

На правах рукописи

КУЗЬМИН Сергей Владимирович



**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОХРАНЫ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ
ВЫРАБОТОК С ПОМОЩЬЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ
ПОЛОСТЕЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

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

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

Санкт-Петербург – 2017

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

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор

Розенбаум Марк Абрамович

Официальные оппоненты:

Абрамкин Николай Иванович

доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МИСиС», кафедра подземной разработки пластовых месторождений, профессор

Трофимов Андрей Викторович

кандидат технических наук, ООО «Институт Гипроникель», заведующий центром физико-механических исследований

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Защита состоится 27 апреля 2017 г. в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.06 на базе Санкт-Петербургского горного университета по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. № 1163

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

Автореферат разослан 27 февраля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



Сидоров
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При разработке угольных пластов во всех основных угольных бассейнах Российской Федерации главным для подготовительных выработок является выбор рациональной конструкции и параметров крепи, обеспечивающих их безремонтное поддержание. Как известно, критерием этого выбора является смещение контура выработки. В настоящее время в основных угольных бассейнах одной из основных проблем, чрезвычайно осложняющих ведение горных работ, является пучение почвы.

Для обеспечения удовлетворительного состояния подготовительных выработок, подверженных влиянию очистных работ, наблюдается увеличение ширины охранных целиков (30-60 м), что приводит не только к значительным эксплуатационным потерям угля, что неоправданно с экономической точки зрения, но и часто к технической нецелесообразности, связанной, прежде всего, с необеспеченностью предотвращения поднятия (пучения) пород почвы.

При залегании в почве пластов, типичных для большинства угольных бассейнов аргиллитов и алевролитов с прочностью на сжатие 30-40 МПа, во многих случаях величина пучения почвы превышает 2000-2500 мм, что приводит к необходимости их трудоемкого и дорогостоящего ремонта с поддиркой пород почвы и заменой деформированной крепи.

При пластовой подготовке, обеспечивающей высокий темп ввода в действие и высокую нагрузку очистных забоев, подготовительные выработки располагаются в зонах влияния очистных работ. Поэтому важно разработать и использовать эффективный способ борьбы с проявлением горного давления и пучением пород почвы, при котором величина пучения не превышала бы 300-450 мм.

Анализ существующих способов борьбы с пучением пород почвы, позволил определить перспективный способ охраны подготовительных выработок на мощных угольных пластах с по-

мощью компенсационных полостей, основанный на активном воздействии на напряженное-деформированное состояние массива вокруг выработок путем проведения компенсационной полости, расположенной параллельно подготовительной выработке и разделяющей целик на две неравные по ширине части (поддерживающий и охранный целик). Кроме того, проведение компенсационной полости повышает устойчивость подготовительной выработки, уменьшает эксплуатационные потери полезного ископаемого.

Вопросами поддержания горных выработок в условиях проявления пучения почвы занимались ученые: В.И. Барановский, М.И. Весков, В.М. Городничев, В.Т. Глушко, А.Г. Протосеня, В.П. Зубов, А.П. Господариков, К.А. Ардашев, М.А. Розенбаум, И.Л. Черняк, В.А. Лыткин, В.Н. Рева, В.В. Райский, Л.К. Нейман, О.И. Мельников, А.Ф. Борзых, А.Н. Худяков и др.

Однако до сих пор не ясно, как повлияют размеры и расположение компенсационной полости на напряженно-деформированное состояние угольного массива и смещения кровли в охраняемой выработке, как определить необходимые размеры охранный и поддерживающего целиков, образованных при проведении компенсационной полости, как изменится величина смещения кровли в выработке при создании компенсационной полости и как она зависит от мощности пласта.

В связи с этим разработка способа и параметров охраны подготовительных выработок целиками и компенсационными полостями при отработке мощных пологих угольных пластов является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы: разработка способа охраны подготовительных выработок целиками и компенсационными полостями при отработке мощных пологих угольных пластов.

Идея диссертационной работы: заключается в обеспечении допустимой потери площади поперечного сечения подготовительной выработкой, охраняемой с помощью целиков и компенсационных полостей.

