

На правах рукописи



ХАРИТОНОВ ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ

**Разработка технологии высокоинтенсивной угледобычи при
доработке выемочного столба и подготовки демонтажной камеры**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН), отделе №2 «Центр проблем метана и газодинамических явлений угольных и рудных месторождений»

Научный руководитель: Кубрин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений ИПКОН РАН

Официальные оппоненты:

1. Агафонов Валерий Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геотехнологии освоения недр Горного института (ГИ) Национального исследовательского технологического университета "МИСиС".
2. Першин Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово)

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», Институт горного дела и строительства, кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений

Защита состоится « » 2020 года, на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН по адресу 111020, Москва, Крюковский тупик, 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, ипконран.рф

Автореферат разослан « » 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н.

И.Ф.Жариков

Общая характеристика работы

Актуальность исследования

Кузбасс является одним из самых крупных угольных бассейнов мира. Прогнозные ресурсы углей Кузнецкого бассейна оцениваются в 305 млрд. тонн. Значительная часть запасов угля сосредоточена в мощных пологих угольных пластах, тенденции развития технологии разработки которых, в последнее десятилетие связаны с повышением энерговооруженности и надежности применяемой техники и увеличением размеров выемочных участков. Рост длин лав и выемочных столбов является общемировой тенденцией, при этом увеличивается и производительность участков, оснащенных комплексно – механизированными забоями (КМЗ).

В настоящее время, внедрение высокопроизводительного надежного очистного оборудования и, связанное с ним, повышение уровня концентрации горных работ при подземной разработке пологих угольных пластов, в том числе, мощностью более 3,5 м обусловило в большинстве случаев переход шахт к структуре «шахта – лава», когда в шахте работает один очистной забой.

Высокая производительность работы КМЗ является необходимым условием обеспечения конкурентоспособности угледобычи. При наличии на шахте одного очистного забоя, убытки от простоев КМЗ составляют 10 млн. руб. за 1 сутки и более. Поэтому потери времени на любой из технологических операций подготовки и отработки запасов выемочного участка и перехода на вновь подготовленный, связаны со значительными финансовыми издержками. В связи с этим, для эффективного ведения подземных горных работ актуальными являются задачи, связанные со снижением продолжительности перехода к отработке очередного выемочного столба, заключающиеся в своевременной и качественной подготовке демонтажной камеры, что обеспечивает выполнение монтажно – демонтажных работ без дополнительных затрат и простоев, вызванных негативными геомеханическими процессами.

Из практического опыта следует, что выбор технологических решений подготовки демонтажных камер (ДК), не учитывающих активизацию негативных геомеханических процессов (увеличение давления на крепь, вывалообразование пород кровли и отжим угля), вызванных перераспределением напряженно – деформируемого состояния разрабатываемого массива горных пород, может привести к существенной задержке ввода в эксплуатацию следующего выемочного участка.

В настоящее время для увеличения темпов очистных работ на угольных пластах средней мощности эффективно используются технологические решения по заблаговременной

подготовке демонтажных камер. Указанные технологические решения также применяются и при разработке мощных пологих угольных пластов. Однако, на практике, заблаговременно сформированные демонтажные камеры требуют проведения работ по дополнительному креплению кровли и бортов для их нормального функционирования на весь период извлечения механизированного комплекса. Поэтому представляется актуальной и практически значимой научная задача обоснования и разработки технологических решений подготовки демонтажной камеры при отработке мощных пологих угольных пластов, обеспечивающей устойчивость кровли на время демонтажа КМЗ, и ведущая к сокращению трудозатрат и сроков возобновления работ по добыче угля.

Цель работы состоит в обосновании технологических решений по подготовке демонтажных камер, обеспечивающих эффективное извлечение механизированного комплекса при отработке мощных пологих угольных пластов.

Основная идея работы заключается в учете выявленных особенностей пространственного распределения напряженно – деформированного состояния углепородного массива на завершающем этапе отработки выемочных столбов, при разработке технологических решений по подготовке и креплению демонтажных камер снижающих объемы дополнительных работ по их поддержанию.

