На правах рукописи

Ле Куанг Фук

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С ТРУДНООБРУШАЮЩИМИСЯ ПОРОДАМИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ (НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ХЕЧАМ», ВЬЕТНАМ)

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор

Зубов Владимир Павлович

Официальные оппоненты:

Мельник Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра геотехнологии освоения недр, заведующий кафедрой;

Семенцов Вячеслав Владимирович

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

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

Защита диссертации состоится 12 сентября 2022 года в 10 ч 30 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д. 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 12 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета

ИВАНОВ
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По перспективному плану развития угольной промышленности Вьетнама до 2030 г. добычу угля планируют увеличить в 1,5 раза по сравнению с современным уровнем добычи. Одновременно с увеличением общих объемов добычи предполагается повышение основных технико-экономических показателей работы шахт.

В настоящее время при отработке пологих и наклонных угольных пластов средней мощности на шахтах Куангниньского угольного бассейна Вьетнама применяют технологии, основанные на использовании различных вариантов системы разработки длинными столбами с оставлением целиков угля в выработанном пространстве лав. Общими существенными недостатками этих вариантов являются значительные эксплуатационные потери угля в межстолбовых целиках, достигающие 20-30% балансовых запасов и трудность внедрения анкерной крепи в качестве основной крепи повторно используемых участковых подготовительных выработок.

Степень разработанности темы исследования.

Вопросы, связанные с минимизацией эксплуатационных потерь угля и снижением издержек производства при использовании систем разработки длинными столбами, являются актуальными практически для всех стран мира, развитых в области горного дела: Россия, Китай, Австралия, Вьетнам, Украина, Польша и др. Большой вклад в решение этих вопросов внесли К.А. Ардашев, М.П. Бажин, В.П. Зубов, М.П. Зборщик, В.В. Мельник, В.В. Агафонов, Ю.Н. Кузнецов, Г.И. Козовой, О.И. Казанин, В.Н. Фрянов, Г.Г. Штумпф, Г. Эверлинг, О. Якоби, Во Чонг Хунг и др. В настоящее время разработка технологий, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь угля и создание геомеханических условий для эффективного применения анкерных крепей, в качестве основных крепей повторно используемых выработок, относится к числу приоритетных задач научной школы «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых» Санкт-Петербургского горного университета.

Вместе с тем рассматриваемые вопросы являются недостаточно изученными при отработке угольных пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы.

Цель работы. Разработка параметров технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли, обеспечивающей снижение эксплуатационных потерь угля в межстолбовых целиках и объемов ремонтных работ в повторно используемых участковых подготовительных выработках.

Идея работы. Место расположения повторно используемой участковой подготовительной выработки следует принимать с учетом параметров зоны опорного давления, формирующейся над краевой частью угольного пласта в стадии осадки труднообрушающихся пород кровли, межстолбовой целик отрабатывать на одной линии с очистным забоем одновременно с погашением повторно используемой выработки, а вспомогательные выработки, обеспечивающие возможность полной отработки целика по фактору «проветривание», проходить после стабилизации процесса обрушения пород кровли в выработанном пространстве.

Основные задачи исследований:

1. Определение, на основании анализа мирового практического опыта отработки пологих угольных пластов средней мощности, перспективных направлений совершенствования системы разработки длинными столбами.
2. Установить основные параметры напряженно-деформированного состояния краевой части породного массива, прилегающего к выработанному пространству, при отработке пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли.
3. Установить зависимости объемов ремонтных работ в повторно используемых выработках от ширины межстолбового целика при отработке пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы.
4. Исследовать влияние места расположения выработок относительно трещины разлома, возникающей в труднообрушающихся породах кровли, на устойчивость этих выработок.

5. Разработать для горнотехнических условий шахты «Хечам» экономически эффективную ресурсосберегающую технологию выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли.

Научная новизна работы:

1. Установлены зависимости объемов ремонтных работ в повторно используемых подготовительных выработках при отработке пластов угля с труднообрушающимися породами кровли от горнотехнических факторов.

2. Установлена зависимость устойчивости выработки, пройденной в краевой зоне угольного пласта, от ее месторасположения относительно трещины разлома, возникающей в труднообрушающихся породах кровли при их обрушении.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана методика определения минимально необходимой ширины целика, оставляемого между повторно используемой участковой подготовительной выработкой и выработанным пространством, при отработке пологих пластов с труднообрушающимися породами кровли.

2. Разработана технология выемки пологих угольных пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы, позволяющая уменьшить потери угля и эффективно использовать анкерные крепи в качестве основных крепей повторно используемых участковых подготовительных выработок.

3. Результаты исследований использованы горно-инвестиционным консалтинговым акционерным обществом «Дельта» (Вьетнам) при проектировании технологий подземной разработки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли в условиях шахты «Халонг» Куангниньского угольного бассейна (акт о внедрении от 09.05.2022).