Основные задачи исследований:

1. Выполнить анализ проявлений пучения в горных выработках шахт и опыта борьбы с ним.

2. Исследовать характер проявлений горного давления в подготовительных выработках, охраняемых с помощью целиков и компенсационных полостей, в зависимости от их размеров и местоположения относительно выработанного пространства.

3. Исследовать закономерности изменения величины смещений пород кровли в пластовых подготовительных выработках в зависимости от мощности отрабатываемого пласта, охраняемых анкерной крепью.

4. Разработать рекомендации по параметрам анкерной крепи подготовительных выработок с учетом проведения компенсационной полости при отработке мощных пологих угольных пластов.

Методы исследований: поставленные задачи решались с использованием комплекса исследований, включающего шахтные наблюдения, лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов с применением методов математической статистики и стандартных компьютерных программ; численного моделирования.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Установлена зависимость величины пучения пород почвы в подготовительной выработке на мощных угольных пластах (3,5-5 м) от расположения компенсационной полости относительно выработанного пространства.

2. Установлена зависимость величины подъема почвы подготовительной выработки от ширины компенсационной полости.

Основные защищаемые положения:

1. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок, пройденных по мощным угольным пластам (3,5-5 м), в зоне интенсивных проявлений горного давления, достигается путем проведения на расстоянии не менее ширины выработки от нее компенсационной полости, параметры которой определяются шириной охраняемой выработки и мощностью пласта.

2. Для горно-геологических условий шахты «Талдинская-Западная – 2» величина пучения почвы подготовительной выработки на мощных угольных пластах пропорциональна ширине компенсационной полости.

3. При отработке мощных пологих угольных пластов ожидаемые смещения кровли пластовых выработок вне зоны влияния очистных работ зависят от положения выработки относительно контура пласта и могут превышать критические для анкерной крепи значения.

Практическая значимость работы:

1. Разработана методика определения параметров анкерного крепления кровли горных выработок, пройденных на мощных угольных пластах, позволяющая учитывать степень влияния компенсационной полости и мощности угольного пласта на проявление горного давления в подготовительной выработке.

2. Проведение компенсационной полости шириной 5 м и высотой, равной мощности угольного пласта, позволяет сократить потери полезного ископаемого на 17% по сравнению с потерями при охране одиночным целиком шириной 30 м на мощных угольных пластах.

Реализация результатов работы. Результаты использованы на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в проектных и конструкторских организациях при проектировании горных работ, а также при составлении нормативно-методических документов, регламентирующих мероприятия по борьбе с пучением пород почвы в горных выработках.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждается значительным объемом исследований, проведенных в натурных и лабораторных условиях на моделях из эквивалентных материалов (отработано 4 модели), применением современных методов численного моделирования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на международных и российских научно-технических конференциях, симпозиумах, в том числе: на 21-й

научно-практической конференции в Ханойском горно-геологическом университете (Ханой, Вьетнам, 2014 г.); на V Международной научной – практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий» (Санкт-Петербург, 2014г.); на II Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2014 г.); на XXIII Международном научном симпозиуме «Неделя горняка – 2015» (Москва, 2015 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований; в разработке методики проведения лабораторных экспериментов, в разработке численной геомеханической модели с помощью программы *Abaqus 6.11*; в обработке материалов экспериментов и получении научных результатов; в разработке методики расчета параметров анкерной крепи для способа охраны подготовительных выработок, проводимых на мощных пластах, с помощью компенсационных полостей.

Публикации. Основные результаты исследований представлены в 12 опубликованных работах; из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в прочих изданиях 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, содержащих 15 таблиц и 98 рисунков, заключения, списка литературы из 133 источников. Общий объем работы составляет 154 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика и актуальность работы.

В первой главе проведен обзор и анализ существующих способов борьбы с пучением пород почвы, определен перспективный вариант способа охраны подготовительной выработки с помощью компенсационной полости и поставлены задачи дальнейшего исследования.