Для достижения указанной цели решались следующие **основные задачи**:

- анализ существующих способов подготовки демонтажных камер и способов оценки напряженно – деформированного состояния углепородного массива в зонах выполнения работ по демонтажу механизированного комплекса на мощных пологих угольных пластах;
- проведение натурных инструментальных измерений параметров, характеризующих пространственное распределение напряженно – деформированного состояния углепородного массива в зонах подготовки демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов;
- проведение и анализ результатов численного моделирования пространственного распределения напряженно – деформированного состояния углепородного массива в зонах подготовки демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов;
- разработка технологических решений по формированию и креплению демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов, учитывающих выявленные особенности пространственного распределения напряженно – деформированного состояния, проявляющиеся во время демонтажных работ.

Объектом исследования является система: массив горных пород в зонах подготовки

демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов и технологическое оборудование КМЗ.

Предметом исследования являются технологические операции подготовки демонтажных камер в условиях отработки мощных пологих угольных пластов.

Методы исследования

Для решения поставленных задач использован комплексный метод исследования:

- анализ и обобщение данных, опубликованных в нормативной и научно-технической литературе по вопросам подготовки и устойчивости вмещающих пород демонтажных камер;
- шахтные натурные измерения, обработка данных натурных измерений, с использованием методов математической статистики, и анализ величин смещений вмещающих пород;
- численное моделирование напряженно – деформированного состояния углепородного массива, с использованием современных программных комплексов;
- сравнительный анализ и сопоставление результатов моделирования с данными шахтных наблюдений.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально установлено, что заблаговременное формирование демонтажных камер на мощных пологих угольных пластах ведет к дополнительным работам по креплению кровли и бортов и увеличивает длительность извлечения механизированного комплекса более чем в 2 раза, что обуславливает необходимость разработки новых технологических решений минимизирующих время соответствующих операций.

2. Использование билинейной модели деформирования твердого тела, учитывающей нелинейный характер процессов деформирования горных пород при моделировании напряженно – деформированного состояния неоднородного углепородного массива в зоне расположения демонтажной камеры, позволяет определять размеры зон возможного разрушения пород бортов и кровли демонтажной камеры и обосновывать параметры и порядок выполнения технологических операций по её креплению.

3. Оптимальным технологическим решением при подготовке демонтажных камер на мощных пологих угольных пластах, позволяющим снизить время извлечения механизированного комплекса с 65 – 45 до 25 суток, является их формирование очистным комбайном с креплением кровли и боков камер анкерной крепью в сочетании со специальной сеткой, параметры, которых определяются на основе выявленных особенностей пространственного распределения напряженно – деформированного состояния вмещающего массива.

Научная новизна результатов исследования заключается в:

1. Экспериментальном обосновании неэффективности технологических решений по подготовке демонтажных камер на мощных пологих угольных пластах с использованием заранее пройденных выработок.

2. Обосновании необходимости учета, при разработке технологических решений извлечения механизированного комплекса, закономерностей распределения предельных значений смещений пород кровли, обеспечивающих устойчивость демонтажных камер при завершении отработки выемочного столба мощного пологого угольного пласта в рамках применимости билинейной модели деформирования горных пород.

3. Обосновании и разработке технологических решений подготовки демонтажных камер с учетом особенностей пространственного распределения напряженно-деформированного состояния вмещающего массива, обеспечивающих их функциональное назначение и устойчивость на срок выполнения демонтажных работ, при отработке мощных пологих угольных пластов, позволяющие сократить время извлечения технологического оборудования КМЗ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

– использованием апробированных методик и аппаратуры при инструментальных исследованиях смещений кровли горных выработок;

– корректным использованием фундаментальных положений геомеханики при численном моделировании пространственного распределения напряженно-деформированного состояния вмещающего массива в зонах формирования демонтажных камер;

– удовлетворительной сходимостью инструментальных натурных исследований с результатами численного моделирования;

– практическим внедрением и использованием разработанных технологических решений формирования демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов на шахтах АО «СУЭК – Кузбасс».

Личный вклад автора заключается в:

– постановке задач и разработке методики проведения исследований;

– анализе геологических и горно-технологических условий отработки пологих мощных угольных пластов на шахтах АО «СУЭК – Кузбасс»;

– проведении натурных инструментальных исследований смещений кровли выработки при отработке пласта «Байкаимский» на шахте «Им. 7 Ноября» АО «СУЭК – Кузбасс»;

– выполнении численного моделирования напряженно – деформированного состояния вмещающего массива и мощного пологого угольного пласта при завершении отработки выемочного столба;

– установлении, на основе результатов натуральных инструментальных измерений и численного моделирования, закономерностей пространственного распределения напряженно – деформированного состояния вмещающего массива в зонах формирования демонтажных камер;

– разработке и обосновании технологических решений формирования и крепления демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов.