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач применён комплексный метод исследований, включающий физическое и численное моделирование для изучения напряжённо-деформированного состояния пород над краевой частью угольного массива, а также шахтные исследования влияния

горнотехнических факторов на объемы ремонтных работ в повторно используемых участковых подготовительных выработках.

Основные защищаемые положения:

1. При отработке пологих и наклонных угольных пластов с использованием известных технологий, пространственно планировочной основой которых является система разработки длинными столбами, к числу факторов, оказывающих существенное отрицательное влияние на величину эксплуатационных потерь угля, а также на стоимость проходки и поддержания повторно используемых участковых подготовительных выработок, относятся расстояние от повторно используемой выработки до выработанного пространства и наличие в кровле пласта труднообрушающихся пород.

2. Уменьшение эксплуатационных потерь угля и издержек производства, связанных с проходкой и поддержанием повторно используемых участковых подготовительных выработок, достигается при использовании рекомендуемой технологии, включающей: оставление межстолбового целика, ширину которого принимают больше ширины зоны опасных напряжений, формирующейся над краевой частью пласта при осадке труднообрушающихся пород кровли; отработку межстолбового целика на одной линии с очистным забоем одновременно с погашением повторно используемой выработки; проходку вспомогательной выработки после стабилизации процесса обрушения пород кровли в выработанном пространстве.

3. При использовании рекомендуемой технологии отработки пластов устойчивость вспомогательной выработки, обеспечивающей возможность проветривания тупиковой части лавы при отработке межстолбового целика на одной линии с очистным забоем, достигается при проходке ее на удалении от выработанного пространства, превышающем расстояние от границы выработанного пространства до трещины разлома в основной кровле.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением в исследованиях системного подхода к изучению достоинств и недостатков известных технологий подземной разработки угольных месторождений, анализом

результатов исследований по теме диссертации ученых из различных стран, удовлетворительным совпадением результатов физического и численного моделирования с данными шахтных исследований и классическими теориями.

Апробация результатов. Результаты исследований докладывались и использованы при проектировании и планировании развития горных работ на шахте «Хечам» Куангниньского угольного бассейна (Вьетнам).

Основные результаты выполненных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: IX Международной научно-практической конференции «Молодые - Наукам о Земле» (г. Москва, 2020 г.); X Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); IV Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе научной литературы по теме исследования, обосновании методики и проведении лабораторных, аналитических и натурных исследований, определении основных параметров рекомендуемой технологии отработки пластов с труднообрушающимися породами кровли.

Публикации по работе. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе: в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация включает оглавление, введение, четыре главы с выводами, заключение, список литературы

из 129 наименований. Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков и 18 таблиц.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за большую помощь при подготовке диссертации, сотрудникам кафедры РМПИ и лаборатории моделирования Горного университета за помощь в организации и проведении лабораторных исследований, к.т.н. Фунг Мань Дак и сотрудникам угольной компании «Винакомин» за предоставленные информационные материалы и содействие при проведении шахтных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, идея, задачи, защищаемые положения и научная новизна полученных результатов.

В первой главе проведён анализ особенностей горно-геологических и горнотехнических условий шахты «Хечам».

Во второй главе выполнен анализ известных технологий снижения эксплуатационных потерь угля в межстолбовых целиках при применении системы разработки длинными столбами.

В третьей главе приведены результаты физического и численного моделирования напряжённо-деформированного состояния краевой зоны угольных пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы, а также результаты шахтных исследований процессов деформирования участковых подготовительных выработок.

В четвертой главе рассмотрена рекомендуемая ресурсосберегающая технология и ее параметры. Выполнена технико-экономическая оценка рекомендуемой технологии для условий шахты «Хечам».

Основные результаты выполненных исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

1. При отработке пологих и наклонных угольных пластов с использованием известных технологий, пространственно

планировочной основой которых является система разработки длинными столбами, к числу факторов, оказывающих существенное отрицательное влияние на величину эксплуатационных потерь угля, а также на стоимость проходки и поддержания повторно используемых участковых подготовительных выработок, относятся расстояние от повторно используемой выработки до выработанного пространства и наличие в кровле пласта труднообрушающихся пород.

Существенными недостатками варианта системы разработки длинными столбами, широко применяемого в настоящее время на угольных шахтах мира, являются: значительные потери угля, достигающие 30% балансовых запасов; формирование под и над межстолбовыми целиками областей повышенного горного давления; увеличение опасности горных работ по факторам «горные удары» и «внезапные выбросы»; повышение вероятности самовозгорания угля в выработанных пространствах. Отрицательное влияние указанных недостатков на издержки производства и полноту извлечения балансовых запасов возрастает при наличии в кровле отрабатываемого пласта труднообрушающихся пород кровли.

Об актуальности выполненных диссертационных исследований для условий шахты «Хечам» и других шахт Куангниньского угольного бассейна свидетельствуют следующие факты: доля пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы, составляет не менее 30% общего числа разрабатываемых пластов; общая протяженность участковых подготовительных выработок, закрепленных анкерной крепью, не превышает 10%; потери угля в межстолбовых целиках составляют 20-30%, следствием чего является сокращение срока службы шахты примерно на 25%; с простоями лав при восстановлении выработок перед их повторным использованием связаны значительные невосполнимые потери добычи.

