениях суточная нагрузка на очистной забой составляет 2561 т рисунок 4.5, при этом подвигание лавы за сутки

составляет 5,6 м.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА РМПИ  
СУТОЧНАЯ НАГРУЗКА НА ЛАВУ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ ВЫЕМКЕ УГЛЯ  
(ПРОГРАММА av01 по МЕТОДИКЕ ИГД ©г. А.А.СКОЧИНСКОГО)

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

1.ВНИМАЕМАЯ МОЩНОСТЬ ПЛАСТА, М	1.10
2.ДЛИНА ЛАВЫ, М	235.
3.НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛАВЫ: 1-ПО ПРОСТИРАНИЮ, 2-ПО ВОССТАНИЮ, 3-ПО ПАДЕНИЮ ПЛАСТА	1
4.УГОЛ ПАДЕНИЯ ПЛАСТА, ГРАДУС	6.00
5.ПЛОТНОСТЬ УГЛЯ В МАССИВЕ, Т/МЗ	1.76
6.СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ ПЛАСТА РЕЗАНИЮ, КН/М	160.00
7.КОЭФФ., ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЙ ХРУПКОСТЬ УГЛЯ (1.0-1.3)	1.10
8.УСТОЙЧИВОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ: 1-УСТОЙЧИВАЯ, 2-СРЕДНЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ, 3-НЕУСТОЙЧИВАЯ КРОВЛЯ	2
9.МОЩНОСТЬ ПРИВОДА КОМБАЙНА, КВТ	420.00
10.КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ КОМБАЙНА	.940
11.ШИРИНА ЗАХВАТА КОМБАЙНА, М	.800
12.СХЕМА РАБОТЫ КОМБ.: 1-ЧЕЛНОК., 2-ОДНОСТОР., 3-УСТУПНАЯ	1
14.ТЕХН. ДОПУСТИМАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ КОМБАЙНА, М/МИН	6.20
15.СКОРОСТЬ КРЕПЛЕНИЯ ЛАВЫ, М/МИН	2.50
16.КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ КРЕПИ ЛАВЫ	.940
17.СУММА ОСЛОЖНЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОПРЯЖЕНИИ С КОНВ. ВЫРАБ	1.20
18.СУММА ОСЛОЖНЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА СОПРЯЖЕНИИ С ВЕНТ. ВЫРАБ	2.00
19.ПРОДОЛЖИТ. ПОДГОТОВИТ.-ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ, МИН	15.00
20.ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ КОНЦЕВЫХ ОПЕРАЦИЙ, МИН	20.00
21.ВРЕМЯ НА ВСПОМ.ОПЕРАЦИИ, ПРИХОДЯЩЕЕСЯ НА 1 М ЛАВЫ, МИН/М	.03
22.ВРЕМЯ НА ОБМЕН ВАГОНОВ, ПРИХОДЯЩЕЕСЯ НА 1 М ЛАВЫ, МИН/М	.00
23.ВРЕМЯ НА ЗАРЯЖАНИЕ И ВЗРЫВАНИЕ ШПУРОВ В НИШАХ, МИН	.00
24.НАЛИЧИЕ В ТРАНСП.ЛИНИИ АККУМУЛИР. БУНКЕРА: 1-ДА, 2-НЕТ	1
25.ЧИСЛО СКРЕБКОВЫХ КОНВ. В УЧАСТКОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЛИНИИ	1.00
26.ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИИ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ, Т/ЧАС	600.00
27.ЧИСЛО ЛЕНТОЧНЫХ КОНВ. В УЧАСТКОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЛИНИИ	3.00
28.ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ, Т/ЧАС	850.00
29.ЧИСЛО КОНВЕЙЕРОВ В СБОРНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ	4.00
30.ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СМЕНЫ, МИН	480.00
31.ЧИСЛО СМЕН ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ В СУТКИ	3.00

ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:

РАСЧЕТНАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ КОМБАЙНА, М/МИН	2.300
СКОРОСТЬ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАШИНИСТА КОМБАЙНА ПО ЛАВЕ, М/МИН	2.300
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМБАЙНА ПО СКОРОСТИ ПОДАЧИ, Т/МИН	3.562
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМБАЙНА ПО СКОРОСТИ КРЕПЛЕНИЯ, Т/МИН	4.259
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИИ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ, Т/МИН	10.000
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ, Т/МИН	14.167
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМБАЙНА, ПРИНЯТАЯ К РАСЧЕТУ, Т/МИН	3.562
КОЭФФ.ГОТОВНОСТИ ЛАВЫ ПО ГРУППЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕРЫВ.	.595
КОЭФФ. ГОТОВНОСТИ ЛАВЫ ПО ГРУППЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПЕРЕРЫВОВ	.783
СМЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ	.499
СУТОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ	.499
СУТОЧНАЯ НАГРУЗКА НА ОЧИСТНУЮ ЗАВОЙ, Т	2561.
ЧИСЛО ЦИКЛОВ ЗА СУТКИ	7.037
ПОДВИГАНИЕ ЛАВЫ ЗА СУТКИ, М	5.629
= ПОДАЧА КОМБАЙНА ПРИНЯТА ПО СКОРОСТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАШИНИСТА.	

Расчет выполнил

Евсюкова АА

## Рисунок 4.5 – Суточная нагрузка на очистной забой (Программа AV01)

(составлено автором)

Для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ при подготовке выемочных участков спаренными выработками необходимая скорость их проведения должна быть в 2,1-2,4 раза выше скорости подвигания очистного забоя [1].

Для реализации предлагаемой технологии необходимо выполнить ряд организационных работ: проведение спаренных выработок с отдельной выемкой угля и породы, и крепление горных выработок и межштрекового выработанного пространства; монтаж закладочного комплекса и ведение закладочных работ.

Проходка спаренных выработок осуществляется в 2 стадии: комбайн по породе обрабатывает угольный пласт на длину эквивалентную принятых проектом ширине выработок и межштрековому пространству, на длину необходимую для размещения породы от проходки выработок по породе.

Обработку верхнего (угольного) слоя предусматривается проводить с применением комбайна непрерывного действия 14СМ 10 рисунок 4.6 в комплекте с изгибающимся конвейером [47].



№ п/п	Характеристика	Значение
1	Минимальная высота выемки, м	0,965
2	Общая мощность (кВт)	496

Рисунок 4.6 – Комбайн непрерывного действия 14СМ10 [47]

Производительность короткозабойного комбайна проходческого комбайна Joy 14СМ10 составляет от 10 до 40 т/мин, в зависимости от конкретной модификации. Пропускная способность изгибающегося конвейера рисунок 4.7 составляет до 27 т/мин для угля [44].