Научное значение работы состоит в дальнейшем развитии существующих представлений о влияниях вызванных техногенным воздействием изменений напряженно – деформированного состояния породных массивов на технологию ведения горных работ.

Практическая ценность результатов работы состоит в разработке технологических решений подготовки демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов.

Реализация работы. Разработанные в диссертации технологические решения использованы в принятых к внедрению на предприятиях АО «СУЭК – Кузбасс» рекомендациях по применению демонтажных камер, формируемых очистным комбайном, в технологическом цикле по добыче угля.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались: на XVI Международных научно-практических конференциях «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (2014 г., Кемерово), на 3 конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (2018 г., Москва), на Международной научно-практической конференции «Подземная угледобыча XXI век», (2018 г., Ленинск – Кузнецкий), на XXIV и XXVII Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2016 и 2019 г., Москва).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано девять научных работ, в том числе шесть статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, одна коллективная монография.

Объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 101 наименование, приложения, изложенных на 113 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунок, 10 таблиц.

Основное содержание работы

В первой главе дано описание особенностей горно – геологических и горнотехнологических условий залегания и отработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Кузнецкого бассейна. Обобщены проблемы, которые в настоящее время имеют место при отработке мощных пологих пластов Кузбасса. Обоснована необходимость дальнейшего развития геотехнологий, обеспечивающих экономическую эффективность и безопасность горных работ в постоянно усложняющихся горно – геологических и горнотехнологических условиях.

Представлен анализ современных технологий ведения работ по подготовке к демонтажу очистных механизированных комплексов. Детально описаны две принципиально различающиеся технологии подготовки демонтажной камеры:

- заблаговременное формирование демонтажной камеры;
- формирование демонтажной камеры при помощи очистного механизированного комплекса в процессе выемки угля.

Внедрение передовых технологических решений на шахтах Кузбасса в последнее время в основном базировалось на не имевших систематического характера натуральных наблюдениях за подготовкой и состоянием демонтажных камер. Применение такого рода обоснований технологических решений не всегда вело к снижению трудозатрат на демонтаж технологического оборудования механизированного комплекса. При этом вопросы, связанные с механизмами активизации негативных геомеханических процессов на мощных пологих угольных пластах (вывалообразование пород кровли и отжим угля) оказались не достаточно изучены. Так, например, в используемых обоснованиях технологических решений по поддержанию устойчивости демонтажных камер отсутствует учет долговременной ползучести угля и вмещающих пород. Подобного рода явления могут проявляться в массиве при продолжительном функционировании (более 1 месяца) открытых поверхностей выработки: бортов, кровли. Это проявляется в значительных сдвигениях кровли и бортов выработки, достигающих десятков сантиметров и приводящих к необходимости проведения специальных мероприятий по дополнительному креплению для уменьшения таких деформаций. Прежде всего, указанные негативные факты относятся к ДК, заблаговременно формируемой в мощном пологом угольном пласте.

В связи с этим, отдельное внимание в первой главе уделено обзору работ, посвященных современным методам исследования геомеханических процессов, протекающих в массивах горных пород, вмещающих отработываемые пологие мощные угольные пласты.

Значительный вклад в решение задач по определению параметров напряженно-деформируемого состояния породных массивов, в т.ч. и при разработке мощных пологих

угольных пластов внесен учеными ИПКОН РАН, ИГД им. А.А. Скочинского, ИГД СО РАН, СПГУ, МГИ НИТУ «МИСиС», КузГТУ, ТулГУ, УГГУ и др.

Важнейшие результаты в области исследования геомеханических процессов в горных выработках получены в работах следующих отечественных ученых: С.Г. Авершина, И.В. Баклашова, Г.И. Баренблата, А.А. Борисова, А.Н. Динника, В.Н. Захарова, М.А. Иофиса, Б.А. Картозии, Г.Н. Кузнецова, С.В. Кузнецова, Ю.М. Либермана, И.М. Петухова, М.М. Протодяконова, К.В. Руппенейта, К.Н. Трубецкого, В.А. Трофимова, И.А. Турчанинова, