

На правах рукописи

Ильинец Андрей Александрович



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ
СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ВОКРУГ ВЫРАБОТОК ПРИ
ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ПОЛОГИХ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ТРЕМЯ ШТРЕКАМИ**

Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент

Казанин Олег Иванович

Официальные оппоненты:

Сарычев Владимир Иванович
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений, профессор;

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

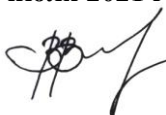
Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

Защита диссертации состоится 27 сентября 2021 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, ауд. 1171а.

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

Автореферат разослан 27 июля 2021 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ИВАНОВ
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Переход на подготовку выемочных участков пологих угольных пластов с проведением трех штреков с каждой стороны выемочного столба с целью поддержания высокого уровня производительности и максимального использования потенциала современного очистного оборудования является одним из направлений обеспечения конкурентоспособности подземной угледобычи. В то же время нарушение эксплуатационного состояния выработок, оконтуривающих выемочные участки, является одной из причин простоев высокопроизводительного оборудования современных очистных механизированных комплексов при отработке пологих угольных пластов. Нарушения устойчивости чаще всего проявляются в виде обрушений кровли и (или) бортов выработок, а также пучения почвы. Применяемое в настоящее время при подготовке выемочных участков спаренными выработками крепление выемочных выработок анкерной крепью, возведение крепи усиления в зоне влияния очистного забоя или в зонах повышенного горного давления (далее – ПГД), в ряде случаев не обеспечивает безремонтного поддержания выработок, что приводит к дополнительным затратам и убыткам от простоев оборудования очистных забоев. При переходе на подготовку выемочных участков тремя выработками вопросы обеспечения устойчивости выработок и параметров целиков требуют дополнительного обоснования. Выемочные выработки находятся в разных условиях поддержания, ширина целиков и режимы их работы также могут варьироваться.

Решению задач проведения и поддержания выработок при разработке свит пластов посвящены работы А.А. Борисова, Я.А. Бича, А.П. Господарикова, И.Е. Долгого, С.Я. Жихарева, В.В. Зубкова, В.П. Зубова, М.А. Иофиса, О.И. Казанина, О.В. Ковалева, С.Т. Кузнецова, А.М. Линькова, И.М. Петухова, А.Г. Протосени, И.Л. Черняка, А.Н. Шабарова, З. Бенявски, С. Пенга, О. Якоби и др. На основе результатов исследований разработаны отраслевые нормативные документы, регламентирующие вопросы выбора параметров паспорта крепления

и поддержания выработок. В то же время, в отношении подготовки участков тремя штреками с каждой стороны выемочного столба остается ряд вопросов, связанных с параметрами целиков, поддержанием выемочных выработок с использованием анкерной крепи в качестве основного вида крепления, объемом потерь готовых к выемке запасов в межштрековых целиках.

Цель работы

Обеспечение устойчивости выемочных выработок и минимальных потерь угля в целиках при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя штреками.

Идея работы

Выбор параметров паспортов крепления выемочных выработок и мероприятий по управлению состоянием массива необходимо осуществлять на основе оценки напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) системы «целик-выработка-массив» по всей длине выработок и его изменений в процессе развития очистных работ с учетом влияния зон ПГД и зон разгрузки от сближенных пластов.

Основные задачи исследований:

1. Анализ мирового опыта поддержания выемочных выработок при интенсивной отработке пологих угольных пластов.
2. Натурные исследования влияния параметров паспортов крепления выемочных выработок и мероприятий по управлению состоянием массива на устойчивость выработок.
3. Экспериментально-аналитические исследования НДС массива при подготовке выемочных участков тремя выработками для различных сочетаний ширины целиков между выработками и его изменений при различных параметрах паспортов крепления и мероприятий по управлению состоянием массива.
4. Разработка комплекса рекомендаций по выбору места расположения выработок, ширины целиков, определению параметров паспортов крепления и мероприятий по управлению состоянием массива.
5. Оценка эффективности и определение области применения разработанных рекомендаций.

Методология и методы исследований

Комплексный подход к решению поставленных задач, обобщающий теоретические и практические знания о практике поддержания выработок при отработке выемочных участков увеличенных размеров при многоштрековой подготовке; шахтные наблюдения за конвергенцией пород контура выработок, оконтуривающих очистной забой при различных параметрах паспортов крепления и способов управления состоянием массива; численные исследования НДС массива вокруг выработок методом конечных элементов, реализованном в программном комплексе Ansys.

Научная новизна:

- Разработан критерий оценки устойчивости выемочных выработок, подверженных влиянию опорного давления лавы, на основе сравнительной оценки расчетного сопротивления пород кровли и почвы выработок с учетом поправочного коэффициента и уровня действующих напряжений в рассматриваемый период поддержания выработки;
- Установлены зависимости изменения критерия устойчивости выработок при подготовке выемочных участков пластов тремя штреками от параметров целиков и места расположения выработки.

Основные защищаемые положения:

1. При интенсивной отработке пологих угольных пластов длинными столбами больших размеров выбор параметров паспорта крепления участковых подготовительных выработок необходимо осуществлять дифференцированно с учетом изменчивости НДС массива на разных участках по длине выработки до начала и в процессе ведения очистных работ с использованием разработанной методики визуально-инструментальной оценки устойчивости выработок.

2. При переходе на подготовку выемочных участков тремя штреками, наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения устойчивости выработок является вариант с использованием целиков разной ширины с примыканием к выработанному пространству обрабатываемого столба целика меньшего размера,

работающего в податливом режиме и усилением крепления бортов выработок анкерной крепью.