№ п/п	Характеристика	Значение
1	Высота выработки, м	1,4
2	Грузоподъемность, тонн	25

Рисунок 4.7 – Гибкий конвейерный поезд 4FCT-B/C [44]



применением комбайна избирательного действия КП330 (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Проходческий комбайн КП330 [86, 87]

Производительность проходческого комбайна КП330 составляет от 0,5 до 3 т/мин, в зависимости от крепости породы. Скорость проходки – до 18м/сутки [86, 87].

Ведение закладочных работ в выработанном межштрековом пространстве предусматривается производить с помощью отечественного полустационарного дробильно-закладочного комплекса «Титан-1».

Технология возведения бутовой полосы в выработанном межштрековом пространстве следующая. Конвейерный и вентиляционные штреки проводятся вместе с отработкой угольного пласта. Отставание комбайна по породе от проходческого комбайна по углю обусловлено следующим: сечение выработанного межштрекового пространства в каждой заходке составляет  $(1,1 \cdot 3,3) = 3,63 \text{ м}^2$ . При длине заходки 14,5 м ее объем составит  $14,5 \cdot 3,63 = 52,6 \text{ м}^3$ . Коэффициент заполнения полости породой принимаем 0,92, коэффициент разрыхления породы 1,35, то есть чтобы заполнить выработанное пространство при проектной ширине выемочных выработок 5м и высотой по породе 2 м необходимо провести выработку по породе на 5,3 м.

Отбитая порода комбайном КП330 подается в перегружатель рисунок 4.14, а затем в дробилку закладочного комплекса «Титан» расположенного за проходческим комбайном. Пневмозакладочный комплекс позволит закладывать всю породу от проведения подготовительных выработок в бутовую полосу шириной 14-15 м, его устанавливают в штреке за комбайном КП330 [78-80].



крепь (длина анкеров 2,0–2,5 м, несущая способность 80–120 кН, плотность установки 0,8–1,2 анкера/м<sup>2</sup>) позволяет обеспечить устойчивость кровли в межштрековом выработанном пространстве в условиях пласта мощностью 1,1–1,8 м; внедрение технологии обеспечивает экономический эффект до 120 млн руб./год за счёт сокращения издержек на подъём и размещение породы на поверхность, а срок окупаемости инвестиций составляет 2,5–3,2 года (в зависимости от варианта реализации), что делает её рациональным решением для отработки тонких и средней мощности угольных пластов Восточного Донбасса, снижая экологическую нагрузку (предотвращение накопления более 700 тыс. т породы в отвалах к 2030 г.) и улучшая условия ведения горных работ.

#### **4.5 Обоснование области применения схем**

При проведении подготовительных выработок по тонким угольным пластам сплошным забоем большие объёмы присекаемых пород вместе с углем выдаются на поверхность. Это вызывает необходимость дополнительных затрат на транспортировку присекаемой породы, обогащение горной массы (отделение породы на поверхности), транспорт и размещение в отвалы, а также плату за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС).

Значительную часть затрат составляют затраты на обогащение угля, получаемого при проведении подготовительных выработок с присечкой пород кровли и/или почвы.

При проведении выработок с применением высокопроизводительного короткозабойного проходческого комплекса стоимость проведения выработок выше, а также переход на комбайновый способ требует существенных первоначальных затрат, вместе с тем, предлагаемая технология исключает дополнительные затраты на обогащение горной массы, а также исключает выдачу породы от проведения подготовительных выработок на поверхность [15].

Для оценки эффективности внедрения вариантов оставления породы от проходки в шахте с использованием различных комплектов оборудования использована методика экономической оценки реализации организационно-технических мероприятий по совершенствованию горного производства [37, 51, 52,

55]. Оценка эффективности альтернативных технологий оставления породы в выработанном пространстве шахты произведена на основе расчета и анализа основных экономических показателей: чистого дисконтированного дохода (ЧДД), срока окупаемости инвестиций (Ток), индекса доходности (ИД), внутренней нормы доходности (ВНД) [63].

Были рассмотрены 3 варианта технологий оставления породы в выработанном пространстве, предусматривающие различные виды техники и соответственно разные капитальные вложения. При этом при реализации технологий в качестве положительного эффекта будет снижение издержек производства, связанных с транспортом, подъемом и размещением на поверхности породы от проходки, что, по укрупненной оценке, составит 120 млн. руб. ежегодно. Оценка вариантов произведена на 5 лет исходя из нормативного срока работы оборудования. Результаты расчетов представлены в таблице 4.1 и на рисунке 4.12.

К рассмотрению были приняты следующие технологии: 1 – размещение породы от проходки в выработанном пространстве над конвейерным штреком, сохраняемым за лавой, с использованием закладочного комплекса «Титан», 2 – выемку угля в пределах контура выработок и между выработками производить с помощью оборудования для длинных забоев; выемку породной части сечения выработок – с помощью двух проходческих комбайнов КП-330 или КСП-35; для закладки породы – два пневмозакладочных комплекса «Титан», 3 – выемку угля в пределах контура выработок и между выработками производить с помощью комплекта короткозабойного оборудования; выемку породной части сечения выработок – с помощью проходческого комбайна КП-330 или КСП-35 (или зарубежного аналога), работающего по схеме «place-change»; для закладки породы – пневмозакладочный комплекс «Титан».

Для оценки эффективности внедрения вышерассмотренных вариантов технологий использована методика экономической оценки реализации организационно-технических мероприятий по совершенствованию горного производства. Оценка эффективности альтернативных технологий оставления породы в выработанном пространстве шахты произведена на основе расчета и

анализа основных экономических показателей: чистого дисконтированного дохода (ЧДД), срока окупаемости инвестиций ( $T_{ок}$ ), индекса доходности (ИД), внутренней нормы доходности (ВНД) (6) [51]:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^T (P_t + A_t - Z_t - K_t) \frac{1}{(1+E)^{t-1}}, \quad (6)$$

где  $P_t$  – выручка от внедрения технологии, руб.;  $A_t$  – величина амортизационных отчислений, руб.;  $Z_t$  – текущие затраты, руб.;  $K_t$  – капитальные вложения в приобретение техники для реализации предлагаемой технологии, руб.;  $t$  – текущий год периода оценки;  $E$  – норма дисконта.