Во второй главе приведены результаты исследований, выполненных с помощью численного моделирования, расположения и размера компенсационной полости относительно выработанного пространства и подготовительной выработкой на мощных угольных пластах. Разработана численная геомеханическая модель, позволяющая определять параметры способа охраны подготовительной выработки с помощью компенсационной полости.

В третьей главе представлены результаты исследований, выполненных на моделях из эквивалентных материалов, по установлению влияния мощности угольного пласта на смещения пород кровли, подтверждающиеся натурными данными. Получен коэффициент влияния мощности угольного пласта на смещения пород кровли. Усовершенствована методика моделирования на эквивалентных материалах, основанная Г.Н. Кузнецовым, за счет применения современного оборудования, позволяющая улучшить качество изготовления моделей, производить измерения в режиме реального времени без потери данных, повысить качество полученных результатов, автоматизировать обработку полученных результатов. Произведена модернизация установки УТС-1.

В четвертой главе приведена разработанная методика расчета параметров анкерной крепи для подготовительной выработки с учетом проведения компенсационной полости и мощности угольного пласта.

В заключении отражены обобщенные выводы, полученные по результатам исследований.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, доктору технических наук, профессору заведующему лабораторией геомеханики НЦГ и ПГП М.А. Розенбауму; кандидату технических наук, доценту кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений М.А. Карасеву; кандидату технических наук, заведующему лаборатории моделирования на эквивалентных материалах НЦГ и ПГП Б.Ю. Зуеву.

Основные защищаемые положения:

1. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок, пройденных по мощным угольным пластам (3,5-5 м), в зоне интенсивных проявлений горного давления, достигается

путем проведения на расстоянии не менее ширины выработки от нее компенсационной полости, параметры которой определяются шириной охраняемой выработки и мощностью пласта.

Исследования А.Ф. Борзых, А.И. Худякова, Г.А. Аверина, показали эффективность использования способа охраны подготовительной выработки с помощью компенсационных полостей на пластах тонких и средней мощности. Но в отношении мощных пологих угольных пластов вопросы выбора расположения и параметров полостей оставались нерешенными.

Необходимые исследования по решению данных вопросов проводились с помощью численного моделирования в программе *Abaqus 6.11* для горно-геологических условий залегания пласта 70 шахты «Талдинская-Западная-2» АО «СУЭК-Кузбасс» (рисунок 1).

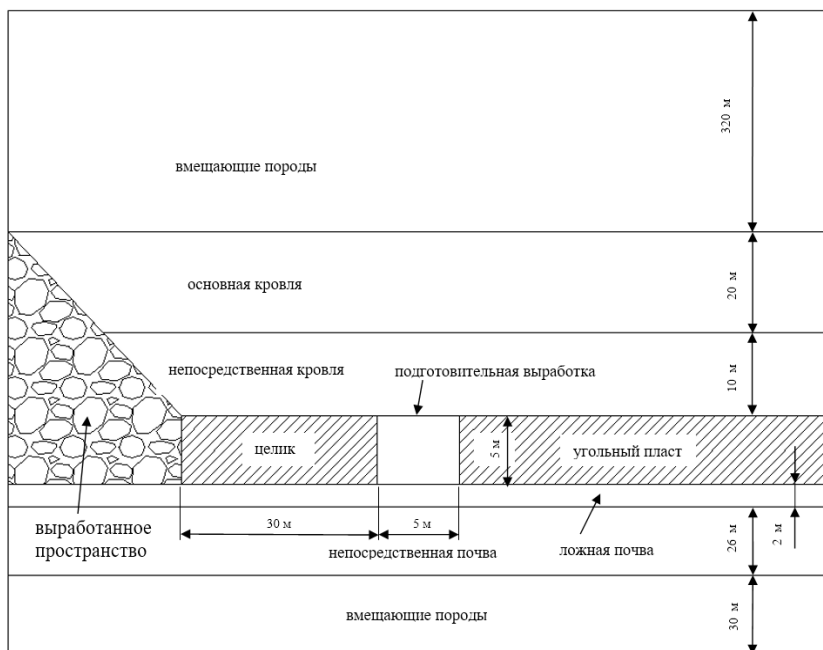


Рисунок 1 – Схема к оценке напряженно-деформированного состояния в окрестности подготовительной выработки

Схема к расчету напряженного состояния представлена на рисунке 1. Породный массив состоит из вмещающей породы, пород основной кровли, пород непосредственной кровли, угольного пласта, пород ложной почвы и пород непосредственной почвы.

Горные работы включают в себя следующие основные процессы (рисунок 2), выполняемые последовательно:

- проведение компенсационной полости;
- проведение подготовительной выработки;
- проведение очистных работ.

Размеры сечения компенсационной полости и подготовительной выработки при выполнении численного моделирования приняты одинаковыми и равными 25 м^2 .

Конечно-элементная модель на различных стадиях ведения горных работ представлена на рисунке 2. Задача решалась в плоско-деформационной постановке. Смещения по боковым границам модели запрещены в горизонтальном направлении. Смещения по нижней границе модели запрещены в вертикальном и горизонтальном направлениях.

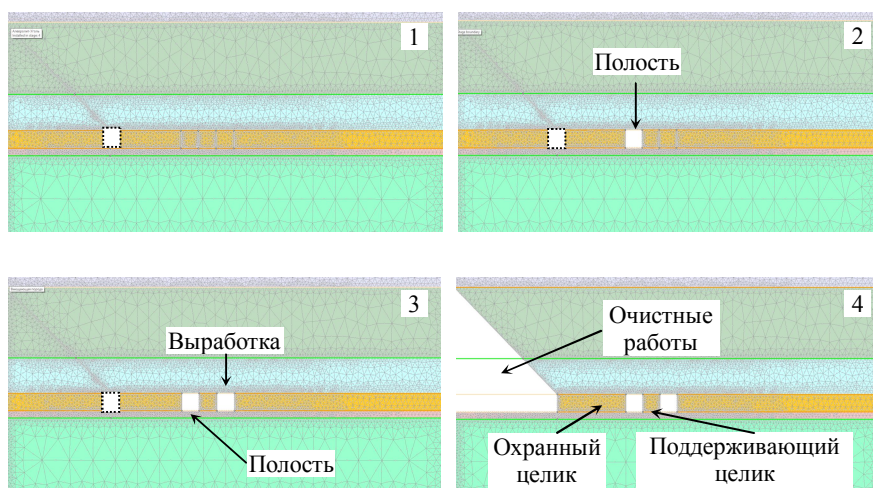


Рисунок 2 – Последовательность выполнения численного моделирования

Между слоем пород непосредственной кровли и угольным пластом, и между угольным пластом и породами ложной почвы заданы специальные контактные условия, которые позволяют моделировать проскальзывание при достижении предельной величины прочности по контакту. В качестве критерия прочности принят критерий прочности Кулона-Мора, а прочностные свойства принимались по наименьшей из величин двух контактирующих горных пород.

Численное моделирование выполнялось в две стадии. На первой стадии изучалось влияния различных факторов на процесс пучения почвы одиночной выработки. Для этого выполнялось варьирование параметров пластичности, трения между пластами горных пород, мощности пород ложной почвы и сравнивалось с данными, полученными на моделях из эквивалентных материалов. На второй стадии для заданных параметров горных пород выполнялось моделирование горных работ, при этом варьировались параметры охранного целика между подготовительной выработкой и зоной ведения очистных работ и поддерживающего целика между подготовительной выработкой и компенсационной полостью (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные варианты схем ведения горных работ

Номер расчетного варианта	Ширина целика между зоной ведения очистных работ и подготовительной выработкой, м	Ширина целика между компенсационной полостью и подготовительной выработкой, м	Расстояние от края компенсационной полости до зоны ведения очистных работ, м
1	30	5	20
2	30	10	15
3	30	15	10
4	30	20	5
5	25	5	15
6	25	10	10
7	25	15	5
8	20	5	10
9	20	10	5

На основании результатов анализа девяти расчетных вариантов следует, что расположение компенсационной полости на расстоянии 5 м от подготовительной выработки обеспечивает ее устойчивое состояние (рисунок 3). За счет проведения компенсационной полости происходит перераспределение напряжений вокруг подготовительной выработки.

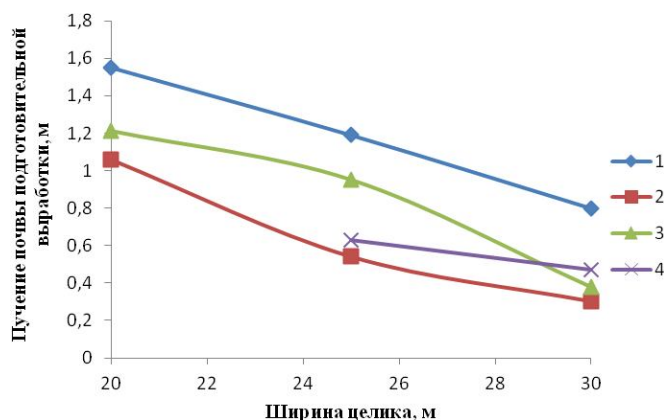


Рисунок 3 – Зависимость пучения пород почвы подготовительной выработки от размера поддерживающего целика

- 1 – без компенсационной полости; 2 – с полостью и поддерживающим целиком 5 м;
 3 – с полостью и поддерживающим целиком 10 м;
 4 – с полостью и поддерживающим целиком 15 м

Влияние компенсационной полости, расположенной вблизи подготовительной выработки, заключается в том, что она воспринимает на себя значительную часть проявлений горного давления, в частности, выдавливание пород, которое в противном случае происходило бы в охраняемой выработке.

2. Для горно-геологических условий шахты «Талдинская-Западная – 2» величина пучения почвы подготовительной выработки на мощных угольных пластах пропорциональна ширине компенсационной полости.

С целью определения геометрических параметров компенсационной полости, влияющих на величину поднятия почвы подготовительной выработки, выполнено численное моделирование для горно-геологических условий шахты «Талдинская-Западная – 2». За основу принята расчетная схема №1 (см. таблицу 1), ширина компенсационной полости увеличивалась с 2 до 5 м (рисунок 4), высота оставалась неизменной и составляла 5 м. Ширина и высота подготовительной выработки 5 м.

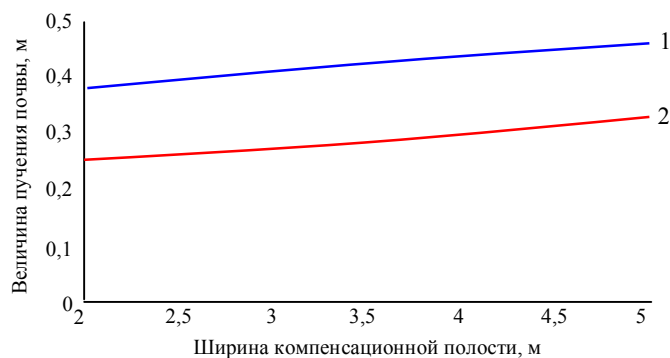


Рисунок 4 – Зависимость подъема почвы выработки от ширины компенсационной полости

1 – компенсационная полость, 2 – подготовительная выработка

Таким образом, увеличение ширины компенсационной полости приводит к пропорциональному увеличению пучения пород почвы подготовительной выработки.

3. При отработке мощных пологих угольных пластов ожидаемые смещения кровли пластовых выработок вне зоны влияния очистных работ зависят от положения выработки относительно контура пласта и могут превышать критические для анкерной крепи значения.

Выбор рациональных параметров крепи для кровли горных выработок производится на основании определения ожидаемых величин смещений пород, обусловленных влиянием ряда геологиче-

ских факторов и горнотехнических факторов на основании «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». В «Инструкции...» представлена номограмма типовых смещений кровли в зависимости от прочности пород, глубины залегания пласта, при ширине выработки 5 м и мощности пласта 2 м.

Из номограммы следует, что при определении ожидаемых смещений пород кровли в горной выработке не учитывается влияние мощности разрабатываемого пласта.