3. Подготовка выемочных участков тремя выработками возможна без увеличения потерь угля по сравнению с подготовкой спаренными выработками, т.е. с использованием целиков между выработками, суммарная ширина которых не превышает ширину межштрекового целика при подготовке спаренными выработками, при этом, в зонах ПГД обеспечение устойчивости выработок обеспечивается при использовании разгрузочных щелей, пробуренных в оба борта выработки.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- Обоснованы комплекс рекомендаций по совершенствованию системы мониторинга состояния выемочных выработок в течение срока службы с применением видеоэндоскопов;
- Разработаны рекомендации по выбору ширины целиков между выработками при подготовке выемочных участков тремя штреками с обеспечением приемлемого уровня потерь угля;
- Разработан алгоритм выбора параметров управления состоянием массива вокруг выемочных выработок при подготовке выемочных участков тремя штреками.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций

Достоверность защищаемых положений, основных выводов и рекомендаций обеспечивается достаточным объемом проведенных натурных исследований и шахтных наблюдений, применением актуальных методов исследований, удовлетворительной сходимостью экспериментально-аналитических моделей и натурных исследований.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы, результаты экспериментально-аналитических и натурных исследований докладывались на: XVII Международной научно-практической конференции «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» (Новосибирск, 2018 г.); XIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки

месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (Пермь, 2020 г.); XXIX Международном научном симпозиуме «Неделя Горняка 2021» (Москва, 2021 г.); научных семинарах кафедры взрывного дела Санкт-Петербургского горного университета (2017–2020 гг.).

Личный вклад автора

Сформулированы цель и задачи исследований, определены и реализованы методики проведения экспериментально-аналитических и натурных исследований, обобщены результаты исследований, сформулированы основные научные положения и выводы.

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе в 3 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 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство программы для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация общим объемом 139 страниц состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами, заключения, библиографического списка из 124 источников, включая 60 рисунков и 22 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и идея работы, определены основные задачи исследований, описаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе приведен анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», анализ влияния зон ПГД, тектонически напряженных (далее – ТНЗ) и разгруженных зон (далее – ТРЗ) на

состояние выемочных выработок при интенсивной разработке свит угольных пластов, анализ мирового опыта интенсивной отработки запасов в условиях слабоустойчивых непосредственной кровли и склонной к пучению почвы, анализ рейтинговых систем классификации массива горных пород, выполнена оценка нормативной базы проектирования, паспортов проведения и крепления выработок при различных способах подготовки выемочных участков угольных пластов. Сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе обоснован выбор методики и приведены результаты шахтных исследований устойчивости выработок, оконтуривающих выемочный столб, с использованием видеоэндоскопа; геофизические исследования однородности массива в целиках между выемочными выработками; исследования проявлений горного давления в участковых подготовительных выработках и параметров исходного поля напряжений углепородного массива; изложены предложения по совершенствованию методики оценки устойчивости выработок.

В третьей главе произведен выбор методики и изложены результаты экспериментально-аналитических исследований методом конечных элементов, проведены исследования устойчивости выработок при подготовке выемочных участков тремя штреками, рассмотрено влияния геологических нарушений и способов управления состоянием массива на устойчивость выработок.

В четвертой главе разработан алгоритм выбора параметров способов управления состоянием массива вокруг выемочных выработок, предложен критерий оценки устойчивости выработок; представлено обоснование параметров паспорта проведения и крепления выработок подземных горных выработок.

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

Основные результаты исследований отражены при доказательстве следующих защищаемых положений:

1. При интенсивной отработке пологих угольных пластов длинными столбами больших размеров выбор параметров паспорта крепления участков подготовительных выработок необходимо осуществлять дифференцированно с учетом изменчивости НДС массива на разных участках по длине выработки до начала и в процессе ведения очистных работ с использованием разработанной методики визуально-инструментальной оценки устойчивости выработок.

Увеличение объемов добычи угля на отечественных предприятиях достигается за счёт концентрации горных работ на действующих производственных мощностях, что приводит к снижению количества очистных забоев и к появлению выемочных участков больших размеров. На современных шахтах все большее распространение находит структура «шахта-лава» с максимальной концентрацией горных работ и обеспечением производственной мощности шахты 4,0 млн тонн/год и более работой одного длинного очистного забоя. Выполненный анализ применяемых паспортов крепления выработок, планов горных работ и причин длительных простоев высокопроизводительного оборудования показал, вследствие увеличения протяженности выемочных штреков до 3,5–5,0 км напряженно-деформированное состояние массива может существенно изменяться по длине выработки (Рисунок 1).

На эффективность поддержания выемочных выработок, примыкающих к очистным забоям, существенное влияние оказывают горно-геологические и горнотехнические факторы: наличие участков зон ПГД, ТНЗ и ТРЗ. Согласно проведенному анализу, на 6 из 7 действующих шахт АО «СУЭК-Кузбасс», поддержание выемочных выработок осложнено наличием зон ПГД, сформированных в результате отработки сближенных пластов. При больших размерах выемочных участков НДС массива значительно изменяется по длине выемочного столба, вследствие чего прогноз НДС массива и его изменений в процессе ведения горных работ является необходимым для корректного выбора параметров

паспортов крепления выработок. Под воздействием напряжений в различных зонах существенно изменяется структура пород кровли, трещиноватость, что может привести к нарушению устойчивости выработок. Эффективным инструментом регистрации и учета изменений напряжений в массиве предлагается применение видеоэндоскопической съемки.

