



ЗОРКОВ ДАНИЛ ВИКТОРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОГО
ВЪЕЗДА ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА В
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННУЮ ДЕМОНТАЖНУЮ
ВЫРАБОТКУ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Строительства подземных сооружений, шахт и разработки месторождений полезных ископаемых» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научный руководитель

Ренёв Алексей Агафангелович,
доктор технических наук, профессор кафедры СПСШ и РМПИ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», профессор

Официальные оппоненты

Фрянов Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехнологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Позолотин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, директор по работе с регионами ООО "РАНК 2"

Ведущая организация

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита диссертации состоится « 21 » июня 2016 г. в 13.00 ч. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс (384-2) 58-33-80, e-mail: rector@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте организации по адресу <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан « »

2016 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Иванов В. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В России объём добычи угля подземным способом ежегодно растёт и приближается к отметке 105,3 млн. т в год. Порядка 90 % угля, добываемого подземным способом, приходится на системы разработки длинными столбами по простиранию или падению. Преимущество этих систем заключается в возможности использования комплексно-механизированных забоев. Эффективное использование комплексно-механизированного забоя зависит от многих факторов, в частности, от продолжительности монтажно-демонтажных и наладочных работ. Ежегодно в России выполняется около полусотни монтажей и почти столько же демонтажей оборудования очистных механизированных комплексов. Перемонтаж механизированного комплекса из одного выемочного столба в другой происходит примерно один раз в год. Продолжительность демонтажных работ составляет от двух недель до полутора месяцев.

Для России, по состоянию на 2015 г., среднесуточная нагрузка на комплексно-механизированный очистной забой составляет 4267 т/сут., а для крупных угольных компаний, таких как ОАО «СУЭК-Кузбасс», достигает 8895 т/сут. Остановка очистного забоя только на одни сутки влечет за собой убытки порядка 4–8 млн. рублей. Кроме того, работы по демонтажу механизированных комплексов и другого технологического оборудования лав на действующих шахтах отличаются значительной сложностью, трудоемкостью и стоимостью что, само по себе, повышает затраты на подготовку и оснащение комплексно-механизированных очистных забоев. Поэтому, для снижения стоимости демонтажных работ и более эффективного использования механизированных комплексов, необходим научно обоснованный механизм ускорения этих работ, поскольку, сокращение продолжительности последних увеличивает время производительной работы механизированных комплексов.

Мировыми тенденциями на пути увеличения эффективности очистных работ являются два направления. Первое нацелено на увеличение длины и ширины выемочного столба и снижения, тем самым, количества монтажно-демонтажных работ. Второе направление нацелено на применение различных методов и технологий для сокращения времени монтажно-демонтажных работ. Согласно мировому опыту одним из наиболее эффективных методов снижения времени монтажно-демонтажных работ является метод с использованием предварительно пройденной демонтажной выработки. Однако, как показывает опыт применения этого метода, около 25 % въездов очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку были аварийными.

В связи с этим назрела необходимость исследования условий ведения очистных работ с целью выявления причин аварий при использовании этого метода демонтажных работ. На основе исследования физико-механических характеристик

угля и вмещающих пород, геомеханических процессов в окрестностях демонтажной выработки при въезде в неё очистного механизированного комплекса, разработать рекомендации и предложения по проведению демонтажной выработки, схеме крепления и технологическим параметрам въезда.

Цель работы – разработка и обоснование технологических параметров въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку, обеспечивающих безопасность демонтажных работ.

Основная идея работы состоит в использовании закономерностей перераспределения напряжённо-деформированного состояния массива при движении очистного механизированного комплекса на передовую выработку для обоснования технологических параметров въезда.

Задачи исследования:

- установить причины и механизмы обрушения кровли в передовой демонтажной выработке при въезде в неё очистного механизированного комплекса;
- установить закономерности перераспределения напряженно-деформированного состояния углепородного массива при въезде очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку;
- обосновать технологические параметры безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

Методы исследования. Используется комплекс методов, включающий в себя:

- анализ и обобщение литературных данных по рассматриваемой проблеме;
- натурные эксперименты;
- математическое моделирование;
- статистическую обработку результатов экспериментального исследования.

Объект исследования:

- область углепородного массива выемочного столба в зоне въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

Научные положения, защищаемые автором:

- аварийные въезды очистного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку локализованы в двух диапазонах глубин: от 50 до 300 м и свыше 600 м, причём, в первом диапазоне аварии происходят только в условиях трудноуправляемой кровли, а во втором – в условиях среднеуправляемой и трудноуправляемой кровли;
- зона активного влияния очистного забоя на передовую демонтажную выработку начинается с расстояния, равного $0,9L_{од}$ от ширины зоны опорного давления впереди очистного забоя $L_{од}$, а степень влияния выражается степенной зависимостью и достигает максимальных значений при критическом размере

ограждающего целика, равном полусумме расстояний до максимумов опорного давления от очистного забоя и демонтажной выработки;

– разработанные технологические параметры безаварийного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку базируются на комплексе мер по управлению устойчивостью ограждающего целика и кровли демонтажной выработки с использованием анкерной и стационарной крепи.

Научная новизна работы заключается:

– в установлении чередующихся зон аварийных и безаварийных въездов очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку по глубине ведения горных работ при различных типах кровли;

– в установлении закономерностей напряженно-деформированного состояния углепородного массива при въезде очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку, учитывающих механизм обрушения кровли, потерю несущей способности ограждающего целика, ширину демонтажной выработки, конфигурацию стационарной крепи, скорость движения очистного забоя;

– в разработке параметров безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

Достоверность научных результатов обеспечивается представительным объемом натурных, лабораторных и аналитических исследований, сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

Личный вклад автора заключается в:

– обобщении и анализе отечественного и зарубежного опыта применения технологии въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную выработку;

– анализе причин и механизмов обрушения кровли в передовой демонтажной выработке;

– проведении натурных и лабораторных экспериментов;

– оценке результатов исследований;

– разработке математической модели для установления технологических параметров въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

Научное значение работы состоит в разработке и обосновании параметров безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в комплексном подходе к решению проблемы въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку, включающем анализ

механизмов обрушения кровли при въезде, разработку алгоритма принятия решения о способе крепления демонтажной выработки, принципиальной применимости метода демонтажа с использованием предварительно пройденной демонтажной выработки, и разработку параметров безопасного въезда.

Практическая ценность работы заключается в том, что результаты выполненных исследований позволяют рассчитать технологические параметры въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку и обеспечить его безаварийность.

Реализация работы. Положения, разработанные в диссертации, были реализованы в «Методических рекомендациях по выбору технологических параметров въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку», Кемерово, 2016 г.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-практической конференции «Экспо-Уголь», Кемерово, 2007г., на VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах», Кемерово, 2007 г., на межрегиональной научно-практической конференции «Системный подход к созданию высокоэффективных угледобывающих предприятий с использованием наукоемких технологий», Киселевск, 2008 г., на Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды», Новосибирск, ИГД СО РАН, 2009 г., на межрегиональной научно-практической конференции «Первые Чинакаловские чтения», Кемерово, ИГД СО РАН, 2011 г., на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка», Москва, МИСиС 2015 г., на Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, докторантов и преподавателей «Россия Молодая», Кемерово, КузГТУ 2008-2015 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложена на 149 страницах машинописного текста и содержит 65 рисунков, 12 таблиц, список литературы из 107 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе описывается состояние изученности вопроса, а именно, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт проведения демонтажных работ при ремонте очистного механизированного комплекса из отработанного столба в подготовленный выемочный столб, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Проблема с определением технологических параметров демонтажа очистного механизированного комплекса появилась в 60-х годах 20 века с момента массового внедрения очистных механизированных комплексов в угольной промышленности.