Таблица 4.1 – Сравнение показателей экономической эффективности по вариантам технологии (по данным автора)

Показатель	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
ЧДД	млн. руб.	146	136	106
$T_{ок}$	год	2,5	4,1	4,2
ИД	д.е.	1,73	1,65	1,44
ВНД	%	39	36	28,5

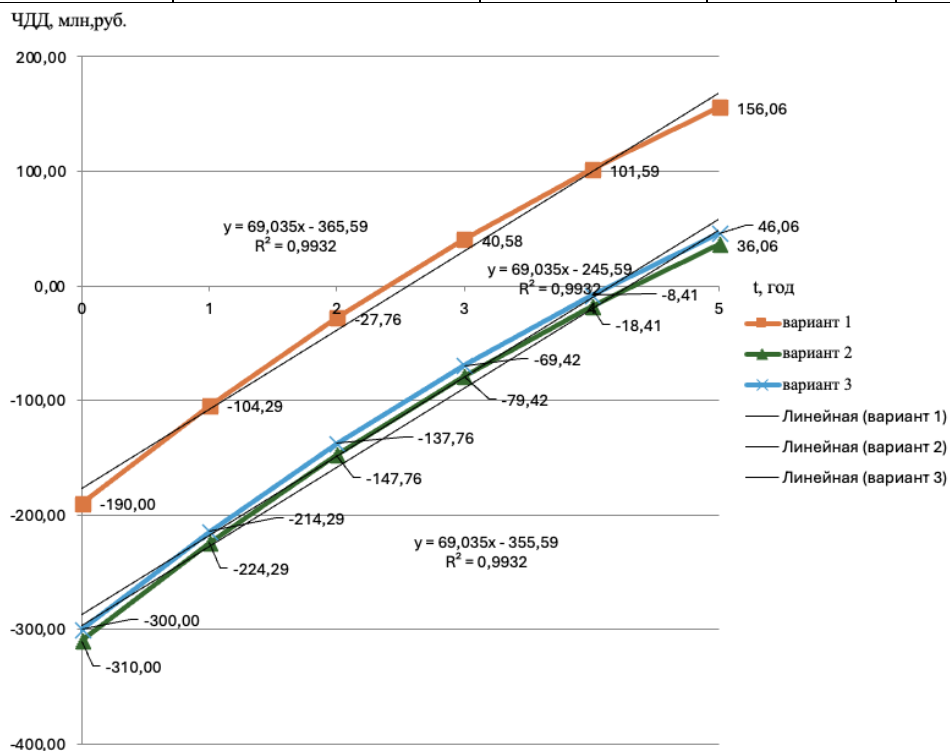


Рисунок 4.12 – Оценка эффективности вариантов технологии оставления породы в выработанном пространстве (составлено автором)

Как видно из рисунка 4.12, несмотря на существенный объем инвестиций, внедрение технологий оставления породы в шахте позволит получить экономический эффект через 2,5-3 года. Кроме того, без применения таких

технологий, прирост породы в отвалах на поверхности за период с 2023 по 2030 год составит более 700 тыс. тонн.

Для выбора параметров технологии проведения спаренных выработок по пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте разработан алгоритм, представленный на рисунке 4.13.

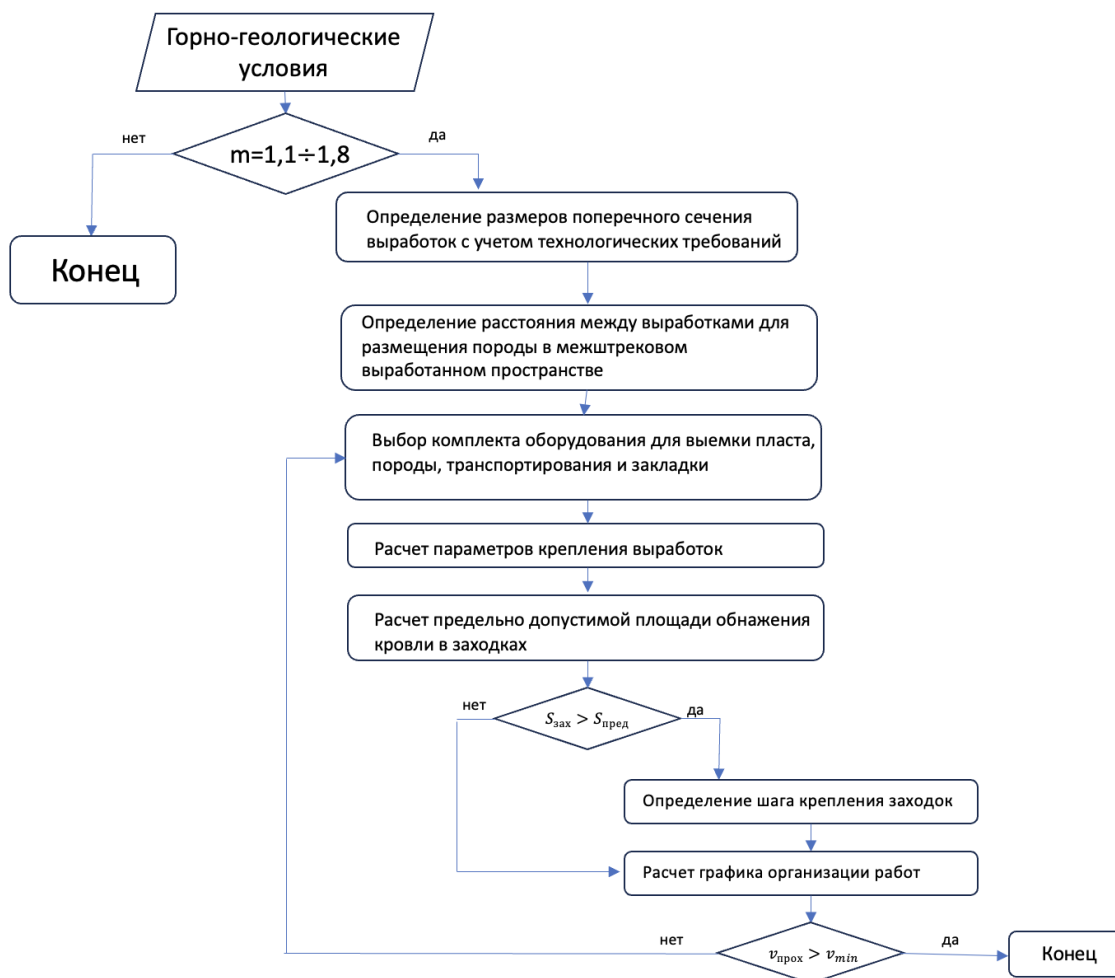


Рисунок 4.13 – Алгоритм выбора параметров технологии проведения спаренных выработок (составлено автором)

В первую очередь производится оценка горно-геологических и горнотехнических условий проведения выработок. В случае, если выработки проходятся с присечкой пород кровли и/или почвы при мощности пласта от 1,1 до 1,8 м. В случае, если мощность разрабатываемого пласта не входит в принятый диапазон, то технология не может быть реализована. Если мощность пласта входит в диапазон, то производится определение размеров поперечного сечения выработок с учетом технологических требований.

Далее, определяется расстояние между выработками в зависимости от площади поперечного сечения выработки, проводимой по породе и объема породы, который необходимо разместить в выработанном пространстве между выработками. В зависимости от необходимой скорости проведения выработок и мощности отрабатываемого угольного пласта выбирается комплект проходческого оборудования для выемки пласта, породы, закладки и транспортировки. После выбора комплекта оборудования производится расчет параметров крепления выработок, проводимых на полное сечение. Далее в соответствии с горно-геологическими и горнотехническими условиями определяется предельно допустимая площадь обнажения кровли, при которой кровля в межштрековом выработанном пространстве остается устойчивой и не требует крепления. Если  $S_{\text{зах}} > S_{\text{пред}}$ , то определяется шаг крепления заходки, если условие не выполняется, то производится расчет графика организации работ. В случае, если скорость проходки больше минимально необходимой, осуществляется переход к подготовке спаренными выработками с применением высокопроизводительного короткозабойного комплекса, если менее, то подбирается новый комплект оборудования.

Способ проходки спаренных выработок с оставлением породы в шахте целесообразно применять при отработке тонких и средней мощности угольных пластов рисунок 4.14 в случаях, когда необходимо обеспечить своевременное воспроизводство фронта очистных работ и снизить производственные издержки, связанные с транспортировкой пустой породы и размещением ее в породных отвалах на поверхности. Способ проходки спаренных выработок позволяет минимизировать объемы транспортируемой пустой породы, обеспечивая практически безремонтное поддержание, что существенно улучшает условия ведения горных работ.

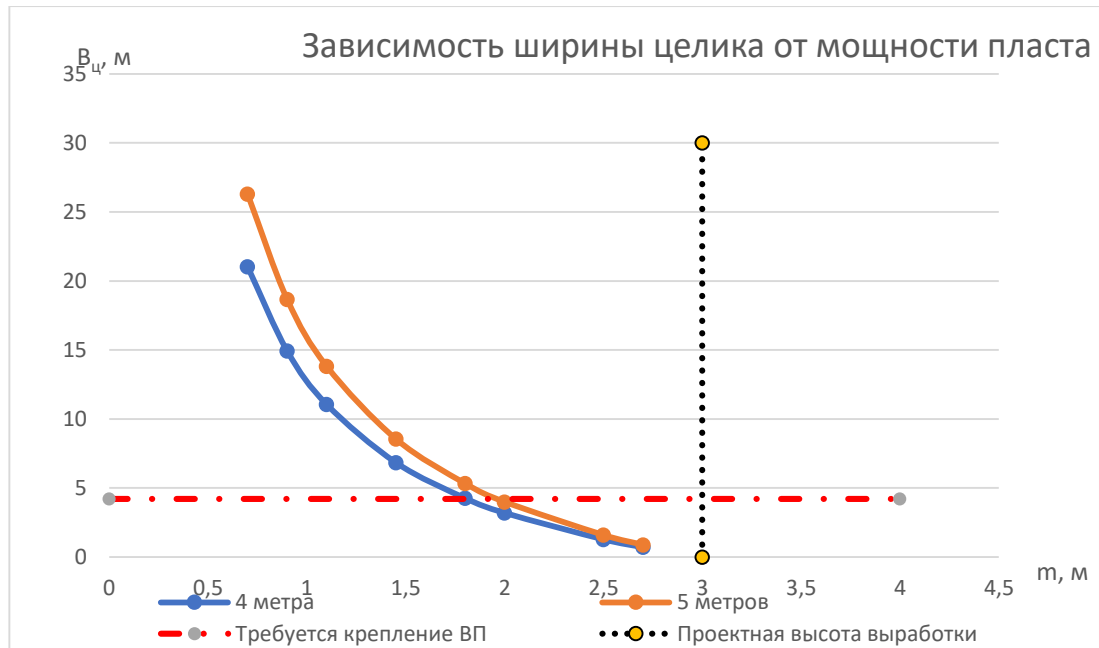


Рисунок 4.14 – Область применения способа проходки спаренными выработками с оставлением породы в выработанном межштрековом пространстве (составлено автором)

Зависимость ширины целика рисунок 4.15 от мощности пласта, где граничными условиями являются проектная высота выработки и длина заходки при которой требуется крепление выработанного пространства.

№ п. п.	Схема спаренных выработок	Ширина межштрекового выработанного пространства, м
1		27,6
2		21,1
3		16,2

Рисунок 4.15 – Ширина межштрекового выработанного пространства в зависимости от мощности угольного пласта (составлено автором)

Область применения способа проходки спаренных выработок с оставлением

породы в выработанном межштрековом пространстве по техническим характеристикам комбайна непрерывного действия JOY 10 CM 10 и комбайна избирательного действия КП 330. Проходческий комбайн КП 330 предназначен для механизированной отбойки и погрузки горной массы при сооружении горизонтальных и наклонных (до 18°) горных выработок в шахтах, характеризующихся опасностью по газу, пыли, а также по внезапным выбросам угля, породы и газа. Оборудование применимо при проходке выработок арочной, трапециевидной и прямоугольной форм с площадью сечения от 16 до 50 м<sup>2</sup>; оно рассчитано на работу по углю и породам с прочностью на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} \leq 130$  МПа и показателем абразивности до 30 мг.

#### 4.6 Выводы по главе 4

1. Обоснованы параметры проводимых спаренных выработок и межштрекового угольного целика при разработке пологих угольных пластов тонких и средней мощности;
2. Обоснована область рационального применения способа проходки спаренных выработок, позволяющего обеспечить своевременное воспроизводство фронта очистных работ;
3. Своевременное воспроизводство фронта очистных работ достигается за счет перехода от буровзрывного способа проходки к комбайновому с применением высокопроизводительного проходческого оборудования;
4. При переходе от бесцеликового способа подготовки к подготовке спаренными выработками обеспечивается экономический эффект за счет сокращения затрат на транспорт, подъем и размещение на поверхности пустой породы от проходки горных выработок;
5. Для обеспечения безопасности ведения горных работ при отработке межштрекового угольного целика необходим непрерывный мониторинг состояния непосредственной кровли в межштрековом выработанном пространстве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основе проведенных исследований, предложено новое технологическое решение по повышению эффективности проведения выемочных выработок с оставлением породы в шахте, что имеет важное значение для угольной отрасли России.

Основные выводы по результатам выполненных исследований заключаются в следующем:

1. В результате анализа и обобщения мирового и отечественного опыта показано, что проведение подготовительных выработок буровзрывным способом по тонким угольным пластам при бесцеликовых схемах подготовки выемочных участков с сохранением выработки для повторного использования сопровождается большими объемами присекаемых пород (до 60%) и низкими темпами проходки.

2. Известные технологические схемы проведения выработок широким ходом по тонким пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте характеризуются неприемлемой трудоемкостью работ и недостаточной скоростью проведения выработок (до 120 м/мес).