Для оценки состояния выемочных выработок в период с 2016 по 2019 годы было выполнено более 50 исследований с применением видеоэндоскопа, проведенных на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»: «им. С.М. Кирова», «Талдинская-Западная 1», «им. В.Д. Ялевского», «им. А.Д. Рубана», «Комсомолец», «Талдинская-Западная 2». В результате исследований были определены основная структура пород внутренних стенок шпура и иерархическая организация породного массива. Как показали исследования, в подавляющем большинстве случаев при устойчивом состоянии выработки трещиноватые породы занимают порядка 20% от длины шпура, располагаются на расстоянии не более 1,5 м от контура выработки, при этом интервал интенсивно трещиноватых пород не превышает 0,5 м. Последующие монолитные породы и породы с винтовой поверхностью стенок составляют до 60-70% от общей длины шпура. Оставшиеся 10-20% приходятся на переслаивающиеся и трещиноватые породы, с изливом воды, их расположение хаотично и зависит от горно-геологических условий залегания пород. Существующая система сбора и оценки информации, полученной при помощи видеоэндоскопа, в недостаточной степени раскрывает потенциал данного инструмента. Исследования проводятся по результатам визуального осмотра состояния анкерной крепи и пород контура выработки, выступая в роли вспомогательной системы оценки. Место и время проведения измерений выбирается бессистемно и не зависит от периода ведения работ, что не позволяет выявить причину нарушений эксплуатационного состояния выработки.

Наиболее эффективная оценка НДС массива при помощи видеоэндоскопа достигается при периодическом сборе данных с повторным использованием диагностических шпуров по мере

продвижения очистного забоя в зависимости от положения шпура относительно зоны опорного давления, до, после и во время проведения работ. Таким образом, оценка текущего состояния стенок шпура позволит отследить разрастание и появление новых трещин, что указывает на изменение состояния массива (Рисунок 2).

На шахте «Талдинская Западная 1», в параллельном штреке 66-09 произошло обрушение кровли, длина обвала составила 17,4 м, деформация элементов крепи 6,4 м (Рисунок 3). В кровле параллельного штрека было отбурено 2 шпура диаметром 30 мм. Шпур №1 отбурен в кровле выработки глубиной 6,9 м в месте заложения ПК82 в двух метрах в сторону от завала. Шпур №2 отбурен в кровле выработки глубиной 7 м в месте заложения ПК82 в шести метрах в сторону от завала. Оба шпура были обследованы видеоэндоскопом. Сравнение и анализ шпуров №1 и №2 позволяет предположить, что прекращение обвала кровли связано с залеганием монолитных пород на уровне 0,26-1,09 м.

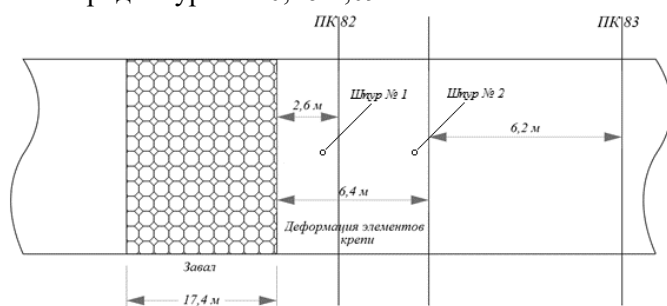


Рисунок 3 – Параллельный штрек 66-09 в зоне завала

Анализ существующих рейтинговых систем и методов классификации массивов зарубежных и отечественных авторов: З. Т. Бенявски (RMR), Д. У. Дира (RQD), Хоека-Брауна (GSI), Г. Л. Фисенко, Н. С. Булычева и др. показал, что одним из основных параметров оценки устойчивости массива является трещиноватость массива. На основе предложенных методов определения трещиноватости и экспериментальных данных, собранных в процессе видеоэндоскопических исследований в работе предложена классификация трещиноватого массива, предполагающая различные

категории трещиноватости и соответствующие им значения поправочного коэффициента для оценки прочности массива в зависимости от расстояния между трещинами (Таблица 1). При этом не следует учитывать зоны трещиноватости с шириной менее 0,1 м.

Таблица 1 – Поправочный коэффициент в зависимости от расстояния между трещинами

Категория трещиноватости	Расстояние между трещинами, м	Поправочный коэффициент K_p
I	0,1-0,5	0,5
II	0,5-1	0,6
III	1-1,5	0,7
IV	>1,5	1

Горно-геологические условия залегания угольных месторождений позволяют для конкретных условий систематизировать характерные видеонизображения поверхности стенок шпуров, определяющие устойчивость пород кровли выемочных выработок и провести эндоскопические исследования на разных этапах отработки выемочного участка.

2. При переходе на подготовку выемочных участков тремя штреками, наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения устойчивости выработок является вариант с использованием целиков разной ширины с примыканием к выработанному пространству отрабатываемого столба целика меньшего размера, работающего в податливом режиме и усилением крепления бортов выработок анкерной крепью.

Как показали ранее проведенные исследования, реализация потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования требует изменения наиболее распространенной на шахтах России схемы подготовки выемочных столбов двумя штреками и переход к подготовке выемочных участков тремя штреками (Рисунок 4). Это позволяет более полно использовать потенциал современного оборудования при отработке выемочных столбов больших размеров, повысить возможности управления газовыделением и управления состоянием массива на выемочных участках. В связи с отсутствием на шахтах РФ опыта поддержания

выемочных выработок при подготовке выемочных участков тремя штреками в качестве инструмента оценки устойчивости выработок при различных значениях ширины целиков предлагается использование трехмерного моделирования участка угольной шахты для оценки НДС массива и его изменений по мере развития горных работ методом конечных элементов (далее – МКЭ) на базе программного комплекса Ansys. Моделирование выемочного участка проводилось для объемной задачи с применением упруго-пластичной модели. Воздействие и влияние нагрузок на горный массив распределяется согласно модели Кулона-Мора.

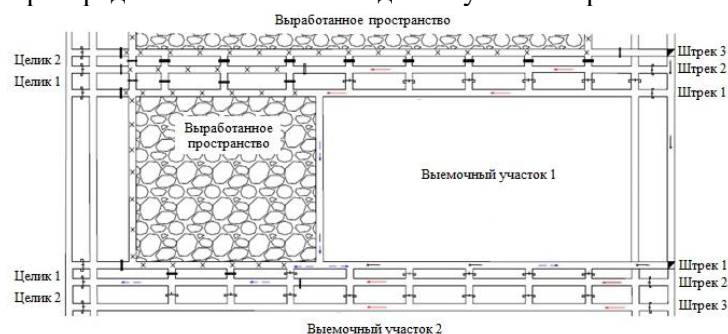


Рисунок 4 – Подготовка выемочных участков тремя выработками

При проведении экспериментально-аналитических исследований была использована модель, эквивалентная участку шахты «Талдинская-Западная 2», реализованная в масштабе 1:1, с учетом существующих горно-геологических условий отработки. В соответствии с действующими нормативными документами, ширина целика между штреками при подготовке спаренными выработками в рассматриваемых условиях должна быть не менее 30 м. При подготовке тремя штреками рассмотрены варианты с целиками разной ширины.

Модель исследуемого участка (Рисунок 5) включает в себя: угольный пласт 69, выработанное пространство, вмещающие породы, участковые подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою, по три выработки с двумя рядами ленточных целиков. Рассмотрено три случая размещения штрека в 30 м целике,

первый - в соотношении 8,28 м и 16,52 м, второй – 12,4 м и 12,4 м, третий 16,52 и 8,28 м. Каждая модель позволяет рассмотреть три этапа расположения штреков в массиве во времени и провести оценку напряженно-деформированного состояния вокруг выемочных выработок. В таблице 2 рассмотрены эпюры напряжений, полученные в трех основных сечениях: вне зоны влияния опорного давления лавы (А-А), в зоне опорного давления лавы (Б-Б), в зоне остаточного опорного давления за лавой (В-В).

Смещение средней выработки в сторону очистного забоя обеспечивает снижение влияния опорного давления на третью выработку в среднем на 2-3 МПа (Таблица 3). При сравнении напряжений в окрестности трех выработок со значениями, полученными при подготовке выемочных участков спаренными выработками, наблюдается увеличение максимального уровня напряжений в представленных сечениях на 10-13%.

Таким образом, наиболее предпочтительным вариантом расположения выработок является вариант с расположением узкого целика со стороны отрабатываемого столба.

3. Подготовка выемочных участков тремя выработками возможна без увеличения потерь угля по сравнению с подготовкой спаренными выработками, т.е. с использованием целиков между выработками, суммарная ширина которых не превышает ширину межштрекового целика при подготовке спаренными выработками, при этом, в зонах ПГД обеспечение устойчивости выработок обеспечивается при использовании разгрузочных щелей, пробуренных в оба борта выработки.

Одной из задач, решаемых при переходе на подготовку выемочных участков тремя штреками с каждой стороны выемочного столба, является минимизация потерь угля в целиках. Добавление еще одного ряда целиков по сравнению с подготовкой спаренными выработками при определении ширины целиков по действующей для спаренных выработок методике может привести к существенному увеличению объема потерь. В то же время, наличие третьей (средней) выработки может рассматриваться в качестве компенсационной полости, способствующей снижению напряжений

в массиве. Главные действующие напряжения могут быть определены по результатам моделирования.

На рисунке 6 представлены три основных сечения по пласту 69 шахты «Талдинская-Западная 2»: вне зоны влияния опорного давления лавы (А-А), в зоне опорного давления лавы (Б-Б), в зоне остаточного опорного давления за лавой (В-В). Представленная модель позволяет определить напряжения, формируемые вокруг дополнительной выработки (штрек 2, штрек 5) и оценить состояние пород кровли на протяжении всего срока службы выработки (Рисунок 7).

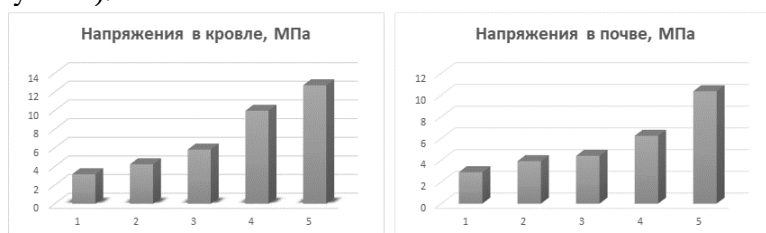


Рисунок 7 – Напряжения в кровле и почве дополнительной выработки. 1 - до начала влияния опорного давления лавы; 2 - в зоне влияния опорного давления первой лавы; 3 - в зоне остаточного опорного давления первой лавы; 4 - в зоне опорного давления второй лавы; 5 - в зоне остаточного опорного давления второй лавы

Таким образом, для оценки возможности обеспечения устойчивости выработок без увеличения объема потерь по сравнению с подготовкой спаренными выработками, в работе предлагается использовать критерий оценки, определяемый как отношение главных действующих напряжений к сопротивлению пород кровли (1) и почвы (2) на сжатие, с учетом поправочного коэффициента, учитывающего трещиноватость рассматриваемого участка.

$$K_{кр} = \frac{\sigma_y}{R_{с_{кр}} \cdot K_{п}}, \quad (1)$$

$$K_{поч} = \frac{\sigma_y}{R_{с_{п}} \cdot K_{п}}, \quad (2)$$

где σ_y – главные действующие напряжения, МПа;

$R_{c_{кр}}$; $R_{c_{п}}$ – расчетное сопротивление пород кровли и почвы на сжатие, МПа;

$K_{п}$ – поправочный коэффициент, учитывающий трещиноватость рассматриваемого участка.