На основе моделирования на эквивалентных материалах (рисунок 5) и натурных измерений получены данные о смещениях контура кровли горной выработки в зависимости от вынимаемой мощности пласта. Исследования проводились для горно-геологических условий залегания пласта 9 шахты «Распадская». Глубина расположения выработки 350 м, высота 3 м, ширина 5 м. Было отработано 4 модели с мощностью угольного пласта 2 м, 3 м, 4 м, 5 м, соответственно (рисунок 6-9). Масштаб моделирования 1:50. В ходе исследований установлено, что величина смещения кровли выработки пропорциональна величине вынимаемой мощности угольного пласта (рисунок 10).

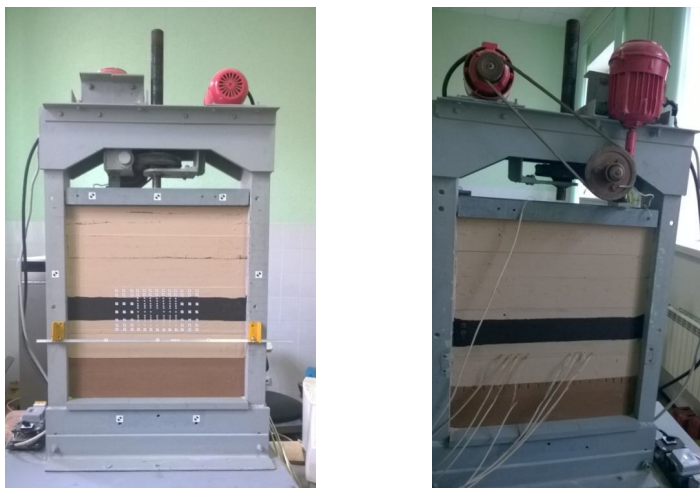


Рисунок 5 – Внешний вид модели перед испытанием

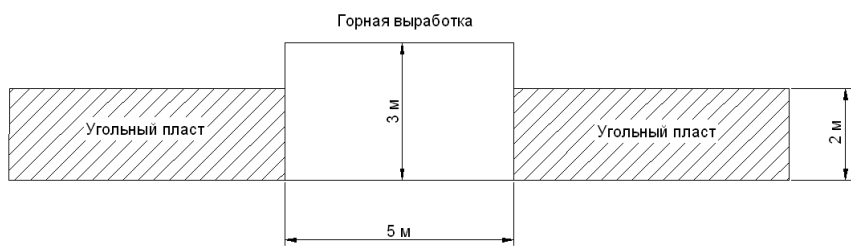


Рисунок 6 – Расположение горной выработки при мощности угольного пласта 2 м

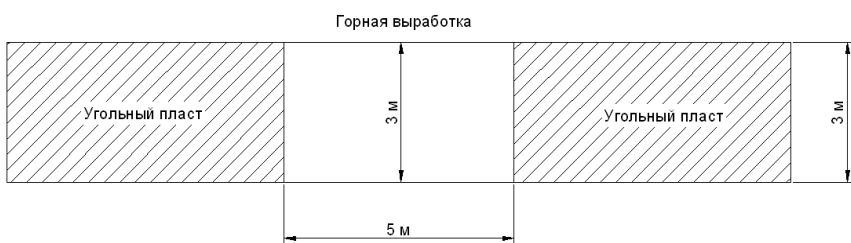


Рисунок 7 – Расположение горной выработки при мощности угольного пласта 3 м

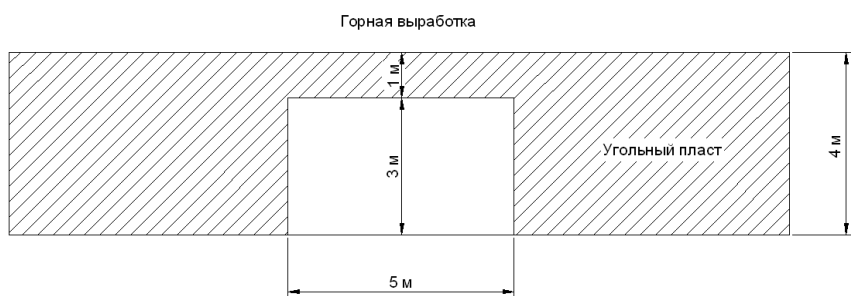


Рисунок 8 – Расположение горной выработки при мощности угольного пласта 4 м

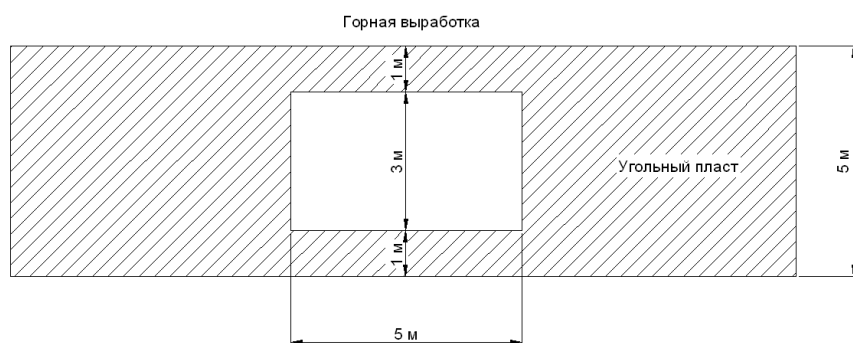


Рисунок 9 – Расположение горной выработки при мощности угольного пласта 5 м

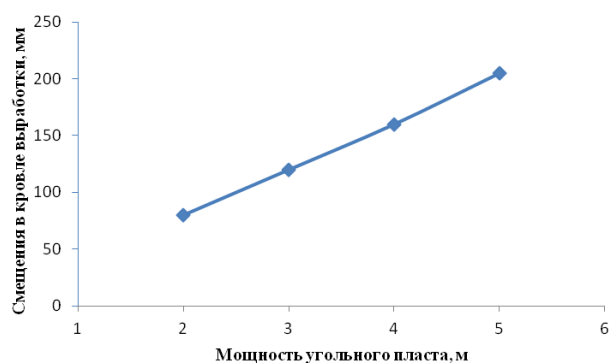


Рисунок 10 – Зависимость смещений контура кровли выработки от мощности угольного пласта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертационной работе предложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для повышения устойчивости подготовительных выработок угольных шахт Российской Федерации. В работе содержатся новые решения актуальной задачи по борьбе с пучением пород почвы в горных выработках.

Основные научные и практические результаты, полученные автором, заключаются в следующем:

