

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

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

Санкт-Петербург – 2026

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент, профессор РАН

Казанин Олег Иванович

Официальные оппоненты:

Белодедов Андрей Алексеевич

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

Кузьмин Сергей Владимирович

кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Глубокий Инжиниринг», генеральный директор.

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

Защита диссертации состоится **17 сентября 2026 г. в 15:15** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171**.

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

Автореферат разослан 17 июля 2026 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 м³ 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 м³ 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 по шахте 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.

Основные задачи исследований:

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 заходов 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 п. 5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых», п. 7 «Способы управления состоянием подрабатываемых породных массивов, включающие критические деформации земной поверхности и опасные проявления горного давления при разработке место-

рождений твердых полезных ископаемых и освоении подземного пространства, в том числе с использованием крепей различных конструкций» и п. 12 «Организация производства при ведении открытых и подземных работ и развитии механизации технологических процессов» области исследований паспорта научной специальности.

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).

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 18.03.25).

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

На защиту выносятся следующие положения:

1. Наиболее предпочтительный вариант оставления в шахте породы от проходки выработок по тонким пологим пластам реализуется при переходе от бесцеликового способа под-

готовки к подготовке выемочных участков спаренными выработками с проведением выработок и отработкой межштрекового целика комплектом короткозбойного оборудования с раздельной 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.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций. Достоверность 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 выработок 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, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, (далее - Перечень ВАК), в 2 статьях – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе изучены особенности технологических схем проведения выработок при отработке тонких пологих угольных пластов с оставлением породы от проходки в шахте. Проведен анализ и выявлены недостатки реализуемых на шахте технологий, предполагающих совместную выемку угля и породы при проходке, не позволяющих обеспечить безремонтное поддержание выработок, требующих выполнения работ по подрывке почвы выработок с выдачей на поверхность более 150 тыс.т породы в год. Отмечена актуальность перехода на подготовку выемочных участков спаренными выработками, проводимых с отдельной выемкой угля и породы с оставлением породы в шахте.

Во второй главе оценена возможность применения технологий с оставлением породы от проходки в шахте в условиях отработки тонких пологих угольных пластов. Разработан способ и представлена технология проходки спаренных выработок, предусматривающая отдельную выемку угля и породы с оставлением породы в межштрековом выработанном пространстве. Описан порядок и основные параметры технологии проходки, а также порядок ведения закладочных работ.

В третьей главе обоснован выбор метода исследований и представлены результаты физического моделирования на эквивалентных материалах процесса смещений контура спаренных выработок и межштрекового пространства. Описаны этапы проведения исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород в

окрестности проводимых спаренных выработок и в межштрековом выработанном пространстве, формируемом согласно рекомендуемой технологии, проанализированы результаты моделирования. Определена предельно допустимая площадь обнажения кровли, при которой сохраняется устойчивое состояние отрабатываемого межштрекового пространства и в формируемых контурах спаренных выемочных выработок в исследуемых условиях.

В четвертой главе приведено описание технологии проходки спаренных выработок с оставлением породы в межштрековом выработанном пространстве, обоснована область рационального применения разработанной технологии и представлен алгоритм выбора параметров технологии проведения спаренных выработок.

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

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

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 раздельной выемкой угля и породы.

Для оценки эффективности применяемых технологий подготовки выемочных участков рассмотрены технологические схемы проведения выработок, возможные в условиях шахты АО «Обуховская». Подготовительные выработки согласно принятым на шахте технологическим решениям проходятся буровзрывным способом, сечением от 14 до 17 м², с присечкой пород почвы и кровли (до 60% от площади сечения проводимой выработки), и скоростью их проведения от 60 до 120 метров в месяц. При поддержании выработок на границе с выработанным пространством не обеспечивается безремонтное поддержание выработки, объемы подрывки почвы для обеспечения эксплуатационного состояния выработки могут достигать 8 м³/п.м.

Данные объемы извлекаются на поверхность и складываются в отвалы.

Были рассмотрены несколько способов проходки выработок с оставлением породы в шахте. Например, в альбоме технологических схем отработки пластов 1991 года ИГД им. А.А. Скочинского оставление породы от проходки выработок в шахте предусмотрено в технологической схеме № 24 разработки пластов мощностью 0,8–1,9 м с углом падения до 10°. Предусмотрена проходка спаренных выработок с помощью БВР, выемка пласта в контуре выработок и между выработками – комбайном для выемки пласта в очистном забое с креплением призабойного пространства индивидуальной крепью.

Также возможно комбайновое проведение как одиночных, так и спаренных выработок с возможной отработкой целика между выработками или раскоски (при проходке одиночных выработок) для размещения породы от проходки (рисунок 1). Закладка выработанного пространства между выработками – с помощью комплекса «Титан».

Рассмотренные способы характеризуются низкой скоростью и высокой трудоемкостью работ.

На основе анализа отечественного и мирового опыта отработки тонких и средней мощности пластов был разработан способ проходки спаренных выработок по тонким пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте. Предлагается применение двух комбайнов для раздельной выемки угля и породы: короткозабойный проходческо-добычный комбайн (ПДКУ) для выемки угольного пласта в контуре выработок и целика между ними и комбайн избирательного действия КП-330 или КСП-35 (способны проходить выработки по углю и породам прочностью на одноосное сжатие до 130 МПа) для выемки породной части сечения выработок.

Разработанный способ осуществляется следующим образом: выработки разделяются на два слоя (уголь и порода), которые последовательно отрабатывают в нисходящем порядке (рисунок 1). При этом отработка верхнего слоя осуществляется короткозабойным проходческо-добычным комбайном, который проходит конвейерный штрек, отрабатывая уголь в контуре

конвейерного штрека, межштрековым целике и в контуре будущего вентиляционного штрека (рисунок 2).



Рисунок 1 – Поперечное сечение проводимых спаренных выработок с делением на слои

Перемещения проходческого короткозабойного комбайна по углю с проходческим комбайном по породе в конвейерном и вентиляционном штреках осуществляются с отставанием во времени и пространстве, проходка породной части выработки и сбоек с доведением сечения до проектного производится в противоположном направлении относительно отработки короткозабойным комбайном (рисунок 2).

Сравнительная оценка рассмотренных способов проходки выработок для условий пласта k_2 шахты «Обуховская» представлена в таблице 1.

Разработанный способ позволит обеспечить безремонтное поддержание выработок, исключить выдачу на поверхность и складирование в отвалы до 150 тыс. тонн породы ежегодно, обеспечивает благоприятные условия для очистных работ.

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.

Жесткость и ширина искусственного межштрекового целика оказывают существенное влияние на распределение напряжений вокруг участков подготовительных выработок (особенно в зоне влияния очистных работ) и в значительной сте-

пени определяют возможность поддержания их эксплуатационного состояния в течение всего срока эксплуатации. Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород в окрестностях участковых выработок была разработана численная 2D-модель, включающая в себя: угольный пласт, вмещающие породы, участковые выработки, межштрековый целик, выработанное пространство, заполненное обрушенными породами. В качестве примера результатов численных исследований на рисунке 1 приведены поля напряжений для горнотехнической ситуации, когда охрана участковой выработки 4 в зоне влияния со стороны выработанного пространства 3 отработанного выемочного столба осуществляется с использованием упрочненного искусственного угольного целика 2, жесткость которого существенно превышает жесткость угольного пласта (рисунок 3а).

При проведении исследований моделировалась отработка пласта на глубине 800 м. Жесткость межштрекового целика определялась его типом (угольный целик, податливый породный целик, искусственный жесткий породный целик с упрочнением цементными смесями) и задавалась путем изменения деформационных и прочностных свойств слагающих его материалов.

По результатам проведенных исследований были получены картины распределения вертикальных напряжений в сформированных в межштрековом пространстве породных полосах (искусственных целиках) вне зоны влияния (рисунок 3б) и в зоне влияния очистных работ (рисунок 3в). При расстоянии между выработками 15 м и в случае использования искусственного целика без упрочнения цементирующими составами его жесткость превышает жесткость обрушенных пород в выработанном пространстве, но ниже жесткости пласта, что предопределяет возможность восприятия им части нагрузки. Установлено, что использование в качестве закладки пород, полученных при проведении выработки, без их упрочнения (цементации) при формировании искусственного целика создает наиболее благоприятные условия поддержания выработок. Ширина межштрекового выработанного пространства обусловлена

объемом породы, которую необходимо разместить в выработанном межштрековом пространстве.

Для обоснования рекомендаций по креплению межштрекового выработанного пространства при переходе на проходку спаренными выработками в условиях Восточного Донбасса необходимо определение предельно допустимой площади обнажения кровли при выемке целика между штреками при которой кровля выработки остается устойчивой и не требует крепления.

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

Лабораторные исследования предельно допустимой площади обнажения кровли межштрекового выработанного пространства, представленной слоем трещиноватого песчаника в условиях шахты «Обуховская», были проведены на моделях из эквивалентных материалов.

В качестве горно-геологических условий моделируемых выработок взяты условия проведения конвейерного штрека 503 на шахте «Обуховская». Всего к отработке было подготовлено 2 модели из эквивалентных материалов с различными горнотехническими условиями: отработка межштрекового выработанного пространства, когда одна из двух спаренных выработок пройдена на полное сечение и закреплена постоянной крепью; обе выработки пройдены на полное сечение и закреплены постоянной крепью. Крепление межштрекового выработанного пространства в моделируемых условиях не осуществлялось. Поля смещений кровли в окрестности межштрекового выработанного пространства представлены на рисунке 4.

Исследование устойчивости кровли в заходках при выемке межштрекового целика с применением физического моделирования на эквивалентных материалах (рисунок 4 а, б, в, г) позволило установить ключевые параметры, определяющие предельную устойчивость непосредственной кровли: критические смещения начинаются уже на 2–3 шаге первой заходки (рисунок 4б), а визуально заметные деформации (в том числе

отслоения) фиксируются при отработке 6-го шага — что соответствует фактической длине обнажения 10 м (рисунок 4в). 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. Однако, при обработке показаний датчиков было зафиксировано, что критические смещения кровли наступают при отработке межштрекового угольного целика в диапазоне от 2 до 3 шага первой заходки межштрекового целика (рисунок 4г). Полученные данные дают возможность обосновать рекомендации по креплению заходки для обеспечения безопасности горных работ.

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.

Переход на проходку спаренных выработок с оставлением породы в шахте позволяет исключить транспорт в шахте, подъем по стволам и транспорт пустой породы на поверхности, обеспечивает благоприятные условия поддержания выработок и ведения очистных работ.

Для оценки эффективности внедрения технологии 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).

Для реализации предложенного способа в условиях шахты «Обуховская» для проходки выработок по пласту k_2 возможно применение комбайнов КП-330 или КСП-35, которые способны проходить выработки по углю и породам прочностью на одноосное сжатие до 130 МПа. Также в состав оборудования для реализации технологии необходимо включить пневмозакладочный комплекс «Титан-1». Были рассмотрены 3 варианта технологий оставления породы в выработанном пространстве, предусматривающие различные средства механизации (таблица 2).

Таблица 2 - Средства механизации проходки с оставлением породы в выработанном пространстве

Наименование	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Проходческое оборудование	КП 330	КП 330+ КП 330+Комплект оборудования для выемки пласта	КП 330 +СМ 210 +Mobile bolters
Закладочное оборудование	Титан-1 М	Титан-1 М Титан-1 М	Титан-1 М
Транспорт	Ленточный конвейер	-	Конвейерный поезд/21SC04

Реализация технологий в качестве положительного эффекта приведет к снижению 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 на рисунке 5.

Как видно из рисунка 5, несмотря на существенный объем инвестиций, внедрение технологий оставления породы в шахте позволит получить экономический эффект через 2,5–4 года. Кроме того, применение таких технологий позволит сократить прирост породы в отвалах на поверхности за период с 2023 по 2030 год более чем на 700 тыс. тонн.

Для выбора параметров технологии проведения спаренных выработок с оставлением породы в шахте разработан алгоритм, представленный на рисунке 6.