Большой вклад в решении геомеханических задач внесли следующие крупные ученые: С. Г. Авершин, Г. И. Баренблат, Б. И. Бокий, А. А. Борисов, А. Н. Динник, П. В. Егоров, Э. В. Каспарьян, Г. Н. Кузнецов, А. Лабасс, С. Г. Лехницкий, И. М. Петухов, А. С. Позолотин, М. М. Протодьяконов, А. А. Ренев, К. В. Руппенейт, Г. Н. Савин, В. Д. Слесарев, Г. Л. Фисенко, В. Н. Фрянов, П. М. Цимбаревич, Л. Д. Шевяков, Е. И. Шемякин, Г. Г. Штумпф, О. Якоби и др. За рубежом значительный вклад внесли: Bauer E., Frith D., Hendon G., Klenowski G., Listak J. M., Mark C., Morsy K. M., Oyler D., Peng S. S., Tadolini S. C., Wynne T.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта показало, что на шахтах существуют три метода формирования демонтажной выработки:

– метод формирования демонтажной камеры при помощи очистного комбайна и выкладыванием (заведением) над секциями крепи металлической сетки или деревянного бруса (рис. 1);

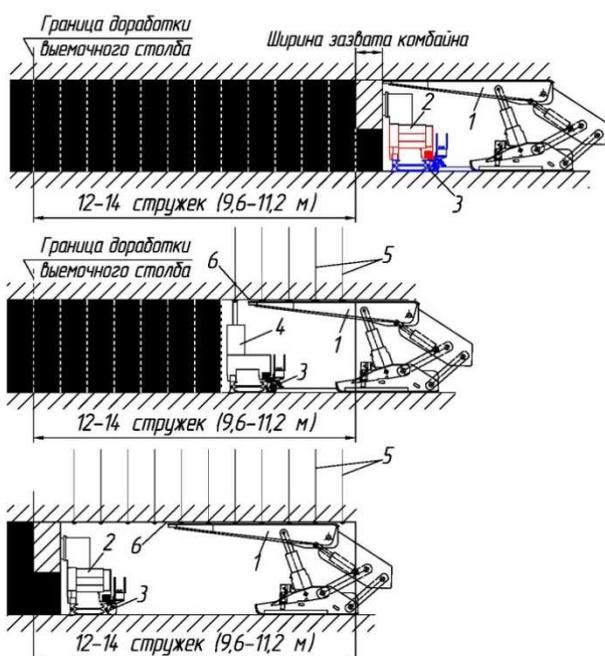


Рис. 1 Схема формирования демонтажной камеры при помощи очистного комбайна и выкладыванием над секциями крепи металлической сетки или деревянного бруса:
1 – секции механизированной крепи;
2 – очистной комбайн; 3 – лавный привод;
4 – буровой станок; 5 – анкера; 6 – металлическая решётка, сетка или деревянный брус

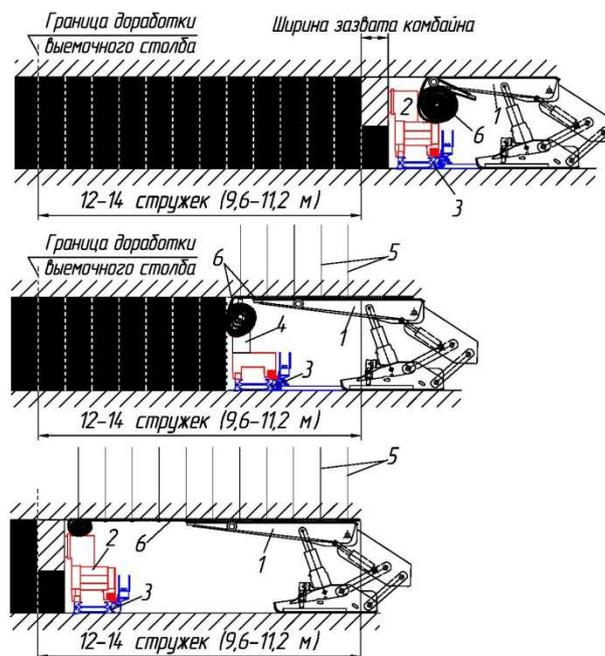


Рис. 2 Схема формирования демонтажной камеры при помощи очистного комбайна и выкладыванием (заведением) над секциями крепи геотекстильного материала: 1 – секции механизированной крепи; 2 – очистной комбайн; 3 – лавный привод; 4 – буровой станок; 5 – анкера; 6 – геотекстильный материал

– метод формирования демонтажной камеры при помощи очистного комбайна и выкладыванием (заведением) над секциями крепи геотекстильного материала (рис. 2);

– метод демонтажа с использованием предварительно подготовленной демонтажной выработки (рис. 3).

При использовании последнего метода выработка проходится и крепится заранее таким образом, чтобы необходимое количество стационарной и анкерной крепи могло быть установлено до приближения очистного забоя. Основным преимуществом данного метода является то, что крепь устанавливается в обычных горных условиях под защитой временной крепи. Временная крепь минимизирует риск нахождения шахтёров в опасной зоне. Предварительно подготовленная демонтажная выработка также позволяет установить и усилить крепь до появления влияния на неё опережающего опорного давления от движущегося очистного забоя. В отличие от методов демонтажа очистного оборудования (рис. 1, 2), в данном случае, на предварительно подготовленную выработку не действует опережающее опорное давление очистного забоя, что существенно увеличивает безопасность работ, качество установленной крепи и интенсивность добычи угля очистным забоем перед демонтажными работами.

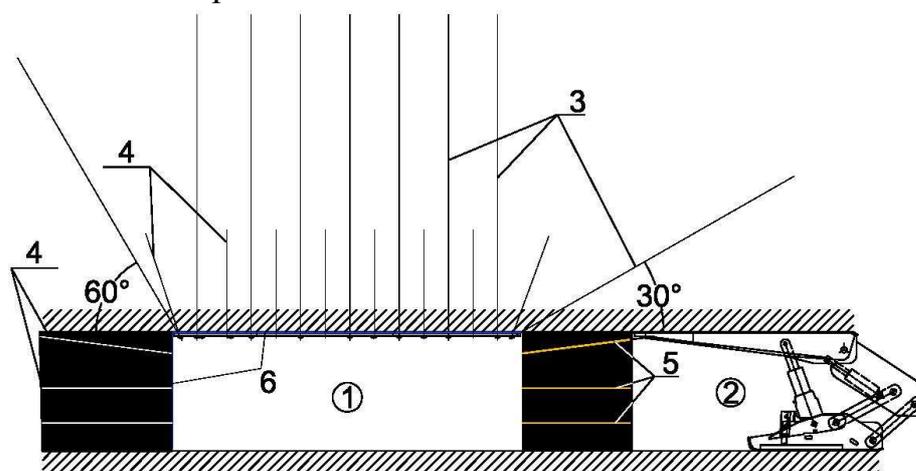


Рис. 3 Схема демонтажа с использованием предварительно подготовленной демонтажной выработки: 1 – демонтажная выработка; 2 – очистной забой; 3 – канатный анкер; 4 – сталеполимерные анкера; 5 – деревянные анкера; 6 – металлическая решётка или сетка

Из опыта использования метода демонтажа с предварительно подготовленной демонтажной выработкой выявлено два типа обрушения кровли:

- обрушение кровли по первому типу связано с обрушением непосредственной кровли перед механизированными крепями (рис. 4);
- обрушение кровли по второму типу связано со значительными нагрузками на крепи от основной кровли, совместно с разрушением и конвергенцией непосредственной кровли (рис. 5).

Исходя из изученных материалов и анализа литературы по данной теме исследования, были сформулированы цель и поставлены задачи, которые приведены в общей характеристике работы.