1. Влияние компенсационной полости расположенной вблизи подготовительной выработки заключается в том, что она воспринимает на себя значительную часть проявлений горного давления, в частности, выдавливание пород, которое в противном случае происходило бы в охраняемой выработке. Выдавливание пород почвы подготовительной выработки вызвано процессами образования вокруг выработок зоны неупругих деформаций.

2. Проведение компенсационной полости позволило сократить потери полезного ископаемого на 17% по сравнению со способом охраны одинарным целиком шириной 30 м на мощных угольных пластах.

3. Разработана численная геомеханическая модель, позволяющая определять размеры охранного и поддерживающего целиков для способа охраны подготовительной выработки с помощью компенсационной полости. Установлено, что для горно-геологических условий залегания пласта 70 шахты «Талдинская-Западная-2» ширина поддерживающего целика составит 5 м, охранного – 20 м.

4. Установлен механизм перераспределения напряжений с помощью компенсационных полостей при различных расстояниях между выработками в охранном и поддерживающем целиках при отработке мощных пологих угольных пластов.

5. Установлена зависимость пучения почвы подготовительной выработки от расстояния между компенсационной полостью и подготовительной выработкой. Компенсационная полость воспринимает на себя часть проявления горного давления.

6. Усовершенствована методика моделирования на эквивалентных материалах, основанная Г.Н. Кузнецовым, за счет применения современного оборудования, позволяющая улучшить качество изготовления моделей, производить измерения в режиме реального времени без потери данных, повысить качество полученных результатов, автоматизировать обработку полученных результатов. Произведена модернизация установки УТС-1.