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, то применение способа целесообразно в рассматриваемых условиях. 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 площадь обнажения кровли заходки $S_{\text{зах}}$ больше предельно допустимой площади обнажения кровли $S_{\text{пред}}$, 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе проведенных исследований предложено новое технологическое решение по повышению эффективности проведения и поддержания 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 ис-

кусственного 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. 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.

2. 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.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus):

3. 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**, Лю Цзылу // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 5–21. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_5.

4. Казанин, О. И. Обоснование технологии проведения спаренных выработок с отработкой межштрековых целиков короткими забоями / О. И. Казанин, **Евсюкова А. А.** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11-1. – С. 23—37. DOI:10.25018/0236_1493_2025_111_0_23.

Патент:

5. Патент № 2827324 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ проходки спаренных выработок по тонким пологим угольным пластам с оставлением породы в шахте: № 2024105060: заявл. 28.02.2024; опубл. 24.09.2024 / О. И. Казанин, **А. А. Евсюкова**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II". – 11с.

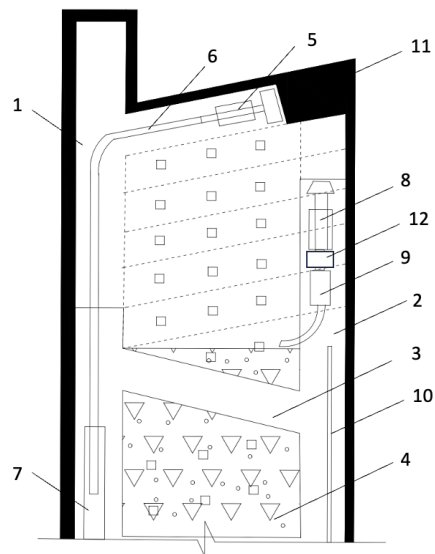
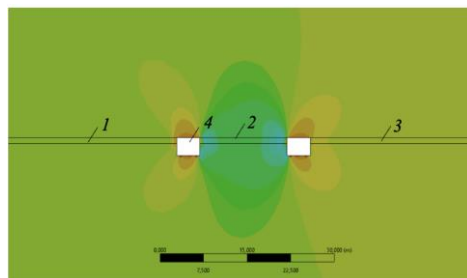
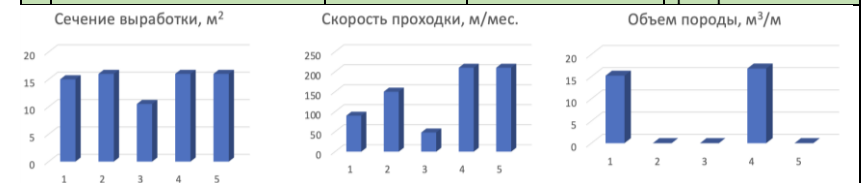


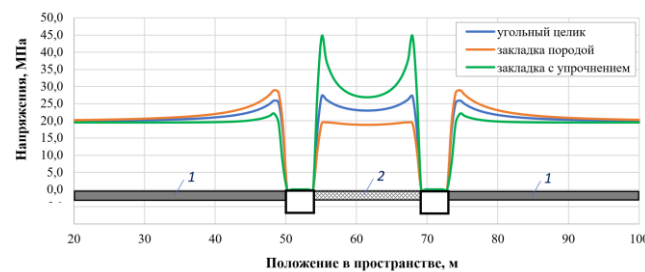
Рисунок 2 – Схема предложенного способа проходки спаренных выработок, вид сверху: 1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – сбойка; 4 – бутовая полоса; 5 – короткозабойный проходческий комбайн по углю; 6 – изгибающийся конвейерный поезд; 7 – наращиваемый ленточный конвейер; 8 – комбайн по породе; 9 – пневмо-закладочный комплекс; 10 – монорельс; 11 – угольный пласт, 12 – дробильная установка

Таблица 1 – Сравнительная оценка рассмотренных способов проходки выработок для условий пласта k_2 шахты «Обуховская»