Во второй главе проведён анализ механизмов обрушения кровли при въезде очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

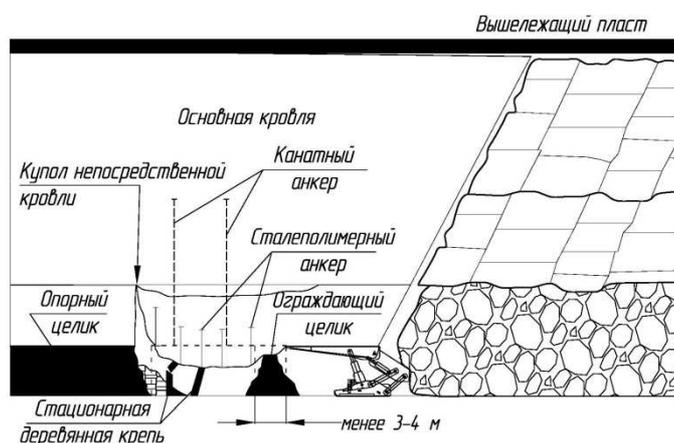


Рис. 4 Типичное физическое поведение предварительно пройденной демонтажной выработки при обрушении непосредственной кровли

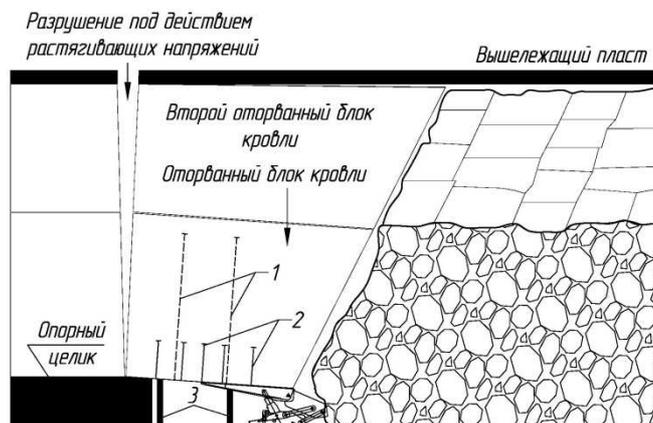


Рис. 5 Концептуальная модель обрушения под нагрузкой от основной кровли: 1 – канатные анкера; 2 – сталеполимерные анкера; 3 – стационарная крепь (деревянные руд стойки)

Обрушения кровли по первому типу (рис. 4) при приближении очистного забоя к предварительно пройденной выработке возникли в двух ситуациях. При первой ситуации обрушения развивались на незакреплённом участке кровли между козырьками крепей и остатками целика (частью выемочного столба между крепями и выработкой). При этом типе обрушения было установлено недостаточное вторичное крепление для предотвращения обрушения кровли. При второй ситуации обрушения кровли развивались в демонтажной выработке. Это происходило по причине высокого давления, деформации вмещающих пород, большого зазора между козырьками крепей и внешним опорным целиком после выемки внутреннего ограждающего целика. В этой ситуации значительная часть кровли вовлекалась в обрушение.

Обрушения при нагрузке (второй тип (рис. 5)), приводящие к наиболее серьезной ситуации с кровлей, возникали из-за движений основной кровли. Этот тип обрушений сопровождался значительной конвергенцией в демонтажной выработке и в забое, когда крепи были нагружены вплоть до деформации, часто до посадки «нажестко». Развитие нового купола на краю опорного целика приводило к потере консольной части перекрытия непосредственной кровли как опорного элемента. В случаях, когда возникало обрушение под нагрузкой, ускоренные темпы конвергенции приводили к обрушению, возникающему в тот момент, когда ширина ограждающих целиков была 3 м или менее. До тех пор оставшийся целик обеспечивал достаточную опору для основной кровли.

Основываясь на зарубежных источниках и данных, собранных в условиях шахт Кузбасса, произведён анализ различных описательных характеристик по всем случаям въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку. Целью было определить, какие характеристики связаны с аварийными случаями. Для анализа использовались технологии статистики, включая корреляцию Пирсона и логистическую регрессию.

Длина демонтажной выработки. Можно предполагать, что нагрузки от вышележащих пород будут более часто проявляться в более длинных выработках. Однако по собранным данным такой корреляции не обнаружено (рис. 6). Два значительных обрушения под нагрузкой произошли, когда длина забоя составляла менее 110 м.

Несущая способность (сопротивление) механизированной крепи. Были обнаружены некоторые корреляции между обрушениями кровли (тип 1) и несущей способностью механизированных крепей, но более мощные крепи, очевидно, не смогли предотвратить обрушения под нагрузкой (тип 2) (рис.7).

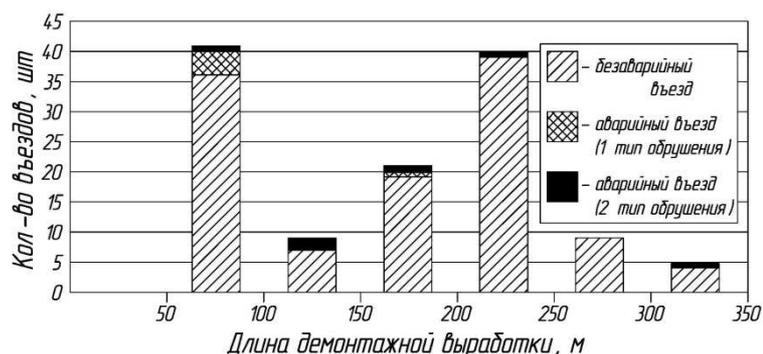


Рис. 6 Гистограмма связи длины демонтажной выработки с результатами въезда

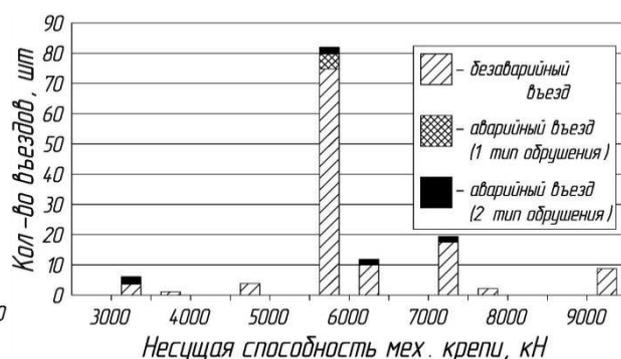


Рис. 7 Гистограмма связи несущей способности секций механизированной крепи с результатами въезда

Усиление кровли. Усиление кровли включает в себя все внутренние элементы крепления, такие как анкера в кровле, канатные анкера и затяжка. Была получена количественная оценка путём определения несущей способности каждого элемента на единицу площади закрепленной кровли элементом и умножения на длину элемента закрепления (анкера). Этот индекс плотности усиления измеряется в кН/м. При использовании нескольких типов крепления индекс для каждого крепления суммировался. Надежное усиление кровли было эффективным при снижении частоты проявлений обрушений кровли (тип 1). Однако также установлено, что усиление кровли не было эффективным при предотвращении обрушений под нагрузкой (тип 2) (рис. 8).

Стационарная крепь. Отличительной чертой обрушений под нагрузкой (тип 2) являлось недостаточное количество стационарной крепи (рис. 9). Аварии происходили на двух шахтах после значительного обрушения под нагрузкой основной кровли в выработке без стационарной крепи, последующее использование демонтажных выработок с применением стационарной крепи было успешным. Эти два случая показывают, что стационарная крепь может менять ситуацию с аварийной на безаварийную. О важности стационарной крепи также говорит предполагаемый механизм обрушения по второму типу. В тех случаях, когда плотность стационарной крепи была выше 0,5 МПа, ситуаций с обрушением под нагрузкой не наблюдалось.