На рисунках 1, 7 и 8 представлены результаты шахтных исследований влияния геологических и горнотехнических факторов на объемы ремонтных работ в участковых подготовительных выработках. На данном рисунке: $\lambda = \sum l_i / l_{ст}$, где $\sum l_i$ – суммарная

длина участков повторно используемой выработки, в пределах которых выполнялись ремонтные работы; $l_{ст}$ – длина выемочного столба; η – коэффициент, характеризующий геомеханические условия поддержания выработки; $\eta = \sigma_{гм}/\sigma_{сж}$, $\sigma_{гм}$ – напряжения в горном массиве, $\sigma_{сж}$ – средневзвешенный предел прочности вмещающих пород на одноосное сжатие; Z – ширина целика, расположенного между выработкой и выработанным пространством. Из рисунка 1, в частности, следует, что увеличение ширины целика с 10 до 40-50м приводит к снижению суммарной длины участков повторно используемой выработки, в пределах которых выполнялись ремонтные работы, в 2,0-2,2 раза при использовании рамных крепей и в 2,3-2,4 раза при использовании анкерных крепей.

Увеличение глубины горных работ приводит к постоянному росту объемов ремонтных работ в выработках, при этом наиболее существенные изменения наблюдаются при переходе на глубины, характеризующиеся значениями коэффициента условий $\eta \geq 0{,}45$-$0{,}6$.

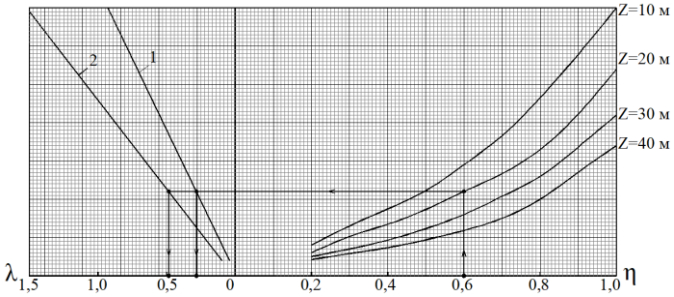

Рисунок 1 – Влияние горнотехнических факторов на объемы ремонтных работ в повторно используемых участковых подготовительных выработках при отработке пластов угля с труднообрушающимися породами кровли: 1, 2 – соответственно, при креплении выработок рамными и анкерными крепями (другие условные обозначения в тексте)

Наиболее «чувствительными» к увеличению глубины горных работ и изменению ширины целика являются выработки, закрепленные анкерной крепью. В условиях шахты «Хечам» на глубинах 300-400м ($\eta = 0{,}3$-$0{,}4$) при ширине межстолбовых целиков угля, равных 20-30м, перекрепляют до 50% общей длины выработок

с рамными крепями типа СВП, и 40-50% и более общей длины выработок с анкерными крепями типа CDCT.

Существенное уменьшение объемов ремонтных работ в выработках, закрепленных анкерной крепью (рисунок 1), может быть достигнуто в условиях шахт Куангниньского угольного бассейна при увеличении ширины целика Z до 40м. Так при увеличении ширины целика с 20 до 40м при ведении горных работ на глубинах, характеризующиеся значениями коэффициента условий $\eta = 0,6$, объемы ремонтных работ уменьшаются на 50-70%. Но увеличение ширины межстолбового целика приводит к пропорциональному росту эксплуатационных потерь угля. Это обстоятельство является одной из причин, по которым на шахтах Вьетнама сдерживается внедрение анкерных крепей.

Характер зависимостей объемов ремонтных работ в повторно используемых выработках от рассмотренных горнотехнических факторов (Z, η) при отработке пластов с кровлями I-го класса по классификации б. ВУГИ аналогичен характеру соответствующих зависимостей (рисунок 1), установленных для кровель II-го класса по классификации б. ВУГИ. Вместе с тем в условиях шахты «Хечам» объемы ремонтных работ в повторно используемых участковых подготовительных выработках при отработке пластов с кровлями II-го класса по классификации б. ВУГИ не менее, чем на 25- 35% превышают объемы ремонтных работ в аналогичных выработках при отработке пластов с кровлями I-го класса по классификации б. ВУГИ.

2. Уменьшение эксплуатационных потерь угля и издержек производства, связанных с проходкой и поддержанием повторно используемых участковых подготовительных выработок, достигается при использовании рекомендуемой технологии, включающей: оставление межстолбового целика, ширину которого принимают больше ширины зоны опасных напряжений, формирующейся над краевой частью пласта при осадке труднообрушающихся пород кровли; отработку межстолбового целика на одной линии с очистным забоем одновременно с погашением повторно используемой выработки; проходку вспомогательной выработки после стабилизации

процесса обрушения пород кровли в выработанном пространстве.

Рекомендуемая технология отработки пологих и наклонных угольных пластов, использование которой обеспечивает достижение поставленной в работе цели, иллюстрируется схемами, представленными на рисунке 2.