Критерий позволяет отнести выработку к той или иной категории устойчивости согласно таблице 4. На рисунке 8 представлены изменения критерия устойчивости выработок в кровле при подготовке выемочных участков пластов тремя штреками в зависимости от ширины целиков и места расположения выработки в массиве. Рассмотрим пример расчета критерия устойчивости выработки при наиболее благоприятном соотношении выработок с расположением узкого целика со стороны отрабатываемого столба шириной 8, 28 и 16, 52 м.

Для условий шахты «Талдинская-Западная 2», пласт 69, согласно проектным данным сопротивление пород кровли и почвы на сжатие равны: $R_{c_{кр}} = 34$ МПа; $R_{c_{п}} = 32$ МПа. Действующие вертикальные напряжения, полученные в результате численного моделирования в зоне влияния опорного давления лавы составляют $\sigma_{у_{кр}} = 8,66$ МПа в кровле и $\sigma_{у_{п}} = 8,77$ МПа в почве выработки. Согласно предложенной методики определения поправочного коэффициента (Таблица 1), трещиноватость пород кровли и почвы выработки в соответствующий период проведения очистных работ относится к II и III категории.

$$K_{кр} = \frac{8,66}{34 \cdot 0,6} = 0,42$$

$$K_{поч} = \frac{8,77}{32 \cdot 0,7} = 0,39$$

Полученные значения позволяют оценить состояние дополнительной выработки в зоне влияния очистных работ как устойчивое с рекомендацией к мониторингу напряжений в массиве при помощи видеоэндоскопической съемки.

В случае неустойчивого состояния пород по контуру штрека обеспечение эксплуатационного состояния участков выработок может быть достигнуто с применением различных способов

управления состоянием массива горных пород. В качестве эффективного мероприятия по управлению состоянием массива предлагается вариант применения щелевой разгрузки в боках выработки для уменьшения величины пучения почвы. При формировании разгрузочной щели обеспечивается смещение максимума напряжений от контура выработки вглубь массива (целика), в результате чего зона возможного смятия пород также смещается вглубь массива (целика). Проведенные исследования показали, что наиболее опасным отрезком повышенного пучения в зоне опорного влияния лавы имеет место на ограниченном участке, непосредственно примыкающим к лаве, что объясняется ограниченной протяженностью зоны опорного давления (10-15 м), формируемой впереди очистного забоя, имеющей уровень напряжений в 1,5–2 раза, превышающий уровень геостатического давления. На рисунке 9, Б и В, представлены результаты моделирования разгрузки массива в окрестности выработки с использованием одной и двух компенсационных щелей, прорезанных в борта вентиляционного штрека 7009. Существенное снижение пучения почвы в участковой выработке, охраняемой целиком и погашаемой вслед за лавой, обеспечивается проведением компенсационных (разгрузочных) щелей в обе стороны от выработки на глубину 1,2 м.

Для обеспечения эксплуатационного состояния выработок в зонах влияния очистных работ по разрабатываемому и (или) сближенным пластам требуется выполнение целого ряда действий, направленных на управление состоянием массива горных пород. В работе предложена блок-схема алгоритма выбора способа управления состоянием массива вокруг участковых подготовительных выработок (Рисунок 10). Предложенный алгоритм описывает необходимую последовательность действий для эффективного управления состоянием массива горных пород при подготовке выемочных участков тремя штреками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи

обеспечения устойчивости выемочных выработок и минимальных потерь угля в целиках при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя штреками. Основные научные и практические результаты выполненных исследований:

1. Увеличение размеров выемочных участков на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» приводит к существенному изменению условий поддержания выработок по длине выемочного столба. Для условий пласта 69 шахты «Галдинская-Западная-2» на глубинах до 550 м при длине выемочных столбов до 4700 м можно выделить до 3-5 участков по длине столба, условия поддержания выработок в которых варьируются от благоприятных до крайне сложных.
2. Исследования состояния массива вокруг выработок видеосэндоскопом при отработке первого выемочного участка в разные периоды эксплуатации выработки вплоть до ее погашения необходимо выполнять с целью последующего использования для оценки устойчивости выработок в конкретных горно-геологических условиях шахты в системах мониторинга состояния выработок в режиме реального времени.
3. При переходе на подготовку выемочных участков тремя выработками, наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения устойчивости выработок является вариант с использованием целиков разной ширины с примыканием к выработанному пространству отрабатываемого столба целика меньшего размера, работающего в податливом режиме.
4. Подготовка выемочных участков тремя выработками возможна без увеличения потерь угля по сравнению с подготовкой спаренными выработками, т.е. с использованием целиков между выработками, суммарная ширина которых не превышает ширину межштрекового целика при подготовке спаренными выработками. С точки зрения поддержания выработок, изменения критерия устойчивости выработок являются незначительными, не превышают 13%.
5. При переходе на подготовку выемочных участков тремя выработками следует усилить крепление бортов выработок

анкерной крепью, поскольку возможно разрушение бортов выработок со стороны целиков с последующим нарушением устойчивости кровли.

6. Эксплуатационное состояние участков подготовительных выработок при наличии в их почве пород, склонных к пучению в зонах повышенных проявлений горного давления, обеспечивается при формировании до подхода лавы щелей в оба борта выработки, глубина и расположение которых могут быть определены с использованием метода численных исследований.
7. Обеспечение эксплуатационного состояния участков выработок может быть достигнуто с применением различных способов управления состоянием массива горных пород, однако, применяемый способ должен не только создавать условия для поддержания выработок, но и предоставлять возможность для обеспечения своевременной подготовки выемочных участков тремя штреками. Предлагаемый алгоритм обеспечения эксплуатационного состояния выработок представляет необходимую последовательность действий для эффективного управления состоянием массива горных пород.
8. Сформулированные научные положения и предложенный решения делают возможным дальнейшее развитие обеспечения устойчивости выемочных выработок и минимальных потерь угля в целиках при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя штреками. Исследование может получить продолжение при дальнейшем увеличении длины выемочных столбов и производительности очистного оборудования.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Казанин, О.И. Контроль устойчивости выемочных выработок на шахтах АО «СУЭК-КУЗБАСС» с применением видеоэндоскопов / О.И. Казанин, А.А. Ильинец // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – №2. – С. 12–17