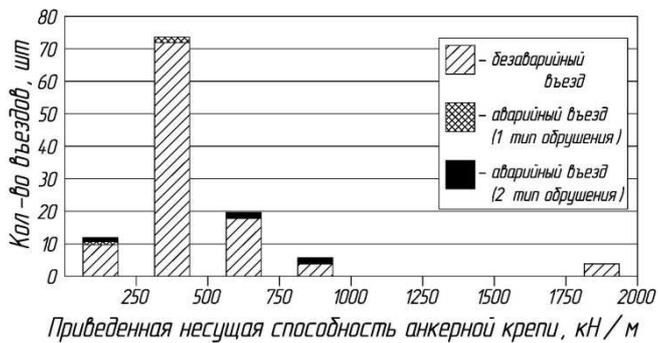


Рис. 8 Гистограмма связи индекса плотности усиления кровли с результатами въезда

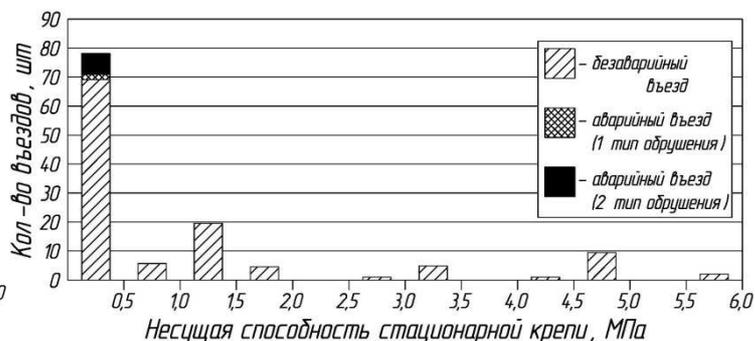


Рис. 9 Гистограмма связи несущей способности стационарных крепей с результатами въезда

Непосредственная кровля. Геология кровли для зарубежных шахт была оценена с использованием рейтинга кровли угольных шахт (CMRR), а для шахт Кузбасса единой отраслевой классификацией типа кровли (индекс типа кровли).

Была обнаружена корреляция между классами кровли и обрушениями по первому и второму типу. Во всех случаях обрушений кровля принадлежала к типу трудноуправляемых (рис. 10).

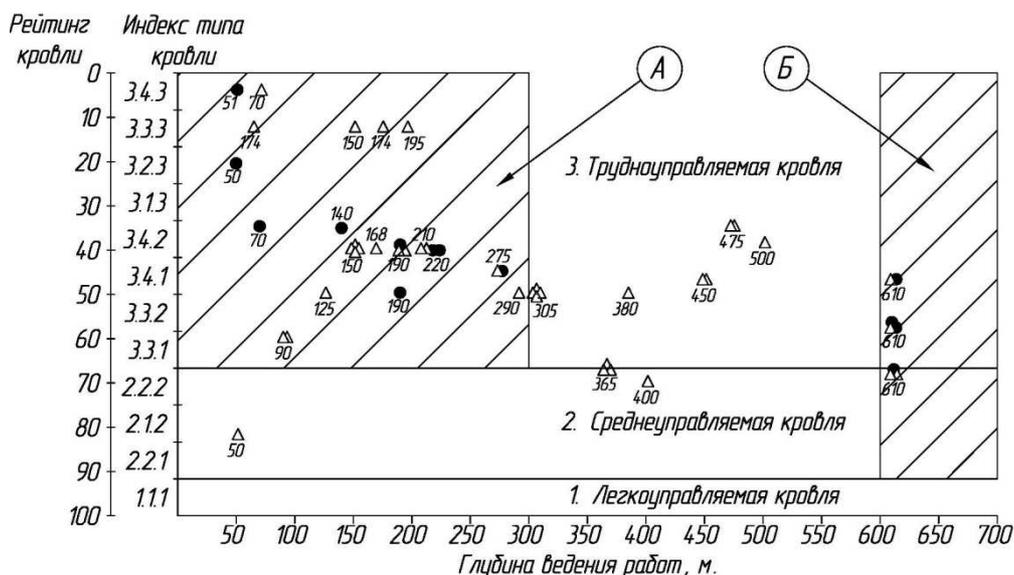


Рис. 10 Распределение въездов в демонтажную выработку в зависимости от глубины и индекса типа кровли (рейтинга кровли):

● – аварийный въезд; △ – безаварийный въезд

Были выделены две области, в которых происходило максимальное количество аварийных въездов. Первая область (А) характерна для глубин до 300 м и в зонах с трудноуправляемой кровлей, 42,1 % аварийных въездов от общего числа. Вторая (Б) для глубин свыше 600 м и двумя типами кровли трудноуправляемой и среднеуправляемой, 50 % аварийных въездов от общего числа.

В третьей главе приведено натурное исследование геомеханических процессов в окрестностях передовой (демонтажной) выработки при пересечении фронтом очистного забоя. На шахте Распадская были проведены исследования для определения следующих геомеханических параметров:

– протяженность зоны влияния впереди очистной выработки в условиях выемочного столба 5а-10-18;

– величина конвергенции (кровля – почва) в диагональной разрезной печи выемочного столба 5а-10-18.

Объектом исследования выступила промежуточная разрезная печь (диагональная печь) выемочного столба 5а-10-18, на пласте №10 шахты Распадская (рис. 11). Промежуточная разрезная печь является единственной выработкой, практически идеально подходящей для моделирования въезда и мониторинга геомеханических процессов. Длина выработки, сечение выработки, угол примыкания к штрекам и параметры крепления и т. д., с некоторой степенью допущения могут быть сопоставимыми с аналогичными параметрами предварительно подготовленной демонтажной выработки.

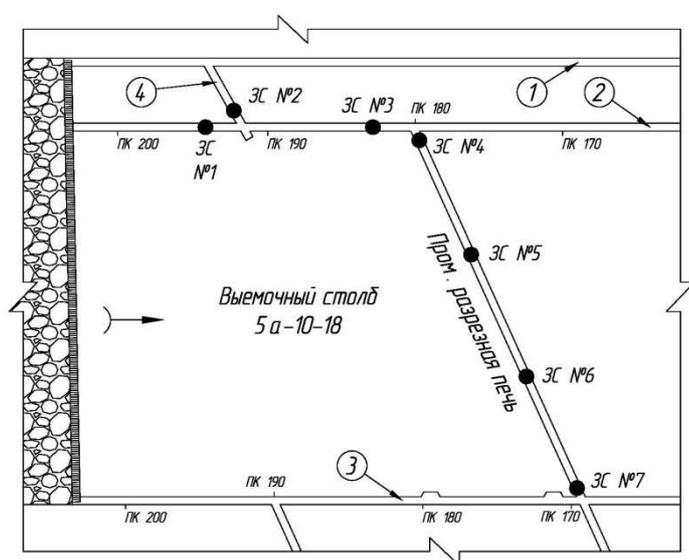


Рис. 11 Схема расположения промежуточной разрезной печи в выемочном столбе 5а-10-18 и размещения замерных станций (ЗС):

- – замерная станция;
- 1 – конвейерный штрек штрек 5а-10-16;
- 2 – вентиляционный штрек штрек 5а-10-18;
- 3 – конвейерный штрек штрек 5а-10-18;
- 4 – сбочная печь №4.

Замерные станции по определению конвергенции «кровля-почва» представляли собой три парных репера, установленных в кровле и почве выработки, один центральный и два – у бортов выработки. За один год наблюдений и исследований геомеханических процессов, происходящих в передовой выработке под влиянием движущегося очистного забоя, на замерных станциях было произведено свыше 200 экспериментальных замеров.

Результатом наблюдений, за последствиями влияния суммарного опорного давления от движущегося очистного забоя с одной стороны и опорного давления, проведённой заранее выработки с другой стороны, действующего на ограждающий целик и крепь сопряжения выработок, стал ситуационный план сопряжения (рис. 12). Этот план наиболее полно отражает картину разрушения опорного целика в момент, когда очистной забой находился на расстоянии 4 м от въезда в промежуточную разрезную печь на уровне вентиляционного штрека.