При использовании варианта, представленного на рисунке 2а, для подготовки к отработке столба FADE лавой №2 проходят парные штреки 6 и 7 и разрезную печь 8. Между штреками 6 и 7, разделенными целиком угля шириной Z_1, проходят печи 14. Ширину целика (Z_1) принимают более ширины зоны опасных напряжений, формируемой в краевой зоне угольного пласта.

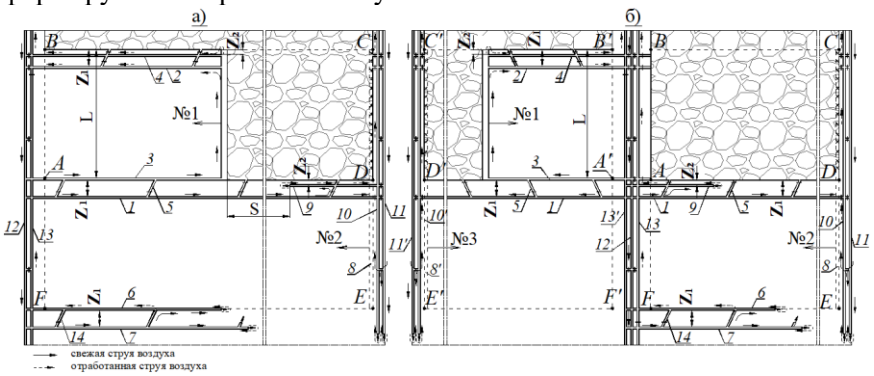

Рисунок 2 – Варианты рекомендуемой технологии отработки угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли.

Для оценки ширины зоны опасных напряжений (L_1 или L_2, рисунок 3) разработана программа, позволяющая рассчитывать вертикальные напряжения в зоне опорного давления, формирующейся над краевой частью угольного пласта, прилегающей к выработанному пространству. При разработке данной программы использованы результаты шахтных (рисунок 1) и лабораторных (рисунки 4 и 5) исследований, а также данные, приведенные в методических указаниях «Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля» (ВНИМИ).

Ширину целика Z_1 между повторно используемой участковой подготовительной выработкой и выработанным пространством рекомендуется принимать больше ширины зоны опасных напряжений (L_1 или L_2, рисунок 3): L_1 – ширина зоны опасных напряжений при использовании рамной крепи; L_2 – при использовании анкерной крепи.

Граница зоны опасных напряжений определялась по «точкам» в горном массиве, в которых опускания пород кровли в повторно используемой выработке превышали предельно допустимые значения опусканий кровли для тех либо иных типов применяемой крепи. В рассмотренном примере (рисунок 3) при использовании арочных крепей (СВП-17) ширину целика следует принимать около 30м, при использовании анкерных крепей (CDCT) - более 40м.

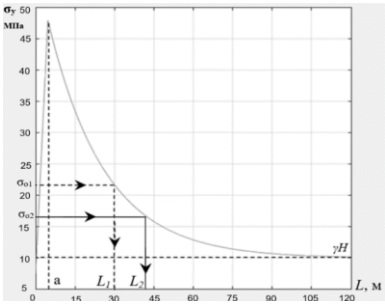

Рисунок 3 – Пример определения параметров зоны опорного давления и построения эпюры распределения напряжений в краевой части угольного пласта 11 для условий шахты «Хечам»: σ_{o1}, σ_{o2} – коэффициенты опасной концентрации напряжений в массиве, соответственно, при использовании рамных и анкерных крепей

При отработке столба ABCD (рисунок 2) с определенным отставанием S от очистного забоя проходят вспомогательную выработку 9. Выработку 9 проходят от фланговых выработок 10 и 11 Между выработанным пространством и вспомогательной выработкой 9 при ее проходке оставляют целик угля, ширину (Z_2) которого определяют из условия обеспечения безопасного проветривания тупиковой части лавы №1 за счет диффузии (общешахтной депрессии). В конечном итоге параметр Z_2

необходимо определять с использованием выражений: $X_1<Z_2\leq 6$м - для газовых шахт; $X_1<Z_2\leq 10$м - для негазовых шахт. X_1 - расстояние от границы выработанного пространства до трещины разлома в основной кровле.

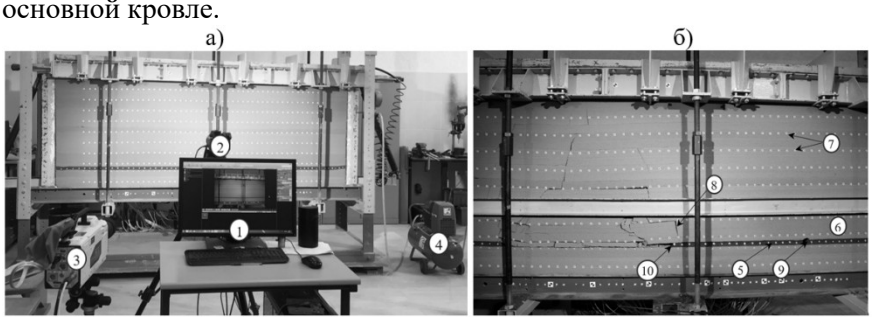

Рисунок 4 - Общий вид модели из эквивалентных материалов (а) и вид модели (б) в процессе ее испытания: 1 – компьютер и программное обеспечение для записи изображений; 2 – цифровая камера; 3 – камера наблюдения; 4 – система управления пригрузкой; 5 – отрабатываемый пласт угля; 6 – труднообрушающиеся породы кровли; 7 – марки; 8 – трещина разлома; 9 – повторно используемая выработка; 10 – граница выработанного пространства.

На рисунке 2 столб FADE отрабатывают лавой №2 после завершения очистных работ в лаве №1. Штреки 2, 3 и вспомогательную выработку 4 погашают за лавой №1. Повторно используемые штреки 1 и 2 охраняют целиками угля шириной Z_1. Штрек 1 используют в качестве транспортного штрека при работе лавы №1, при работе лавы №2 его используют повторно в качестве вентиляционного штрека. Вариант, представленный на рисунке 2а, рекомендуется применять при длине выемочных столбов $L > t \times V$, вариант, представленный на рисунке 2б – при длине выемочных столбов $L \leq t \times V$. В приведенных выражениях L – длина выемочного столба, t – продолжительность стабилизации процесса осадки труднообрушающихся пород кровли, V – скорость движения лавы.

В условиях шахт Куангниньского угольного бассейна фактические скорости подвигания лав при ведении очистных работ с использованием БВР составляют 15-25м/мес, продолжительность

стабилизации процесса осадки труднообрушающихся пород кровли в выработанном пространстве до 6-8 мес. С учетом данных фактов перспективы внедрения схемы, представленной на рисунке 2а, связаны с отработкой столбов более 200-250м. Схему, представленную на рисунке 2б, целесообразно использовать при отработке столбов менее 250м. Как ранее отмечалось, фактическая длина выемочных столбов на шахтах «Хечам», и др. составляет от 300 до 800м, скорости подвигания лав 15-25м/мес. В условиях современных российских угольных шахт при скоростях подвигания механизированных лав, достигающих 450-500м/мес., схему, представленную на рисунке 2а, целесообразно применять при длине выемочных столбов более 3000-3500м.

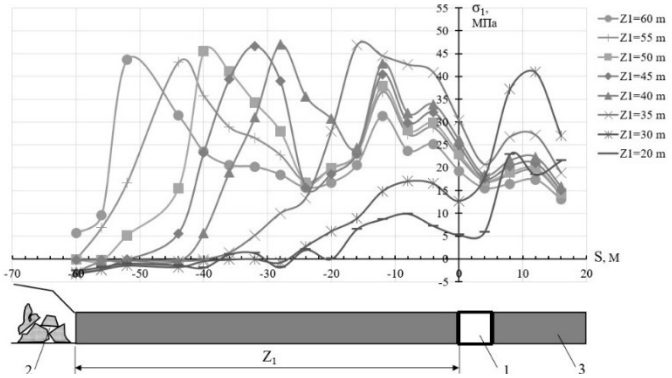

Рисунок 5 – Перераспределение напряжений в краевой зоне пласта при изменении ширины целика Z_1 в условиях пласта №11 на шахте «Хечам»: 1 – повторно используемая выработка; 2 – выработанное пространство; 3 – пласт угля.

Использование рекомендуемых технологий (рисунок 2) позволяет обеспечить максимально благоприятные условия поддержания выработок, предназначенных для повторного использования. В течение всего срока службы данные выработки охраняются по схеме «целик шириной Z_1-массив». При Z_1 больше ширины зоны опасных напряжений L (рисунок 3), формирующейся над краевой частью угольного массива, в 1,5-2,3 раза и более снижаются затраты на поддержание повторно используемых выработок и обеспечивается возможность использования анкерной

крепи в качестве основной крепи повторно используемых выработок. Снижение эксплуатационных потерь угля обеспечивается полной отработкой межстолбовых целиков. Следует подчеркнуть, что при применяемом на шахтах Вьетнама варианте системы разработки длинными столбами потери в одном целике достигают 100 тысяч тонн угля и более.

Принимая во внимание характер зависимостей, приведенных на рисунке 1, а также неизбежное увеличение в перспективе глубины горных работ и длины выемочных столбов, экономическая эффективность использования разработанной технологии будет постоянно возрастать.

3. При использовании рекомендуемой технологии отработки пластов устойчивость вспомогательной выработки, обеспечивающей возможность проветривания тупиковой части лавы при отработке межстолбового целика на одной линии с очистным забоем, достигается при проходке ее на удалении от выработанного пространства, превышающем расстояние от границы выработанного пространства до трещины разлома в основной кровле.

К числу задач, требующих специального рассмотрения при использовании рекомендуемой технологии (рисунок 2), относится задача, связанная с обеспечением технологически удовлетворительного состояния вспомогательной выработки 9, обеспечивающей возможность проветривания тупиковой части лавы при полной отработке межстолбового целика практически любой ширины Z_1 на одной линии с очистным забоем**.** Для исследования напряженно-деформированного состояния краевой зоны пласта проведены исследования на моделях из эквивалентных материалов и численное моделирование с использованием программы FLAC3D корпорации ITASCA (рисунок 9).

Для изучения напряженного состояния массива модели использовались датчики давления МГД-3. Во время испытания модели производилась фотофиксация вертикальных и горизонтальных смещений марок 7 (рисунок 4) с точностью до 1/5 пикселя (<0,0001 м), что позволяло отслеживать моменты появления и динамику развития трещин в подрабатываемой толще пород.

Анализ результатов лабораторных исследований (рисунок 6) показал, что вспомогательную выработку 9 целесообразно располагать на удалении Z_2 от выработанного пространства, превышающем расстояние X_1 от границы выработанного пространства до трещины разлома 6 в основной кровле.

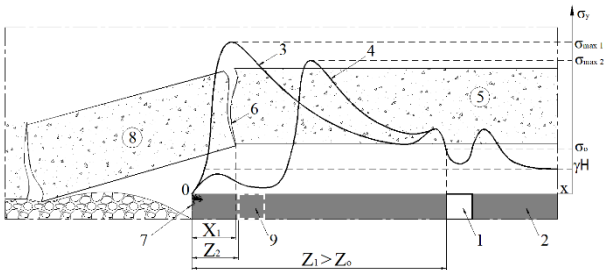

Рисунок 6 – Характер распределения напряжений в краевой части массива до (3) и после (4) осадки труднообрушающихся пород кровли: 1 – повторно используемая выработка; 2 – угольный пласт; 5 –труднообрушающиеся породы кровли; 6 – трещина разлома в основной кровле, 7 – граница выработанного пространства, 8 – блок труднообрушающихся пород, 9 – вспомогательная выработка.

Для условий шахты «Хечам» X_1 составляет 2-4м. Как отмечалась ранее, вспомогательную выработку 9 проходят после стабилизации процесса обрушения пород кровли в выработанном пространстве. Продолжительность стабилизации процесса осадки труднообрушающихся пород кровли в выработанном пространстве лав обычно не превышает 6-8 мес.

При рекомендуемом расположении выработки 9 относительно трещины разлома 6 (рисунок 6) повышенные нагрузки в зоне опорного давления, воспринимаются труднообрушающимися породами кровли 5, не потерявшими связь с их продолжением со стороны нетронутого массива. Напряжения в непосредственной кровле над вспомогательной выработкой 9 характеризуются величинами на порядок меньшими, чем напряжения, зафиксированные в соответствующей области массива до осадки труднообрушающихся пород. Породы непосредственной кровли над вспомогательной выработкой 9 практически не опускаются и не

разрушаются горным давлением, что позволяет сделать вывод о возможности применения в данных выработках облегченных видов крепи, в том числе, анкерных крепей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработаны параметры технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли, обеспечивающей снижение эксплуатационных потерь угля в межстолбовых целиках и объемы ремонтных работ в повторно используемых участковых подготовительных выработках.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Варианты системы разработки длинными столбами с оставлением целиков угля в выработанном пространстве, широко используемые в настоящее время на угольных шахтах России, США, Китая, Вьетнама, Австралии и других странах, характеризуются существенными недостатками, к числу которых относятся: постоянное увеличение эксплуатационных потерь угля (15-20% и более), затрат на проходку и поддержание участковых выработок; сокращение балансовых запасов, связанное с невозможностью безопасной отработки сближенных пластов в зонах повышенного горного давления, формирующихся под (над) целиками угля; повышенная опасность горных ударов и внезапных выбросов угля и газа. Отрицательное влияние указанных недостатков возрастает по мере перехода горных работ на более глубокие горизонты.

2. К числу перспективных направлений совершенствования технологий ведения горных работ на шахте «Хечам» и других угольных шахтах Куангниньского угольного бассейна относится создание технологий, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь угля в межстолбовых целиках и возможность использования анкерных крепей в качестве основных крепей повторно используемых участковых подготовительных выработок. Одновременная реализация этих двух прогрессивных направлений

при применении известных технологий существенно затруднена, а в ряде случаев практически невозможна, при залегании над пластом труднообрушающихся пород кровли, склонных к значительным зависаниям в выработанном пространстве.

3. Зависания труднообрушающихся пород кровли в выработанном пространстве приводят к увеличению напряжений (на 25-30% и более) в зоне опорного давления в местах расположения повторно используемых подготовительных выработок. Осадка труднообрушающихся пород кровли сопровождается сотрясением массива пород, разрушением крепи подготовительных выработок. Наиболее «чувствительными» к этим процессам являются выработки, закрепленные анкерными крепями, область использования которых в качестве основной крепи ограничивается относительно небольшими, по сравнению с рамными крепями, предельно допустимыми величинами опусканий пород кровли.