2. Казанин, О.И. Численные исследования пучения почвы штреков при применении разгрузочных щелей на шахте «Талдинская-Западная 2» / О.И. Казанин, А.А. Сидоренко, **А.А. Ильинец**, В.Ф. Васильев // Известия Тульского государственного университета. – 2018. – №3. – С. 171–178

3. Сидоренко, А.А. Обеспечение эксплуатационного состояния участковых выработок при отработке выемочных участков с увеличенными размерами / А.А. Сидоренко, Д.В. Белова, **А.А. Ильинец** // Горный информационно-аналитический бюллетень. №5. – 2020. – 16 с.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. **Il'inets, A.A.** Computer modelling of a floor heave in coal mines / A.A. Il'inets, A.A. Sidorenko, A.G. Sirenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 1333. 032028. – 5 p.

Публикации в прочих изданиях:

5. **Ильинец, А.А.**, Моделирование применения разгрузочных щелей для борьбы с пучением почвы выработок шахты «Талдинская-Западная 2» / А.А. Ильинец, А.А. Сидоренко // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. XVII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК. – 2018. – №8 (17). – С. 62–68

6. **Ильинец, А.А.**, Оценка влияния тектонически напряженных и разгруженных зон на выемочные выработки угольных шахт // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. г. Пермь. – 2020 г. – С. 233–238

Свидетельство:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020613204. Программа для расчета смещений контура участковой подготовительной выработки при разработке свит пологих угольных пластов / А.А. Сидоренко, **А.А. Ильинец**, С.А. Сидоренко // Правообладатель: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». Заявка №2020612063. заявл. 26.02.2020. опубл. 11.03.2020. Бюл. №3. 17879 Кб

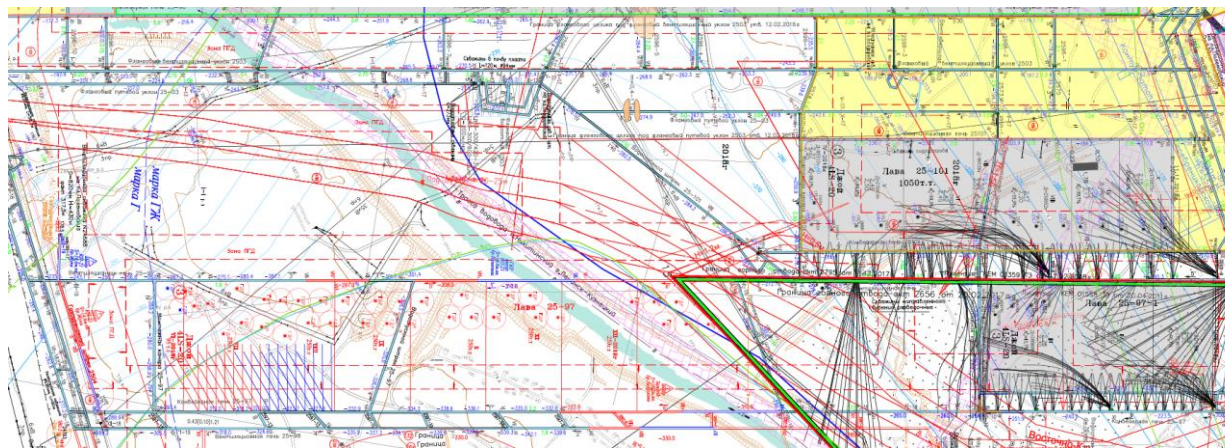


Рисунок 1 – Выкопировка из плана горных работ АО «СУЭК-Кузбасс», «С. М. Кирова»,
пласт Поленовский

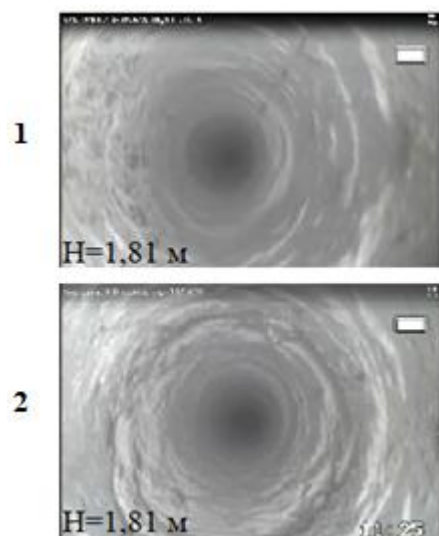


Рисунок 2 – Исследования кровли выработок видеоэндоскопом
1 – снимок шпура до начала влияния опорного давления лавы, 2 – снимок
шпура в зоне влияния опорного давления

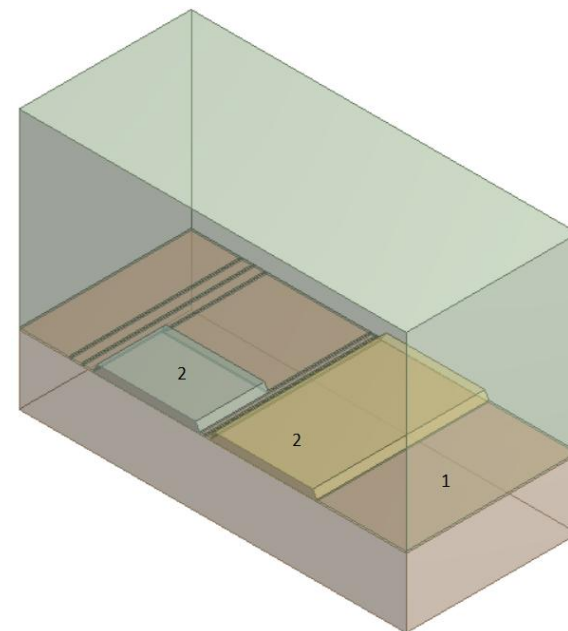


Рисунок 5 – Модель массива горных пород
1 – угольный пласт 69, 2 – выработанное пространство