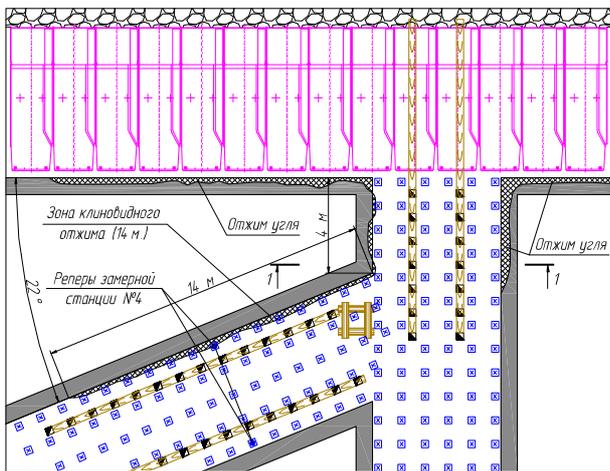


Рис. 12 Ситуационный план при расстоянии от очистного забоя до диагональной печи, равном 4 м

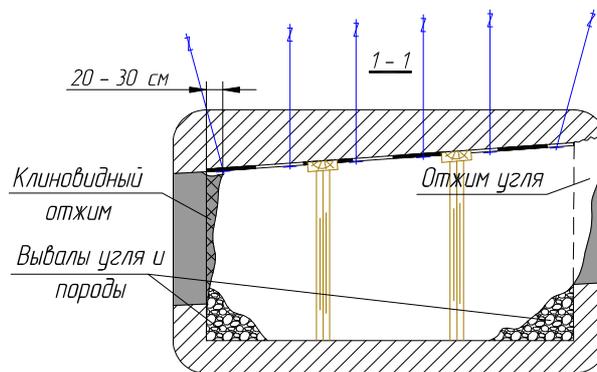


Рис. 13 Схема отжима угля на сопряжении очистного забоя и вентиляционного штрека

Было установлено, что в момент въезда краевая часть целика воспринимает нагрузку, превышающую боковой отпор пласта, об этом свидетельствует отжим бортов оградительного целика. Зона отжима распространяется на 14 м по падению пласта.

На рисунке 13 представлено сечение вентиляционного штрека с характерным для этого случая отжимом в виде клина. Под действием опорного давления пласт выдавливается в выработку в виде козырька, отклоненного на 20–30 см от вертикальной плоскости борта выработки. Отклонение козырька более чем на 30 см приводит к его обрушению. Данный вид отжима наблюдается как у внутреннего борта разрезной печи, так и у внешнего. С продвижением очистного забоя зона отжима увеличивалась, но не превышала 30–40 м.

Появление отжима или изменение формы целика с обеих его сторон свидетельствует о потере устойчивости и несущей способности целика. Таким образом, часть целика, ограниченная по падению зоной распространения отжима, находится в стадии запредельного деформирования с положительным эффектом дилатансии в виде отжима. Эта часть целика уходит из под нагрузки вышележащих пород, и нагрузка перераспределяется на секции крепи и противоположный внешний борт разрезной печи (об этом свидетельствует отжим у этого борта).

По результатам замеров и наблюдений был построен график зависимости конвергенции кровли с почвой в зависимости от сокращения расстояния между замерной станцией и очистным забоем (рис. 14). Анализ графика показал, что зону влияния очистного забоя на передовую выработку можно регистрировать за 300–400 м, однако активная зона влияния очистного забоя распространяется на расстояние в 50 м или $0,9L_{од}$ (ширины зоны опорного давления впереди очистного забоя $L_{од}$). Активное влияние выражается в увеличении скорости деформации целика и изменении линейной функции. Увеличение скорости смещения кровли в 4–6 раз свидетельствует о разрушении ядра целика.

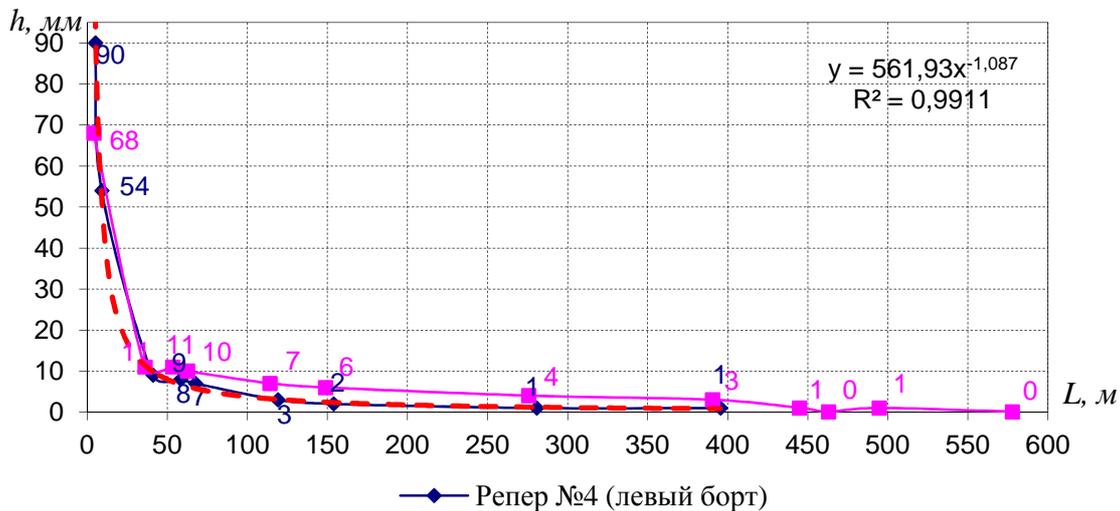


Рис. 14 График конвергенции кровли с почвой в зависимости от сокращения расстояния между замерной станцией и очистным забоем (ЗС №4)

Результаты замеров были аппроксимированы формулой зависимости конвергенции h в передовой горной выработке от расстояния L до линии очистного забоя

$$h = 562 \cdot (L)^{-1,09},$$

где h – конвергенция кровли с почвой, мм; L – расстояние до линии очистного забоя, м.

В четвёртой главе рассмотрена модель въезда очистного механизированного комплекса в предварительно пройденную демонтажную выработку (ППДВ).

Моделирование въезда заключается в установлении механизмов формирования напряженно-деформированного состояния в окрестности предварительно пройденной демонтажной выработки, получении количественных показателей нагрузки на секции механизированной крепи и элементы анкерной и стационарной крепи, установленной в демонтажной выработке.

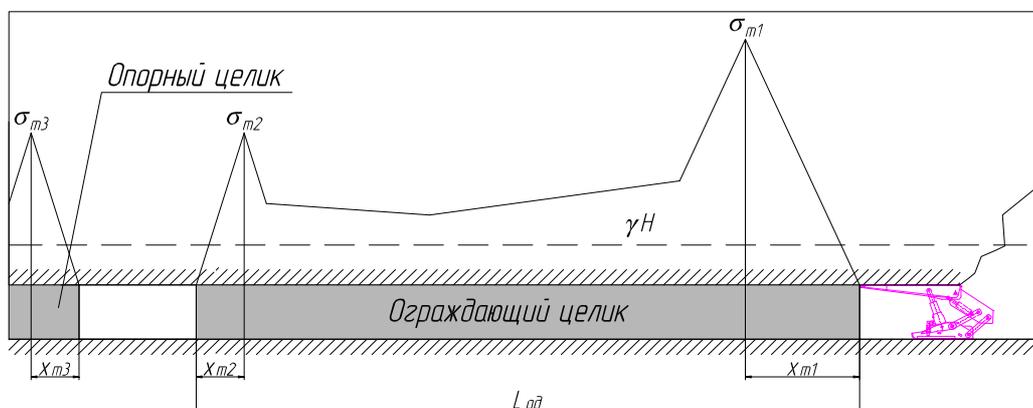


Рис. 15 Эпюра напряжений в начальный период въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку

Основываясь на экспериментальных данных, полученных в предыдущей главе, уточнено понятие «въезд» очистного механизированного комплекса в

предварительно подготовленную выработку. Под понятием «въезд» стоит понимать отработку выемочного столба очистным механизированным комплексом с расстояния до демонтажной выработки, равного ширине зоны опорного давления $L_{од}$ впереди очистного забоя (рис. 15).

Из анализа опыта применения технологии с ППДВ было выявлено два типичных сценария аварийных въездов. Они сопряжены с заключительной стадией въезда, а именно с моментом, когда ограждающий целик теряет несущую способность. Ограждающий целик теряет несущую способность при уменьшении его ширины, которая равна сумме расстояний до максимумов опорного давления от очистного забоя x_{m1} и демонтажной выработки x_{m2} (рис. 16). Однако полученные расчётные величины не прошли проверку при моделировании в шахтных условиях.