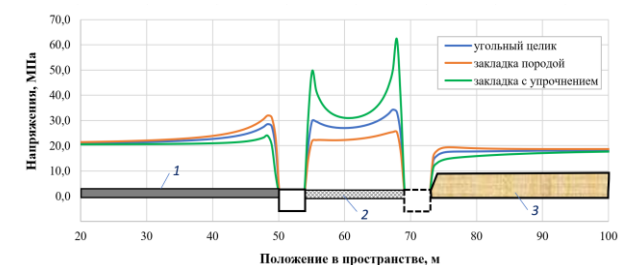
№	Технология проходки	Способ проходки	Формирование выработанного пространства для закладки породой	Примечание
1	Одиночная выработка, тупиковый забой	БВР	Нет	Порода выдается на поверхность
2	Способ разработки пластовых месторождений RU 2168628 C1	КН-5	КМН4	Порода размещается в камерах
3	Спаренные выработки, технологические схемы ИГД Скопинского, №24	БВР	Установка «Штрек-3»	Порода размещается в шахте
4	Одиночная выработка	Комбайновый	Комбайн КП	Порода выдается на поверхность
5	Короткие забои	Комбайновый	Комбайн	Порода размещается в межштрековом выработанном пространстве



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Поля напряжений для горнотехнической ситуации с охраной участков выработок, пройденных по пласту 3, с помощью искусственного целика: а) Поле нормальных вертикальных напряжений в окрестности подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ при оставлении упрочненного целика; б) Эпюры вертикальных напряжений вне зоны влияния очистных работ при использовании различных целиков шириной 15 м; в) Эпюры вертикальных напряжений в зоне влияния очистных работ при использовании различных целиков шириной 15 м