Таблица 2 – Эпюры напряжений трех основных сечений

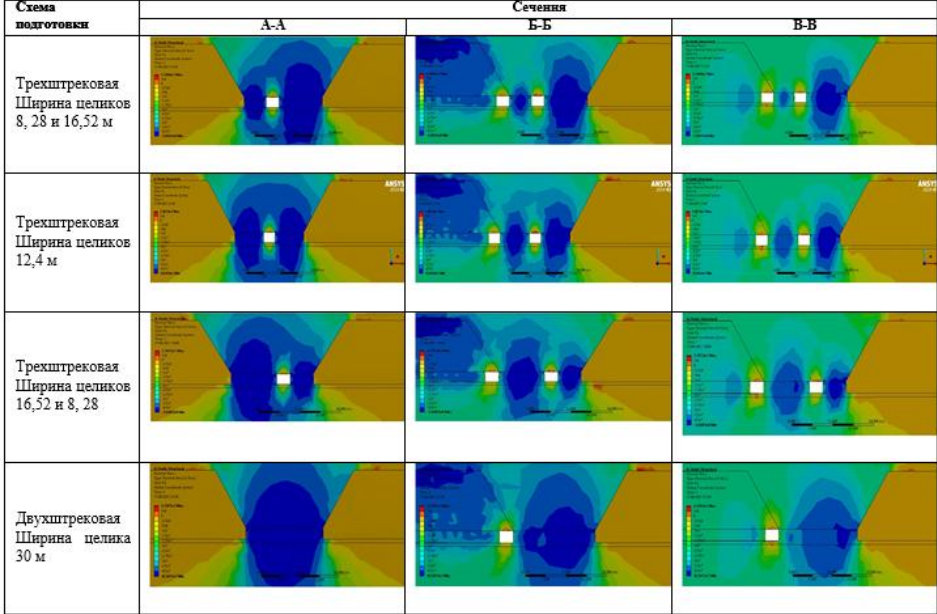


Таблица 4 – Оценка состояния устойчивости выработок

Оценка состояния устойчивости выработок	Значение критерия		Рекомендуемые мероприятия
Устойчивые	$K_{кр} < 0,5$ $K_{поч} < 0,5$		Контроль устойчивости выработок на разных этапах отработки при помощи видеоэндоскопа
Средней устойчивости	$K_{кр} > 0,5$ $K_{поч} < 0,5$	$K_{кр} < 0,5$ $K_{поч} > 0,5$	Усиление существующей крепи
Неустойчивые	$K_{кр} > 0,5$ $K_{поч} > 0,5$		Применение активных способов управления состоянием массива

Таблица 3 – Напряжения по пласту 69 при подготовке тремя штреками

Расстояние между целиками	Три штрека			Три штрека			Три штрека		
	8, 28 и 16,52 м			12,4 м			16,52 и 8, 28 м		
Напряжения	В зоне остаточного опорного давления	В зоне влияния опорного давления	Вне зоны влияния опорного давления	В зоне остаточного опорного давления	В зоне влияния опорного давления	Вне зоны влияния опорного давления	В зоне остаточного опорного давления	В зоне влияния опорного давления	Вне зоны влияния опорного давления
Напряжения в кровле, МПа	11,54	8,66	7,012	10,43	10,73	7,05	11,29	9,22	8,10
Напряжения в почве, МПа	10,76	8,77	5,91	7,23	7,65	5,14	8,84	8,9	5,42