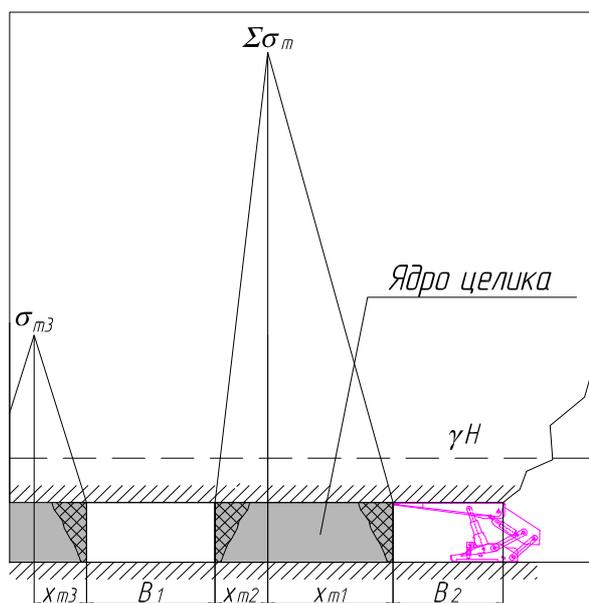


Рис. 16 Схема формирования ядра в ограждающем целике

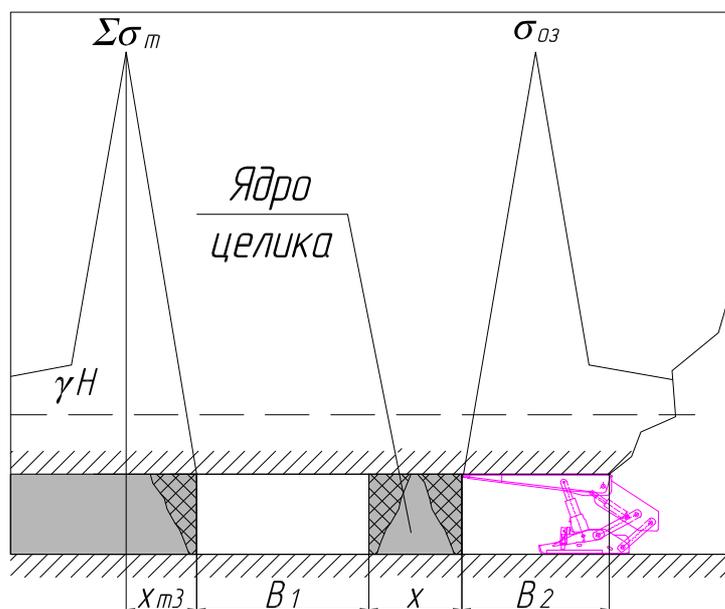


Рис. 17 Схема потери несущей способности ограждающего целика

Выявлено, что в ограждающем целике возникает запредельное напряженное состояние части целика, находящегося во всестороннем сжатии, так называемое, ядро целика. Ядро находится в стабильном состоянии до того момента, пока напряжение отпора бортов ограждающего целика уравнивает значение горизонтального напряжения ядра целика (рис. 17). Численно ширину ограждающего целика x , потерявшего несущую способность, можно выразить в виде неравенства

$$x \leq 0,5 \cdot (x_{m1} + x_{m2}) .$$

Очевидно, что решив вопросы по напряжённо-деформированному состоянию массива вмещающих пород и определив нагрузки на крепь демонтажной выработки и секции механизированной крепи, можно дать ответ на возможность применения метода демонтажа с применением ППДВ. Задача решается путём исключения возможности появления обрушений кровли в демонтажной выработке по первому и

второму типу. Решение происходит в несколько этапов и описывается алгоритмом (рис. 18).

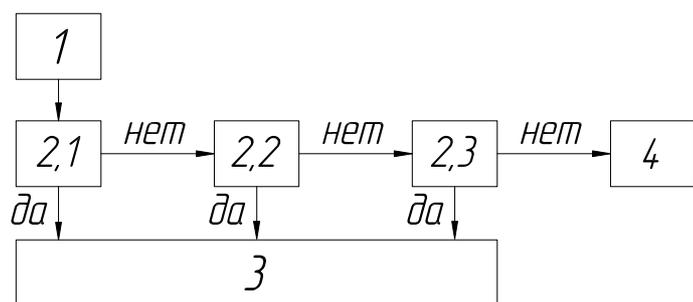


Рис. 18 Блок-схема алгоритма принятия решения о способе крепления демонтажной выработки и принципиальной применимости метода демонтажа с ППДВ в заданных геологических условиях

Пояснения к блок-схеме:

Блок 1. Определение плотности установки анкерной крепи с учётом незакрепленного пролета над ограждающим целиком, потерявшим несущую способность;

Блок 2.1. Проверка нагрузки на секции механизированной крепи. Должно выполняться условие, при котором расчетное значение нагрузки на секцию крепи при въезде P_p , кН/м меньше несущей способности секции крепи P_k , кН/м (условие $P_p < P_k$);

Блок 2.2. Использование механизированного комплекса с секциями большей несущей способности. Проверка нагрузки на секции механизированной крепи (условие $P_p < P_k$);

Блок 2.3. Установка дополнительной стационарной (пассивной) крепи. Проверка нагрузки на секции механизированной крепи (условие $P_p < P_k$);

Блок 3. Принимается решение о возможности применения технологии с применением ППДВ;

Блок 4. Принимается решение о применении разупрочнения кровли или других методов демонтажа очистного механизированного комплекса.

Нагрузку на анкерную крепь выработки можно определить с помощью теории свода давления. Требуется определить нагрузку на крепь выработки Q кН/м², расположенной в зоне очистных работ с учётом незакреплённого пролёта x над ограждающим целиком, потерявшим несущую способность (рис. 19). Считаем, что нагрузка на крепь передаётся не от всего свода давления, а только от частей ложной, непосредственной и основной кровли, обладающих техногенной трещиноватостью в зоне влияния очистных работ.

Если в кровле находятся породы, относящиеся к группе тяжёлых по нагрузочным свойствам, согласно единой отраслевой классификации кровель, то в расчете принимают полную суммарную мощность ложной $Z_{л}$, непосредственной кровли $Z_{н}$ и части основной, обладающей техногенной трещиноватостью h_0 (ослабленная пачка). Для средних и легких типов кровли принимается к расчёту

только суммарная мощность ложной кровли $Z_{л}$ и части непосредственной кровли, подверженная техногенной трещиноватости h_n (ослабленная пачка).

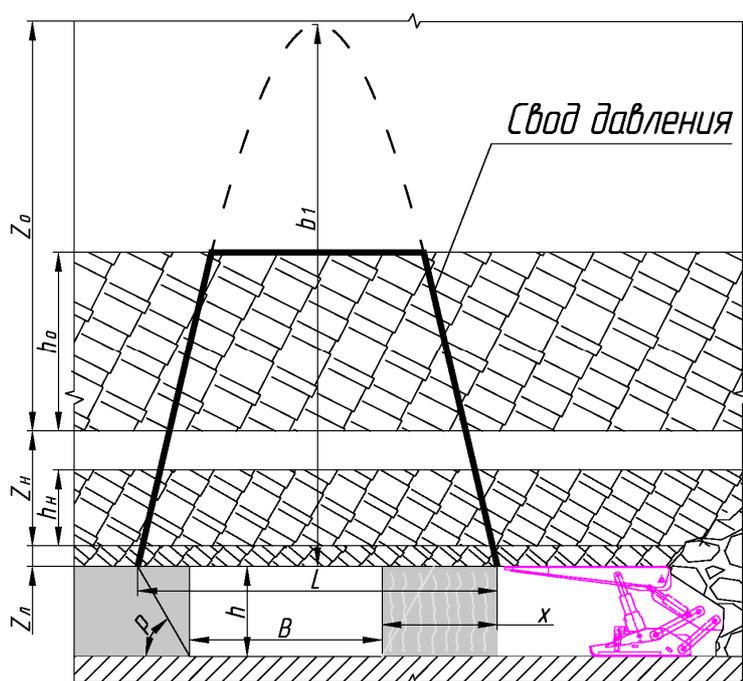


Рис. 19 Расчётная схема к определению нагрузки на крепь выработки Q , расположенной в зоне влияния очистных работ в момент разрушения целика угля между демонстражной выработкой и очистным забоем

В расчётах кровля демонстражной выработки была представлена, согласно единой отраслевой классификации кровель, тремя типами по нагрузочным свойствам: легкой, средней и тяжёлой. Расчётная ширина демонстражной выработки находилась в пределах от 3 до 12 м, расчет производился с шагом 1 м. Диапазон ширины выработки был подобран в соответствии с отечественным и зарубежным опытом применения технологии въезда в предварительно пройденную демонстражную выработку.