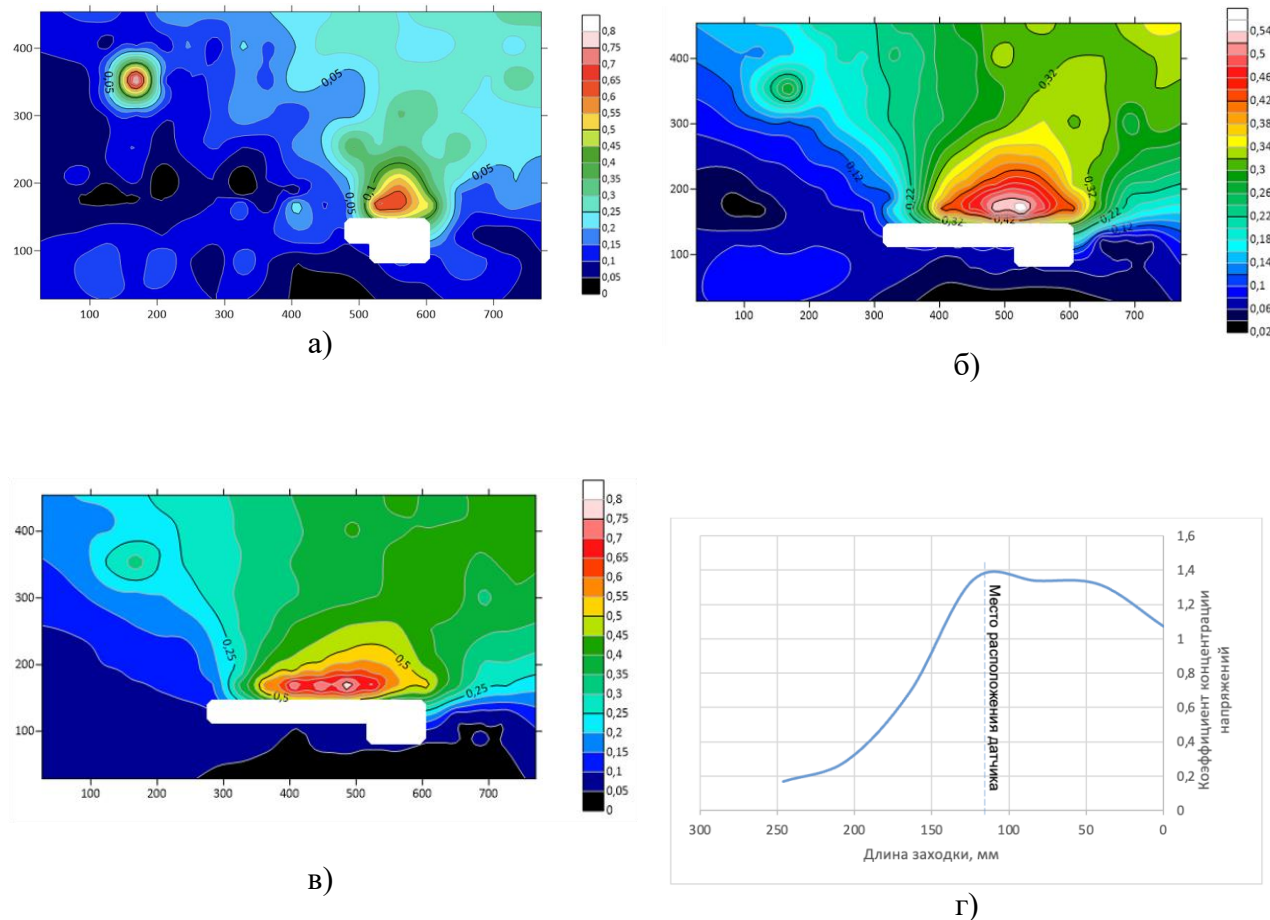


Рисунок 4 – Смещения кровли в межштрековом выработанном пространстве:
а) Смещения кровли после отработки 1 шага – 40 мм модельных; б) Смещения кровли после отработки 5 шага – 200 мм модельных; в) Смещения кровли после отработки 6 шага – 240 мм модельных; г) Показания тензометрического датчика (пунктир место установки датчика в модели)

ЧДД,
млн.руб.

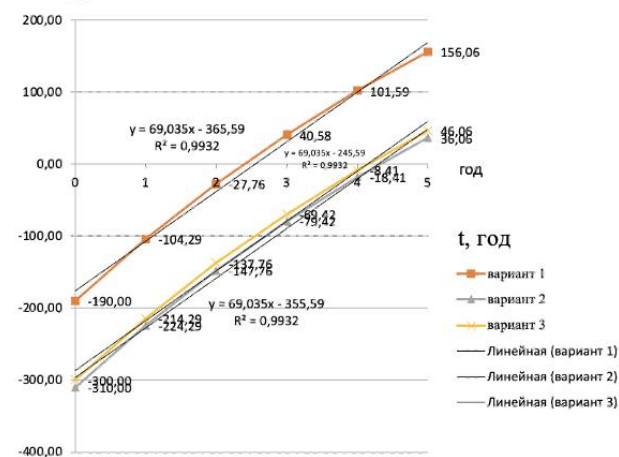


Рисунок 5 – Оценка эффективности вариантов технологии оставления породы в выработанном пространстве

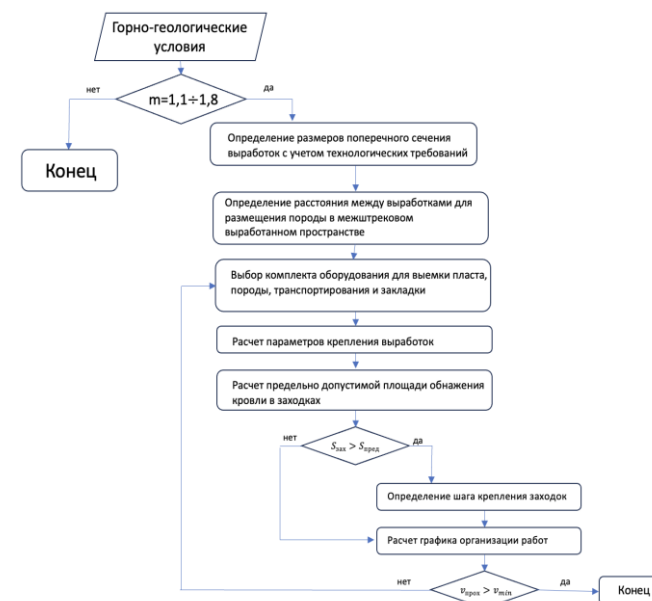


Рисунок 6 – Алгоритм выбора параметров технологии проведения спаренных выработок