3. Реализация разработанного способа, включающего проведение спаренных выработок с отдельной выемкой угля и породы комплектом короткозабойного оборудования и закладкой межштрекового выработанного пространства, позволяет исключить выдачу на поверхность до 150 тыс. т породы, обеспечивает скорость проходки выработок более 200 м/мес, а также более благоприятные по сравнению с бесцеликовыми схемами условия ведения очистных работ.

4. Экспериментально установлено, что использование в качестве закладки пород, полученных при проведении выработки, без их упрочнения (цементации) при формировании искусственного целика создает более благоприятные условия поддержания выработок по сравнению с бесцеликовыми схемами подготовки.

5. Устойчивое состояние кровли выработок обеспечивается в результате их крепления в соответствии с паспортом во время проходки, устойчивость кровли заходок - в результате недопущения площади обнажений, превышающих

установленные в результате физического моделирования предельные значения и последующего частичного крепления.

6. Областью применения рекомендуемой технологии являются пологие пласты мощностью от 1,1 и до 1,8 м, не угрожаемые по горным ударам, на глубинах, где невозможно обеспечение безремонтного поддержания выработок за лавой при бесцеликовых схемах подготовки.

7. Разработан алгоритм выбора параметров технологии проведения спаренных выработок с учетом обеспечения оставления породы в шахте и благоприятных условий поддержания выработки, сохраняемой для повторного использования.

8. При внедрении предлагаемой технологии в условиях шахты «Обуховская» ожидаемый экономический эффект от снижения затрат на транспортировку породы на поверхность составляет 120 млн.руб. в год.

9. Направлением дальнейших исследований может являться оптимизация параметров проходческого цикла при реализации предлагаемой технологии.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 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. В. Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – 2022. – С. 24.
2. Астахов, А. С. Экология. Горное дело и природная среда / А. С. Астахов, Ю. Н. Малышев, Л. А. Пучков, В. А. Харченко. – М. : Академия горных наук, 1999.
3. Белодедов, А. А. Научное обоснование интенсивной технологии подземной разработки тонких и средней мощности угольных пластов для комплексного использования добываемого сырья : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.22 / А. А. Белодедов. – М., 2021. – 272 с.
4. Белодедов, А. А. Обоснование валовой и отдельной выемки при проведении подготовительных забоев / А. А. Белодедов, Ю. И. Разоренов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – № 4 (136). – С. 58–59.
5. Беликов, В. В. Проблемы и пути повышения эффективности проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России / В. В. Беликов, А. И. Чавкин // Уголь. – 2009. – № 3. – С. 31–34.
6. Булат, А. Ф. Порядок применения «технологического регламента поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами» / А. Ф. Булат // Геотехническая механика. – 2009.
7. Бузило, В. И. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства / В. И. Бузило. – 2013.
8. Господариков, А. П. Оценка деформационных характеристик хрупких горных пород за пределом прочности в режиме одноосного сервогидравлического нагружения / А. П. Господариков, А. В. Трофимов, А. П. Киркин // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 539–548.

9. Гранкин, И. С. Проведение выработок широким забоем / И. С. Гранкин, И. Л. Сушко. – М. : Недра, 1975. – 160 с.
10. Гребенкин, С. С. Управление состоянием массива горных пород / С. С. Гребенкин и др. – Донецк : ДонНТУ, 2010.
11. Глушихин, Ф. П. Моделирование в геомеханике / Ф. П. Глушихин. – М. : Недра, 1991.
12. Демин, В. Ф. Исследование закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния углепородных массивов в нарушенных зонах / В. Ф. Демин, Н. А. Немова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6. – № 1. – С. 94–97.
13. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года // URL: <https://minenergo.gov.ru/Node/1846> (дата обращения: 14.10.2023).
14. Зайденварг, В. Е. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах / В. Е. Зайденварг, В. В. Соболев, И. И. Сныткин. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1991. – Ч. 1. – 129 с.
15. Зеньков, И. В. Экономика рекультивации. Перспективы производства работ по рекультивации породных отвалов / И. В. Зеньков // Уголь. – 2013. – № 9. – С. 84–85.
16. Золотарев, Г. М. Способ проходки спаренных выработок / Г. М. Золотарев. – 1991.
17. 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.
18. Зубов, В. П. Повышение полноты закладки выработанных пространств при слоевых системах разработки Яковлевской залежи / В. П. Зубов, А. А. Антонов, Ю. Н. Луговской, М. Д. Морозов, О. В. Михайленко // Записки Горного института. – 2010. – Т. 185. – С. 25–30.
19. Зубов, В. П. Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере

шахт Куангниньского угольного бассейна) / В. П. Зубов, Ф. Л. Куанг // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 795–806.

20. Зуев, Б. В. Физическое моделирование динамических явлений при подземной разработке полезных ископаемых / Б. В. Зуев, С. В. Цирель, Р. С. Истомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 117–127.

21. 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. – Т. 250. – С. 542–552.

22. Зуев, Б. Ю. Физическое моделирование геомеханических процессов в блочно-иерархических массивах на основе единого комплексного условия подобия / Б. Ю. Зуев // Горный информационно– аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 356–360.

23. Зуев, Б. Ю. Физическое моделирование формирования зон разрушения в области влияния очистных горных работ / Б. Ю. Зуев, Н. В. Кротов, Р. С. Истомин и др. // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: геологическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ : сборник научных трудов. – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 412–417.

24. 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.

25. Иванова, О. А. Техногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна: экологические проблемы и пути рекультивации : обзорная статья / О. А. Иванова // Антропогенная трансформация природной среды. – 2025. – Т. 11. – № 2. – С. 49–60.

26. Иванов, С. И. Система разработки пластов средней и малой мощности длинными столбами по простиранию с оставлением породы в шахте / С. И. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 8. – С. 166–170.

27. Иватанова, Н. П. Твердые отходы угольного производства Восточного Донбасса и их использование / Н. П. Иватанова. – Шахты : ЮРО АГН РФ, 2006.
28. 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.
29. Ильяшов, М. А. К вопросу актуальности охраны подготовительных выработок литыми полосами / М. А. Ильяшов // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2008. – № 1. – С. 35–39.
30. 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.
31. 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. – 2012. – № 5. – С. 26–32.
32. Казанин, О. И. Подготовка выемочных участков тонких пластов с оставлением породы от проходки в шахте / О. И. Казанин, **А. А. Евсюкова** // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 6. – С. 29–37. – DOI 10.21440/0536-1028-2024-6-29-37. (№ 1071 Перечня ВАК ред.09.12.2024).
33. Казанин, О. И. Обоснование технологии проведения спаренных выработок с отработкой межштрековых целиков короткими забоями / О. И. Казанин, **А. А. Евсюкова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11-1. – С. 23-37. DOI:10.25018/0236\_1493\_2025\_111\_0\_23.
34. Казанин, О. И. Использование охранных сооружений для поддержания выемочных выработок на угольных шахтах / О. И. Казанин, Ю. Н. Долоткин, И. В. Скрыльников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 1. – С. 34–39.
35. Казанин, О. И. Оценка технологий оставления породы от проходки в выработанном пространстве шахты «Обуховская» / О. И. Казанин, С. А.

Сидоренко, А. А. Евсюкова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 2. – С. 32–41. – DOI 10.21440/0536-1028-2024-2-32-41. – EDN DPFCFL. (№ 1216 Перечня ВАК ред.20.02.2024)

36. Казанин, О. И. Обоснование технологий поддержания выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов на больших глубинах / О. И. Казанин, А. А. Сидоренко, А. А. Евсюкова, Ц. Лю // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 9-1. – С. 5–21. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2023\_91\_0\_5.

37. Каплунов, В. Ю. О проблеме принятия эколого-экономических решений по использованию отвалов и террикоников в угольной отрасли России / В. Ю. Каплунов, М. С. Попов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7. – С. 241–244.

38. Кирюшина, Е. В. Исследование экологических последствий после закрытия угольных шахт в Смоленской и Калужской областях по данным спутниковой съемки / Е. В. Кирюшина, И. В. Зеньков, А. С. Конде, Ю. П. Юронен, В. Н. Вокин, Ж. В. Миронова, Т. Н. Сизова // Уголь. – 2025. – Т. 1189. – № 2. – С. 125–129.

39. Коломенский, Г. Ю. Экологические последствия ликвидации шахт Восточного Донбасса и необходимость совершенствования системы экомониторинга / Г. Ю. Коломенский // Известия высших учебных заведений. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2006. – № 2. – С. 79–82.

40. Кокин, А. В. Новые взгляды на состояние и проблемы воспроизводства ресурсов окружающей природной среды в ЮФО и Ростовской области / А. В. Кокин, С. А. Котов, Е. А. Иванкова // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. – 2007. – № 1. – С. 129–138.

41. Корсаков, К. Б. Экологические проблемы региона минерально-сырьевого кластера через призму финансовой безопасности / К. Б. Корсаков, В. В. Копеин // Управленческий учет. – 2022. – № 11–2. – С. 437–443.

42. Корниенко, В. О. Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое шумление / В. О. Корниенко //

Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 93–100.

43. Кошка, А. Г. Обработка тонких и весьма тонких пластов с оставлением пустых пород в шахте / А. Г. Кошка // Геотехнічна механіка. – 2013. – № 110. – С. 80–89.

44. Конгар-Сюрюн, Ч. Б. Техногенные отходы в составе закладочного композита – парадигма экологической и технологической безопасности освоения месторождения / Ч. Б. Конгар-Сюрюн // Безопасность труда в промышленности. – 2025. – № 3. – С. 73–78.

45. Куок, В. К. Перспективы совершенствования технологий подземной разработки угольных пластов на шахтах Вьетнама / В. К. Куок, В. П. Зубов // Записки Горного института. – 2014. – Т. 207. – С. 46–49.

46. Курбанов, Ш. Х. Экологические последствия структурных и значительных изменений пустых пород / Ш. Х. Курбанов // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2024. – Т. 4. – № 9. – С. 107–113.

47. Линник, Ю. Н. Сравнительный анализ показателей работы при эксплуатации отечественных и зарубежных проходческих комбайнов / Ю. Н. Линник, В. Ю. Линник, О. В. Байкова, А. В. Поляков // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 208–215.

48. Малышева, Н. Н. Влияние времени вступления в работу охранного сооружения на эффективность поддержания выработки в условиях шахты «Рассвет– 1» / Н. Н. Малышева, Н. М. Малишева // Metallurgy and materials science : сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2020. – № 18. – С. 50–57.

49. Манько, А. В. Исследование деформированного состояния трещиноватого скального массива физическим экспериментом на эквивалентных материалах / А. В. Манько, Е. А. Муравьева // Журнал теоретической и прикладной механики. – 2025. – № 1 (90). – С. 98–108.

50. Мельников, Н. И. Проведение и крепление горных выработок / Н. И. Мельников. – М. : Недра, 1979. – 259 с.

51. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – М. : Экономика, 2000.

52. Моссаковский, Я. В. Экономика горной промышленности : учебник для вузов / Я. В. Моссаковский. – М. : Горная книга (МГГУ), 2017. – 525 с.

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. Негрей, С. Г. Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками / С. Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2014. – № 1–2. – С. 181–186.

55. Новикова, И. К. Инвестиционное проектирование в процессе оценки экономической эффективности проектов освоения подземного пространства / И. К. Новикова, И. А. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2–2. – С. 111–120.

56. Патент № 2168628 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ разработки пластовых месторождений : № 2000106769/03 : заявл. 20.03.2000 : опубл. 10.06.2001 / В. А. Шестаков, В. А. Ткачев, А. В. Литвинов; заявитель Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасский политехнический институт). – 5 с.

57. Патент № 2287687 С2 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ разработки пластов малой и средней мощности системой разработки длинными столбами по простиранию с оставлением породы в шахте : № 2004138621/03 : заявл. 28.12.2004 : опубл. 20.11.2006 / В. А. Шестаков, А. А. Белодедов, В. А. Ткачев, Р. В. Павлюк ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)». – 6 с.

58. Патент № 2413842 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ отработки выемочных полей при панельной подготовке : № 2009134374/03 : заявл. 14.09.2009 : опубл. 10.03.2011 / Ю. И. Разоренов, А. А. Белодедов, С. А. Шмаленюк,

Д. А. Расцветаев ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)». – 5 с.

59. Патент № 2827324 Российская Федерация, МПК E21C 41/18 (2006.01); СПК E21C 41/18 (2024.01). Способ проходки спаренных выработок по тонким пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте. Заявка №2024105060: заявл.28.02.2024: опубл. 24.09.2024 / О.И. Казанин, **А.А. Евсюкова**; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 11с.

60. Пашкевич, М. А. Формирование экологического ущерба при складировании сульфидсодержащих отходов обогащения полезных ископаемых / М. А. Пашкевич, А. В. Алексеенко, Р. Р. Нуреев // Записки Горного института. – 2023. – № 260. – С. 155–167.

61. Пивень, Ю. А. Совершенствование бесцеликовых способов охраны подготовительных горных выработок / Ю. А. Пивень, В. В. Васютина, В. А. Канин // Журнал теоретической и прикладной механики. – 2022. – № 2 (79). – С. 60–65.

62. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 № 61587).

63. Протасов, В. Ф. Экономика горнорудной промышленности / В. Ф. Протасов, В. А. Дамаскинскип. – М. : Недра, 1990.

64. Раевский, Д. И. Особенности охраны и поддержания подготовительных выработок в условиях Восточного Донбасса / Д. И. Раевский // Записки Горного института. – 2002. – Т. 152. – С. 142–144.

65. Ронжина, М. Н. Проблема негативного воздействия угольной промышленности на состояние окружающей среды / М. Н. Ронжина // Дневник науки. – 2019. – № 4. – С. 11–17.

66. Рубцов, А. А. Безопасное крепление подземных горных выработок / А. А. Рубцов // Уголь. – 2020. – № 2 (1127). – С. 8–12.
67. Сафонов, А. И. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе / А. И. Сафонов, Д. Н. Догадкин, В. Н. Неспирный // Вестник Донецкого университета. Серия 01. Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 86–99.
68. Свечкаренко, Е. Н. Комплексный подход к ликвидации экологического ущерба от породных отвалов угольных шахт / Е. Н. Свечкаренко, Т. В. Трусова, И. И. Гомаль // Вести Автомобильно– дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2024. – № 2 (49). – С. 76–85.
69. Соловьев, Г. И. О новой концепции обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт / Г. И. Соловьев, С. С. Гребенкин, В. Д. Рябичев // Физико-технические проблемы горного производства. – 2007.
70. Соловьев, Г. И. О влиянии жесткости продольно– балочной крепи усиления на устойчивость арочной крепи выемочной выработки / Г. И. Соловьев, А. Л. Касьяненко, В. Е. Нефедов, Е. И. Поддубный // Проблемы горного давления. – 2020. – Т. 1. – № 38-39. – С. 47–56.
71. Соломойченко, Д. А. Охрана и поддержание подготовительных горных выработок в условиях Восточного Донбасса / Д. А. Соломойченко, И. Е. Долгий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 3. – С. 35–39.
72. Технология подземной разработки месторождений полезных ископаемых : учебник для вузов / под общ. ред. А. С. Бурчакова. – 3–е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1983. – 487 с.
73. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах / В. Е. Зайденварг, В. В. Соболев, И. И. Сныткин ; под ред. В. Е. Зайденварга. – Люберцы : ИГД им. А. А. Скочинского, 1991. – Ч. 1– 2. – 333 с.
74. Угольная промышленность Российской Федерации : сборник статистических показателей. – М. : Росинформуголь, 1997–2001.

75. Фам Ван Тхыонг. Исследования определения величины зоны неупругих деформаций вокруг горных выработок / Фам Ван Тхыонг // Горный информационно– аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С. 409-412.

76. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». – М. : Центрмаг, 2022. – [168] с.

77. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». – Серия 05. Выпуск 42. – 2– е изд., перераб. – М. : Закрытое акционерное общество «Научно– технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2021. – 182 с.

78. 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.

79. Яркович, А. И. Повышение устойчивости выработок путем закладки выработанного пространства / А. И. Яркович // Розробка родовищ : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ : Державний ВНЗ «НГУ», 2015. – Т. 9. – С. 141–147.

80. Якоби, О. Практика управления горным давлением / О. Якоби. – М. : Недра, 1987. – 566 с.

81. Яркович, А. Опыт и перспективы оставления пород в шахтах Западного Донбасса / А. Яркович, А. Малыхин // Розробка родовищ. – 2013. – № 2013. – С. 201–206.

82. Хоменко, О. Е. Моделирование на эквивалентных материалах выработанного пространства рудных шахт / О. Е. Хоменко, В. В. Русских, М. Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – Т. 9. – С. 23–25.

83. Ahmed, M. Behavior of circular concrete– filled double steel tubular slender beam– columns including preload effects / M. Ahmed, Q. Q. Liang, V. I. Patel, M. N. Hadi // Engineering Structures. – 2020. – Vol. 220. – P. 322–366.

84. Bulich, Yu. Yu. Determination of the size of the zone of inelastic deformations near workings with the free destruction of rocks / Yu. Yu. Bulich, S. A. Golovko // *Geotechnical Mechanics*. – 2005. – №. 59. – P. 68–73.
85. Chugh, Y. P. A field demonstration of the Joy wet head miner technology / Y. P. Chugh, A. Patwardhan, H. Gurley, A. Moharana, R. C. Carty // *Proceedings: 11th US/North American Mine ventilation Symposium, The Pennsylvania State University, PA*. – 2006. – P. 233–240.
86. Colinet, J. F. Continuous mining dust levels in 20– foot cuts with and without a scrubber operating / J. F. Colinet, J. D. Potts, W. R. Reed. – 2014.
87. Dyomin, V. F. Control over geomechanical processes intended to improve a coal– and– rock massif stability / V. F. Dyomin // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2016. – № 2. – С. 5–10.
88. Fang, Y. Axial behaviour of concrete– filled corrugated steel tubular column embedded with structural steel / Y. Fang, C. Liu, H. Yang, L. Yang // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2020. – Vol. 170. – P. 3–7.
89. Janjua, A. N. Vibrational energy transmission in underground continuous mining: Dynamic characteristics and experimental research of field data / A. N. Janjua, M. Shaefer, S. H. Amini, A. Noble, S. Shahab // *Applied Energy*. – 2024. – Т. 354. – P. 122–220.
90. Le, Q. P. Improvement of the loading capacity of narrow coal pillars and control roadway deformation in the longwall mining system. A case study at Khe Cham Coal Mine (Vietnam) / Q. P. Le, V. P. Zubov, M. D. Phung // *Inżynieria Mineralna*. – 2020. – Vol. 1. – №. 2. – P. 115–122.
91. Liu, Z. L. A Study on Axial Compression Performance of Large Diameter– Thickness Ratio Concrete– Filled Gas Drainage Steel Pipe / Z. L. Liu, Z. G. Ma, Y. Li, P. Gong, K. L. Li, W. Liu // *Advances in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1–10.
92. Luan, H. Development of a new gob– side entry– retaining approach and its application / H. Luan, Y. Jiang, H. Lin, G. Li // *Sustainability*. – 2018. – Vol. 10. – №. 2. – P. 1–15.