4. Внедрение рекомендуемой технологии на шахтах, отрабатывающих пологие угольные пласты с труднообрушающимися породами кровли, позволяет исключить эксплуатационные потери угля в межстолбовых целиках, достигающие 15-20% и более балансовых запасов выемочного столба; увеличить срок службы шахты примерно на 25%; снизить затраты на проходку выработок за счет использования анкерной крепи в 1,2-1,3 раза. Ожидаемый экономический эффект при отработке только одного выемочного столба длиной 700м на шахте «Хечам» составляет не менее 10-20 млн. российских рублей.

5. Перспективы развития темы диссертации в будущем связаны с обоснованием оптимальных параметров рекомендуемой ресурсосберегающей технологии при отработке свит пологих сближенных угольных пластов на больших глубинах.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Фам, Дик Тханг. Определение рациональной ширины предохранительной пачки угля при отработке наклонных угольных пластов средней мощности с использованием камерно-столбовой

системы / Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, **Ле Куанг Фук**, Витколов Виктор Григорьевич // Уголь. – 2018. – №9. – С. 36-39.

2. Сокол, Д.Г. Актуальные проблемы и перспективы совершенствования охраны повторно используемых подготовительных выработок при отработке калийных пластов / Д.Г. Сокол, **Ле Куанг Фук**, Тхан Ван Зуи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 33–43. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-33-43.

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

3. **Le, Quang Phuc**. Strata movement when extracting thick and gently inclined coal seam from a physical modelling analysis: A case study of Khe Cham basin, Vietnam / Le Quang Phuc, Le Tien Dung, Pham Duc Thang, Nguyen Anh Tuan // Scientific journal “Sustainable development of mountain territories”. – 2019. – №4(42). pp. 561-567. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-560-566.

4. **Le, Quang Phuc**. Design a Reasonable Width of Coal Pillar Using a Numerical Model. A case study of Khe Cham basin, Vietnam / Le Quang Phuc, V.P. Zubov, Pham Duc Thang // E3S Web of Conferences (2020) 174 01043. “Vth International Innovative Mining Symposium”. – 2020. 10p. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401043.

5. **Le, Quang Phuc**. 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) / Le Quang Phuc, V.P. Zubov, Phung Manh Dac // Inżynieria Mineralna. – 2020. pp. 115-122. DOI: 10.29227/IM-2020-02-15

Свидетельство:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613663 Российская Федерация. Программа для вычисления параметров зоны опорного давления и диаграммы распределения напряжений в краевой части массива угля: № 2021613663: заявл. 05.03.2021 : опубл. 11.03.2021 Бюл. № 3 / В.П. Зубов, **Ле Куанг Фук**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

Рисунок 7 – Состояние повторно используемых подготовительных выработок, закрепленных арочной (а) и анкерной (б) крепью, при отработке пласта 11 (шахта «Хечам») с труднообрушающимися породами кровли