7. Установлено, что при ширине выработки 5 м и высоте 3 м, для мощных угольных пластов в момент проведения выработки для данных горно-геологических условий смещения на контуре выработки составили: на пласте мощностью 4 м – в кровле 4,5 мм, в почве 4,5 мм, на пласте мощностью 5 м – в кровле 6,5 мм, в почве 7 мм, что в 1,7 раза больше по сравнению с пластами средней мощности. Получена зависимость смещений пород кровли выработки от мощности угольного пласта на основании моделирования на эквивалентных материалах и натурных данных.

8. Разработана методика расчета параметров анкерной крепи подготовительной выработки с учетом влияния мощного угольного пласта и проведения компенсационной полости для горно-геологических условий залегания пласта 70 шахты «Талдинская-Западная-2» АО «СУЭК-Кузбасс».

Основные публикации по теме диссертации:

1. Кузьмин С.В. Механизм развития пучения пород почвы и способы борьбы с ним / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер, С.А. Мешков // Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня (научно-технический журнал) Mining Information and analytical bulletin (Scientific and technical journal). – 2014. – № ОВЗ. – С.120-125.

2. Кузьмин С.В. Поиск перспективных способов борьбы с пучением пород почвы в горных выработках шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер // Маркшейдерский вестник. – 2014. – № 3. С.39-43.

3. Кузьмин С.В. К вопросу об охране подготовительных выработок с помощью компенсационных полостей / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 3. – С.62-66.

4. Кузьмин С.В. Способ борьбы с пучением пород почвы в горных выработках с помощью разгрузочной полости / Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 5. – С.53-56.

5. Бадтиев Б.П. Исследования на моделях из эквивалентных материалов эффективности способов борьбы с пучением путем изменения формы поперечного сечения выработок // Б.П. Бадтиев, И.А. Сальвассер, С.В. Кузьмин // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 4. – С.51-55.

6. Кузьмин С.В. Исследование характера проявлений горного давления в подготовительных выработках, охраняемых с помощью целиков и компенсационных полостей: Отдельная статья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 5 (специальный выпуск 17) – 8 с. – М.: Изд-во «Горная книга».

7. Розенбаум М.А. Расчет параметров крепи подготовительных выработок под наносами в зоне выветрелых пород на глубине менее 100 м / М.А. Розенбаум, Ю.П. Коренной, С.В. Кузьмин // Горный Информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining Information and analytical bulletin (Scientific and technical journal). – 2015. – №7. – С.45-53.

В прочих изданиях:

8. Ардашев К.А., Розенбаум М.А., Кузьмин С.В. Сборник научных трудов ВНИМИ / Теоретические аспекты проблемы пучения в горных выработках угольных шахт. Отв. ред. Д.В.Яковлев. – СПб. – 2012. – С. 246 – 253.

9. Патент на изобретение №2521096 РФ. Способ охраны подготовительных выработок / М.А. Розенбаум, С.В. Кузьмин – 2014. Бюл. № 18. – 7 с.

10. Розенбаум М.А. Перспективные способы борьбы с пучением пород почвы в горных выработках шахт ОАО «СУЭК-

Кузбасс» / М.А. Розенбаум, С.В. Кузьмин, С.А. Антонюк, До Куанг Туан // Сборник 21-й научной конференции. Ханойский горно-геологический университе. Вьетнам. – 2014. – № 10 – С. 230-235.

11. Моделирование геомеханических процессов на моделях из эквивалентных материалов / М.А. Розенбаум, С.В. Кузьмин, С.А. Антонюк, До Куанг Туан // Журнал горной промышленности. – Вьетнам. – 2015. – № 1. – С.53-56.

12. Розенбаум М.А. Новые возможности исследования геомеханических процессов на моделях из эквивалентных материалов / М.А. Розенбаум, С.В. Кузьмин, С.А. Антонюк // Майнинг Репорт Глюкауф. – 2014. – декабрь, № 4. – С.31-33.