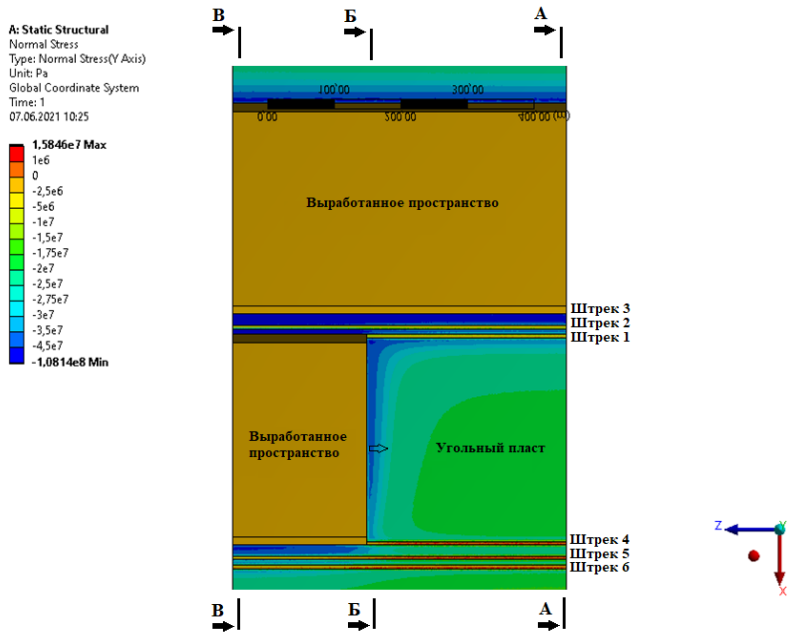


Рисунок 6 – Сечение угольного пласта 69 при подготовке тремя выработками

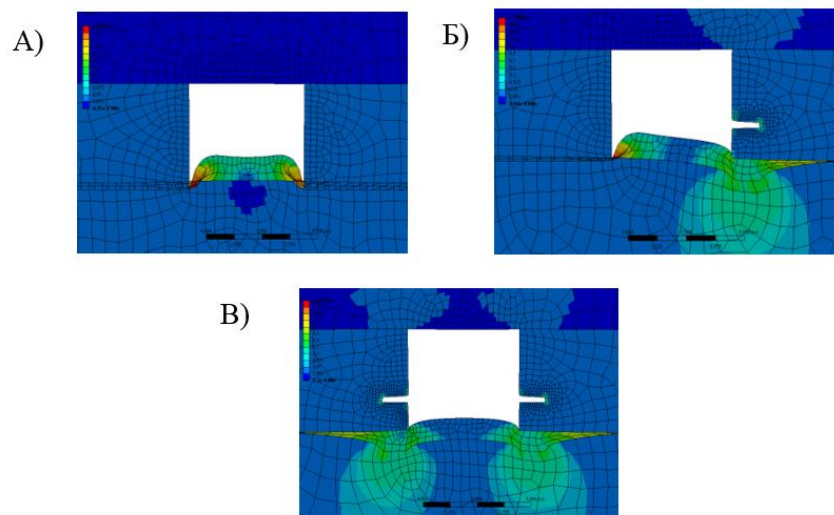


Рисунок 9 – Поля полных деформаций в окрестности вентиляционного штрека 7009: А) без мероприятий; Б) нарезка щели только со стороны целика; В) нарезка щелей с двух сторон выработки

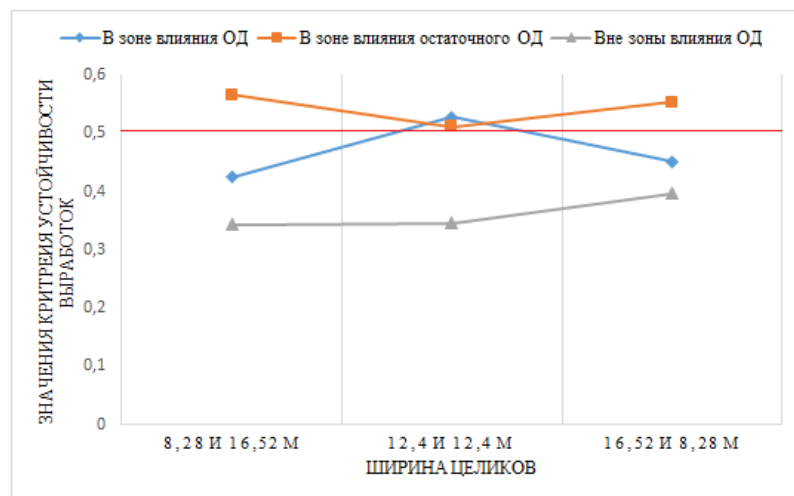


Рисунок 8 – Изменение критерия устойчивости выработок в кровле в зависимости от ширины целиков

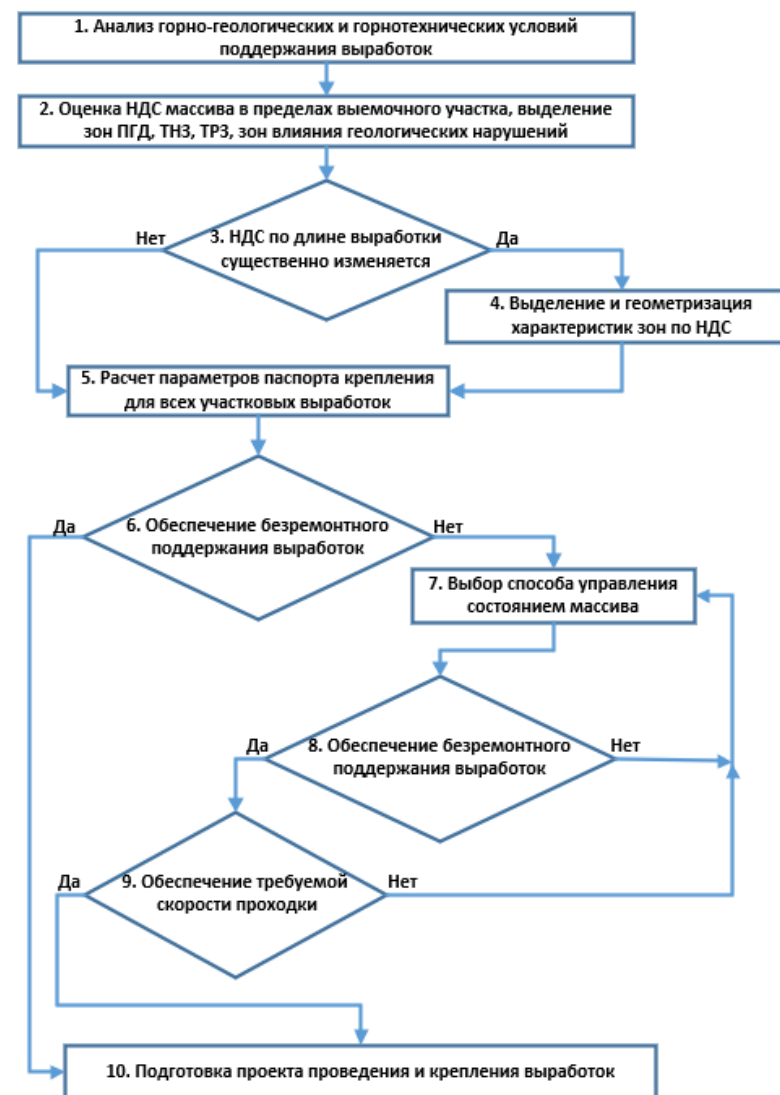


Рисунок 10 – Выбор способа управления состоянием массива