93. Protosenya, A. Assessment of Excavation Intersections' Stability In Jointed Rock Masses Using The Discontinuum Approach / A. Protosenya, M. Vilner // Rudarsko–geološko–naftni zbornik. – 2022. – Vol. 38. – №. 2. – P. 137–147.
94. Van Thuong, P. Studies determining the size of the zone of inelastic deformation around the mine workings / P. Van Thuong // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2012. – № 10. – P. 409–412.
95. Prikhod'ko, V. V. Modeling of stress– strain state of fractured rock mass nearby of conjugated workings / V. V. Prikhod'ko, N. P. Ulanova // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2018. – №. 1. – P. 5–11.
96. Sidorenko, A. A. Improvement of technological schemes of mining of coal seams prone to spontaneous combustion and rock bumps / A. A. Sidorenko // Journal of Mining Institute. – 2023. – № 264. – P. 949–961.
97. Sinkevich, N. I. Patterns of changes in the parameters of stress– strain state of rocks in the zones of faults at different depths of development / N. I. Sinkevich // Labor Safety in Industry. – 2008. – №. 11. – P. 39–41.
98. Vereshchagin, V. S. To the assessment of the stability of the rock mass in the vicinity of an extensive mine work, fixed by anchors / V. S. Vereshchagin // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2012. – № 10. – P. 352–354.
99. Wang, Z. Performance of special– shaped concrete– filled square steel tube column under axial compression / Z. Wang, X. Zhou, F. Wei, M. Li // Advances in Civil Engineering. – 2020. – T. 2020
100. Xiao– ming, S. Application research on gob– side entry retaining methods in №. 1200 working face in Zhongxing mine / S. Xiao– ming, L. Gan, S. Peng, M. Chengyu, Z. Chengwei, L. Qi, X. Xing // Geotechnical and Geological Engineering. – 2019. – Vol. 37. – P. 185–200.
101. Xie, S. R. Stability analysis of integral load– bearing structure of surrounding rock of gob– side entry retention with flexible concrete formwork / S. R. Xie, H. Pan, D. D. Chen, J. C. Zeng, H. Z. Song, Q. Cheng, Y. H. Li // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2020. – Vol. 103. – P. 103492.

102. Zuev, B. Yu. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals / B. Yu. Zuev, V. P. Zubov, A. S. Fedorov // Eurasian Mining. – 2019. – № 1. – P. 8–12.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Журнал отработки модели из эквивалентных материалов

Время	Дата	Нагрузка, кг	Примечание
11:27:00	24.04.2024	0	-
11:35:33		200	-
11:36:30		400	-
11:37:00		600	-
11:37:35		800	-
11:38:40		1000	-
11:40:41		1200	-
11:41:40		1400	-
11:42:15		1600	Достижение номинальной нагрузки; проходка выработки на полное сечение
11:52:40			пройдена выработка на полное сечение
12:00:00			Отработка первого шага первой заходки
12:02:00		1600	Отработан первый шаг первой заходки
12:09:00			Отработка второго шага первой заходки
12:10:22		1600	Отработан второй шаг первой заходки
12:17:00			Отработка третьего шага первой заходки
12:18:20		1600	Отработан третий шаг первой заходки
12:26:40			Отработан четвертый шаг первой заходки
12:35:00		1600	Отработан пятый шаг первой заходки
12:38:00		1600	Отработан шестой шаг первой заходки
12:43:20		1600	подъем нагрузки до номинального значения; началось отслоение кровли; отработан седьмой шаг первой заходки
12:51:00		1600	подъем нагрузки до номинального значения; отработан восьмой шаг первой заходки
13:01:00		1600	подъем нагрузки до номинального значения; отработан девятый шаг первой заходки
13:10:15		1600	подъем нагрузки до номинального значения;
13:25:00			серия снимков на 200 МРх с интервалом 7 мин (420 сек)
13:30:00			отслоение кровли на 2-3 мм
13:41:00		1600	Конец серии фото
13:44:00	1560	Отработан первый шаг второй заходки	

13:53:00		1600	подъем нагрузки до номинального значения; Отработан второй шаг второй заходки
14:05:00			Кровля выработки укреплена брусом; Пройден четвертый шаг второй заходки
14:13:33		1600	Отработка пятого шага второй заходки
14:22:00			Пройден пятый шаг второй заходки
14:31:40		1600	Отработан шестой шаг второй заходки; подъем нагрузки до номинального значения
14:39:05		1600	Отработан седьмой шаг второй заходки; подъем нагрузки до номинального значения
14:47:13		1600	Отработан восьмой шаг второй заходки; подъем нагрузки до номинального значения
14:55:12		1600	Отработан девятый шаг второй заходки; подъем нагрузки до номинального значения
15:03:13		1600	Пройден первый шаг третьей заходки; подъем нагрузки до номинального значения
15:11:39		1600	Пройден второй шаг третьей заходки; подъем нагрузки до номинального значения
15:19:24		1600	Пройден третий шаг третьей заходки; подъем нагрузки до номинального значения
15:26:21		1600	Частичное обрушение кровли над выработкой в сторону межштрекового пространства
15:31:47		1600	Полное обрушение кровли в межштрековое пространство

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б****Акт внедрения**

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ



Утверждаю

Генеральный директор

ООО НИПИ «Недра»

д.т.н., профессор

*В.Н. Ибрагимов* В.Н. Ибрагимов

«18» марта 2025



АКТ

о внедрении (использовании) результатов кандидатской диссертации

**Евсюковой Алины Анатольевны**

по научной специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Комиссия НТС в составе:

Председатель: Версилев С.О. – главный инженер проекта, д.т.н.;

Члены комиссии: Горлов Ю.В. – начальник отдела проектирования горно-технических систем, к.т.н.; Титов А.Н. – инженер – проектировщик; Борисова Е.И. – инженер – проектировщик,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование параметров технологических схем проведения выработок по пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполненной в Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II приняты в ООО НИПИ «Недра» и использованы в качестве рекомендаций при проектировании отработки пластов на угольных шахтах, разрабатывающих тонкие и средней мощности угольные пласты в условиях Восточного Донбасса.

Ожидаемый эффект: оставление в шахте породы от проходки горных выработок, оконтуривающих выемочные участки на пологих пластах мощностью 1,1 – 1,8 м (до 9 м<sup>3</sup> на погонный метр выработки).

**Председатель комиссии:**

главный инженер проекта, д.т.н.

**Члены комиссии:**

начальник отдела ГТС, к.т.н.

инженер – проектировщик

инженер – проектировщик

*С.О. Версилев* С.О. Версилев  
*Ю.В. Горлов* Ю.В. Горлов  
*А.Н. Титов* А.Н. Титов  
*Е.И. Борисова* Е.И. Борисова

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Патент на изобретение**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**  
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2827324

**СПОСОБ ПРОХОДКИ СПАРЕННЫХ ВЫРАБОТОК  
ПО ТОНКИМ ПОЛОГИМ УГОЛЬНЫМ ПЛАСТАМ С  
ОСТАВЛЕНИЕМ ПОРОДЫ В ШАХТЕ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Казанин Олег Иванович (RU), Евсюкова Алина  
Анатольевна (RU)*

Заявка № 2024105060

Приоритет изобретения 28 февраля 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 24 сентября 2024 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 28 февраля 2044 г.



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*