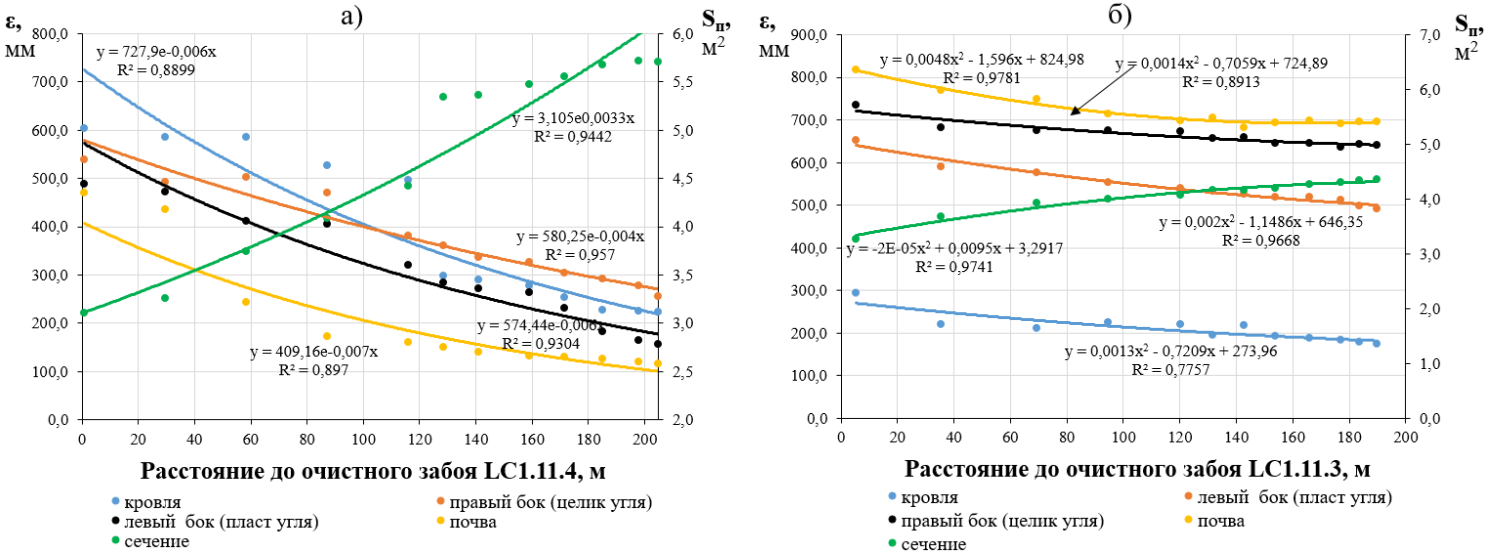

Рисунок 8 – Результаты шахтных исследований в условиях шахты «Хечам» процессов деформирования пород на контуре сечения повторно используемых подготовительных выработок, закрепленных рамной (а) и анкерной (б) крепью

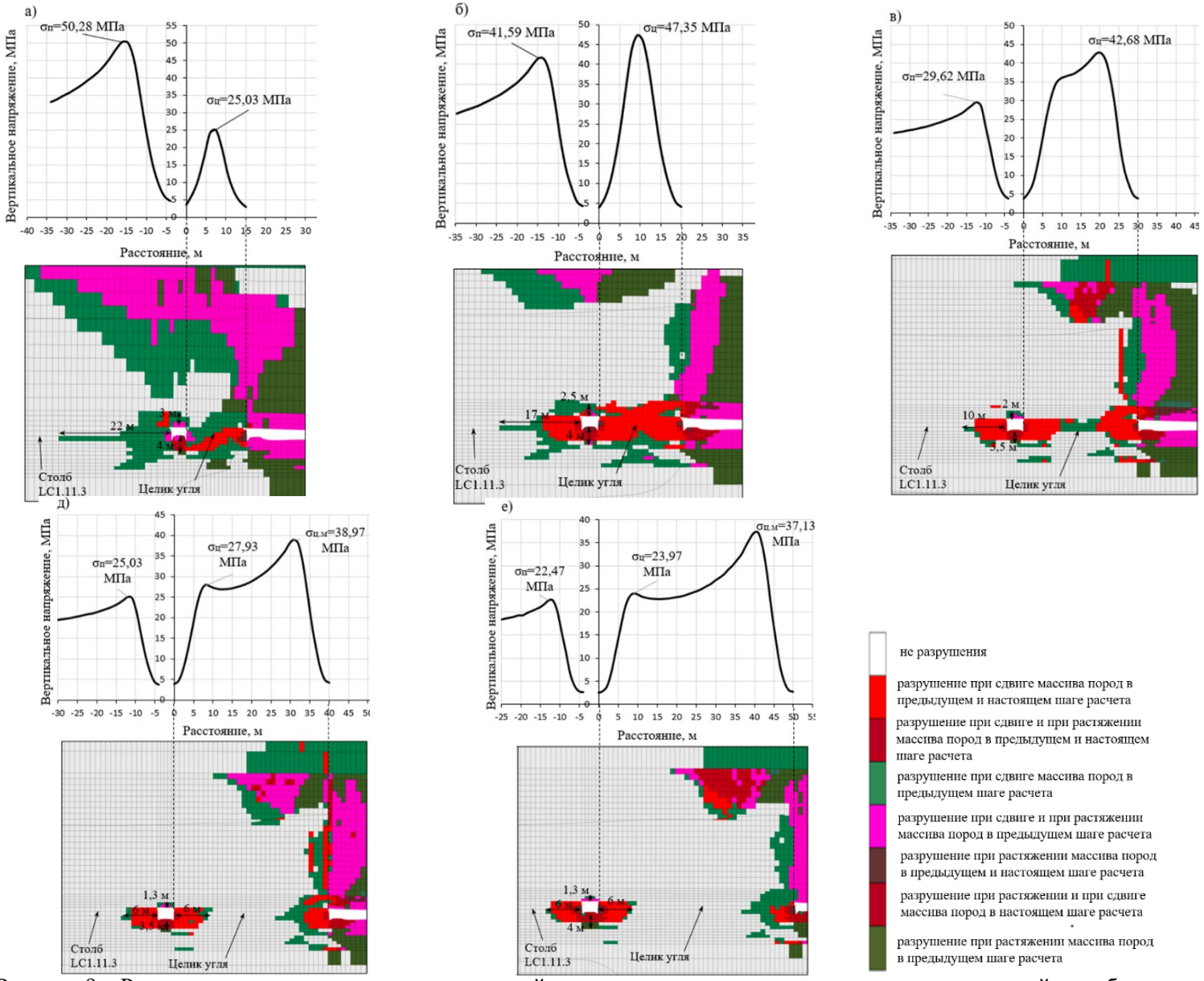

Рисунок 9 – Распределение вертикальных напряжений и зон разрушения вокруг повторно используемой выработки для целиков разной ширины:

а) - ширина целика 15 м, б) - ширина целика 20 м, в) - ширина целика 30 м,

д) - ширина целика 40 м, е) - ширина целика 50 м