По результатам исследования составлен график зависимости ожидаемой нагрузки на крепь демонстражной выработки в зависимости от характеристики кровли и ширины демонстражной выработки (рис. 20). Из графика видно, что:

- с увеличением ширины демонстражной выработки нагрузка на анкерную крепь падает, уменьшение нагрузки на крепь, поддерживающей единичную площадь демонстражной выработки, связано с долей участия незакрепленного пролёта кровли x над ограждающим целиком, потерявшим несущую способность, чем больше ширина выработки, тем меньше доля влияния, так как длина пролёта x , при данных условиях величина постоянная;
- ожидаемая нагрузка на крепь демонстражной выработки для легкоуправляемой кровли на 20–25% выше, чем у средней кровли, это связано с тем, что в случае с лёгкой кровлей в её структуре находится больший объём пород с низкими прочностными характеристиками, что увеличивает свод давления.

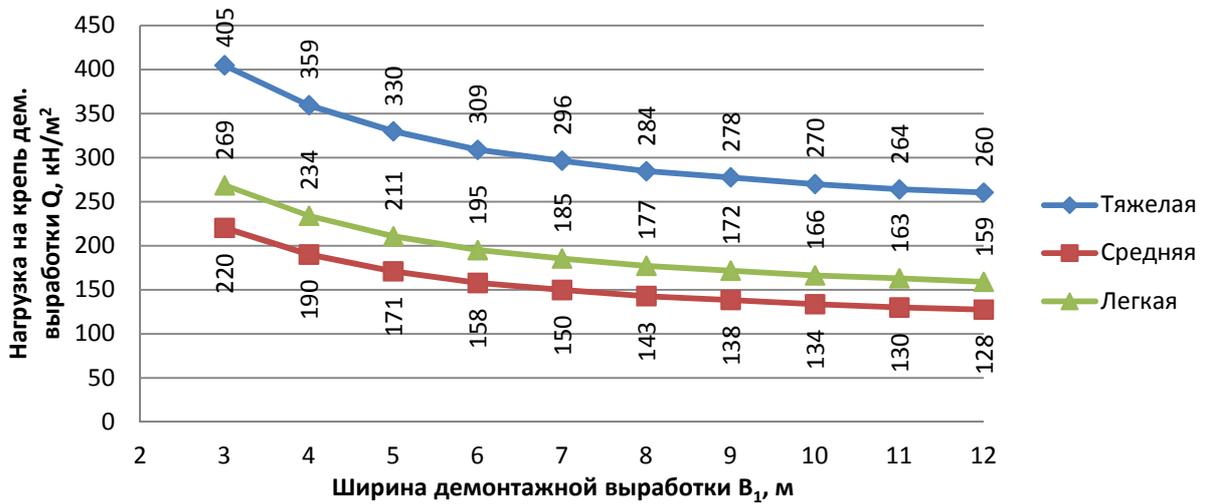


Рис. 20 Ожидаемая нагрузка на анкерную крепь демонтажной выработки Q в зависимости от характеристики кровли и ширины демонтажной выработки

Для определения ожидаемой нагрузки на механизированную крепь требуется определить нагрузку на секции механизированной крепи в начале и конце процесса въезда. На начальном этапе въезда, который находится на значительном удалении от монтажной камеры, на секции крепи оказывают основное нагружающее воздействие $P_{ш}$ кН/м², только блоки основной и непосредственной кровли при периодическом шаге обрушения $R''_{пр}$ и $R^o_{пр}$ соответственно. Однако, на заключительном этапе въезда, при потере несущей способности ограждающего целика, секции крепи воспринимают дополнительный источник нагрузки $P_{пр}$ кН/м² – это нагрузка от оторвавшихся блоков пролёта над демонтажной выработкой основной и непосредственной кровли, движущихся совместно относительно точки вращения, расположенной над опорным целиком. Суммируя полученные нагрузки $P_{ш}$ и $P_{пр}$ от двух источников нагрузки, мы получаем искомую величину P_p ожидаемой нагрузки на секции механизированной крепи

$$P_p = P_{ш} + P_{пр},$$

где P_p – суммарная расчетная нагрузка на секции механизированной крепи, кН/м²; $P_{ш}$ – ожидаемая нагрузка от блоков основной и непосредственной кровли при периодическом шаге обрушения, кН/м²; $P_{пр}$ – ожидаемая нагрузка пролёта оторвавшихся блоков кровли, расположенных над демонтажной выработкой, кН/м².

Условие успешного въезда можно выразить следующим образом:

$$P_p < P_k,$$

где P_k – сопротивление секции механизированной крепи, кН/м².

Расчётная схема для определения $P_{ш}$ и $P_{пр}$ представлена на рис. 21. В данной схеме кровля между опорным целиком и очистным забоем представлена многопролётной неразрезной балкой.

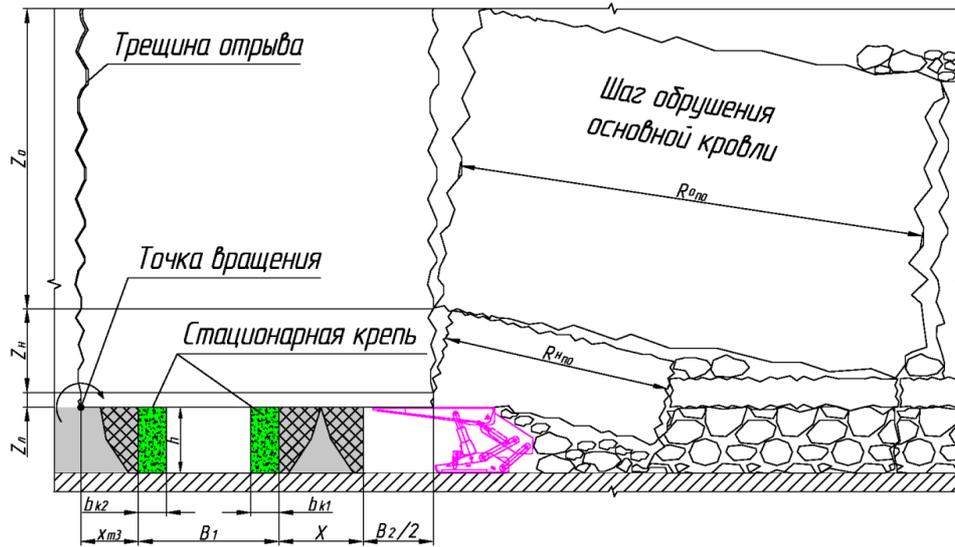


Рис. 21 Расчетная схема к определению нагрузки на секцию мех. крепи, стационарную крепь, установленную в демонтажной выработке при въезде очистного механизированного комплекса в демонтажную выработку

Результат расчёта суммарной нагрузки P_p на секцию механизированной крепи при тяжелой кровле, представлен на рис. 22.

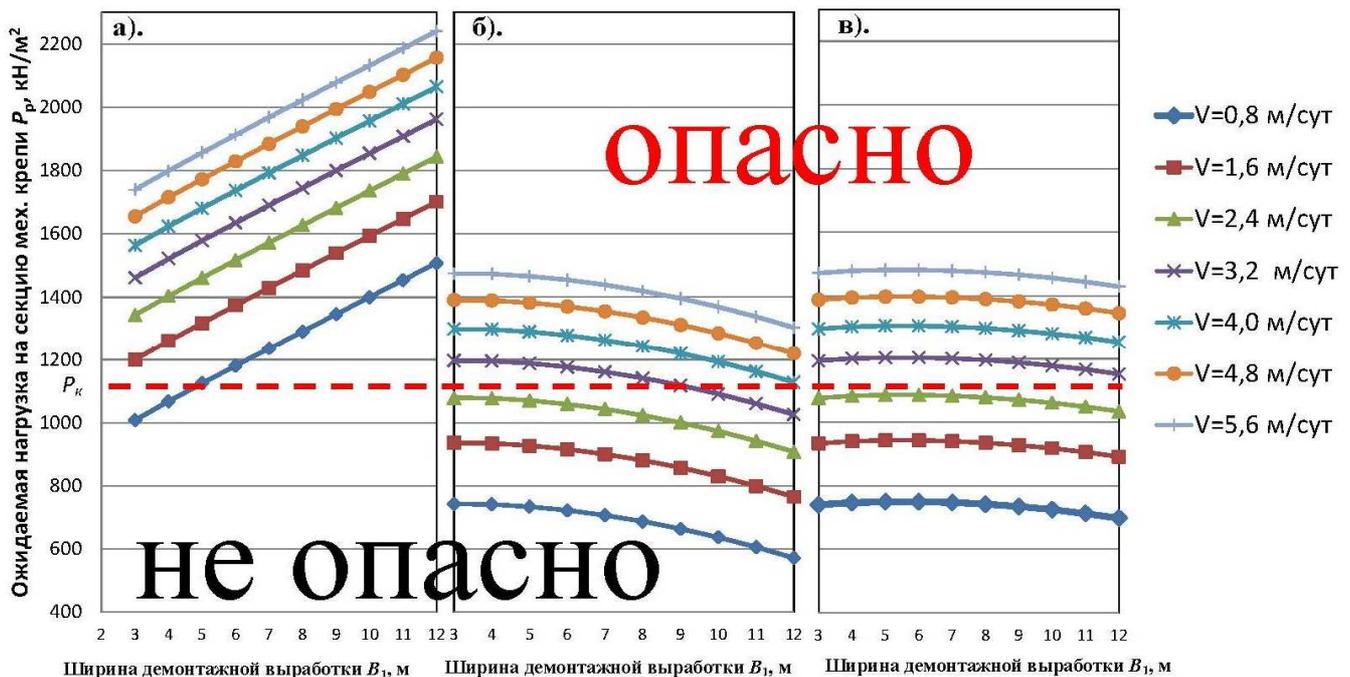


Рис. 22 График зависимости ожидаемой нагрузки на секцию механизированной крепи P_p от ширины демонтажной выработки и скорости подвигания очистного забоя при тяжёлой кровле: а – стационарная крепь не установлена; б – одна опора стационарной крепи; в – две опоры стационарной крепи

Из представленного графика (рис. 22, а) (тяжелая кровля, стационарная крепь не установлена) видно, что при сопротивлении секции механизированной крепи P_k , равном 1100 кН/м^2 , безаварийный въезд возможен только в демонтажную выработку шириной 3–5 м со скоростью движения очистного забоя $V = 0,8 \text{ м/сут}$. Данные

параметры въезда показывают, что использование технологии при тяжелой кровле без установки дополнительных опор стационарной крепи практически невозможно.

Рисунки (22, б и 22, в) показывают, что при условии установки в демонтажной выработке опор стационарной крепи, параметры безаварийного въезда практически идентичны. Безаварийность въезда при скорости подвигания очистного забоя до $V = 2,4$ м/сут обеспечена на всём расчётном диапазоне ширины выработки от 3 до 12 м. При этом, с точки зрения более равномерного распределения опорного давления на опоры стационарной крепи, в демонтажных выработках шириной более 5 м, вариант с двумя опорами предпочтителен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по определению основных параметров въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку, включающие в себя скорость движения очистного забоя, способ крепления и размер демонтажной выработки, что повышает безопасность процессов демонтажа и вносит значительный вклад в развитие угольной отрасли страны.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Аналитически установлены два типа аварийных въездов (25 % от общего числа) очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку;

2. Установлено, что обрушения кровли в демонтажной выработке при аварийных въездах происходят в тот момент, когда ширина внутреннего ограждающего целика равна полусумме расстояний до максимумов опорного давления от очистного забоя и демонтажной выработки;

3. Установлено чередование зон аварийных и безаварийных въездов очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку по глубине ведения горных работ при различных типах кровли;

4. Установлены закономерности перераспределения напряженно-деформированного состояния углепородного массива при въезде очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку, учитывающие механизм обрушения кровли, потерю несущей способности ограждающего целика, ширину демонтажной выработки, конфигурацию стационарной крепи, скорость движения очистного забоя;

5. Разработана методика расчёта нагрузки на анкерную, стационарную и механизированную крепи, позволяющая обосновать параметры приведённой несущей способности анкерной и стационарной крепи, конфигурацию

расположения и количество опор стационарной крепи, сопротивление секции механизированной крепи;

6. Выявлено, что установка двух опор стационарной крепи в демонтажной выработке для всех типов кровель снижает ожидаемую нагрузку на опоры (по сравнению с одной опорой) на 47 % и опорный целик на 17–47 % (в зависимости от ширины демонтажной выработки), при этом диапазон скоростей безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную камеру не изменяется;

7. Разработаны «Методические рекомендации по выбору технологических параметров въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку».

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. **Зорков, Д. В.** Геомеханическое обоснование выбора крепи предварительно подготовленной демонтажной выработки [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев, С. С. Цибаев // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 2 (108). – С. 49-56.
2. **Зорков, Д. В.** Геомеханическое обоснование въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев, С. С. Цибаев // ГИАБ. – 2015. – № 4. – С. 12-21.

В прочих изданиях и материалах конференций:

3. **Зорков, Д. В.** Опыт заезда механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную камеру в Кузбассе [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев // Материалы научно-практической конференции «ЭкспоУголь», Кемерово, 18-20 сентября 2007 г. – Кемерово, 2007. – С. 35-41.
4. **Зорков, Д. В.** Определение места заложения предварительно подготовленной демонтажной камеры в пределах выемочного участка [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 15-16 ноября 2007 г. – Кемерово, 2007. – С. 195-198.
5. **Зорков, Д. В.** Опыт заезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную камеру [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев // Материалы научно-практической конференции «Системный подход к созданию высокоэффективных угледобывающих предприятий с использованием наукоемких технологий», Киселевск, 17 апреля 2008 г. – Киселевск, 2008. – С. 63-71.

6. **Зорков, Д. В.** Experience of a longwall complex input into a preliminary prepared dismantling chamber at Kuzbass' underground mines [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев // Проблемы подземного строительства (Advances in geotechnical and structural engineering) : сб. тр. V-го Китайско-Российского симпозиума (Proceedings of the fifth China-Russia symposium), Циндао (Китай), 26-28 сентября 2008г. / Шаньдунский научно-технологический университет. – Циндао, 2008. – С. 111-121.
7. **Зорков, Д. В.** Исследование прочностных и деформационных свойств углей и вмещающих пород в границах выемочного столба 5а-10-18 шахты Распадская [Текст] / Д. В. Зорков, А.А. Ренев, Е. В. Дмитриева, Д.В. Соловьев // Сборник докладов студентов, аспирантов и преподавателей. I Всерос., 54 науч.-практ. конф. «Россия молодая», 20-24 апр. 2009 г., Кемерово, 2009. – С. 13-20.
8. **Зорков, Д. В.** Технология заезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную камеру на шахтах Кузбасса [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Прикладная геомеханика. Обогащение полезных ископаемых, экология : тр. конф. с участием иностр. учёных, Новосибирск, 2009. : в 2 т. Т. 1. Геотехнологии / Сиб. от-ние, Ин-т горн. дела. – Новосибирск, 2009. – С. 207-219.
9. **Зорков, Д. В.** Исследование геомеханических процессов при пересечении очистным забоем диагональной печи [Текст] / Д. В. Зорков // Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Первые Чинакаловские чтения», 2012г. – Кемерово : Институт угля СО РАН, 2012. – С. 56-65.

Подписано в печать 14.04.2016. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 1,37.

Тираж 100 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А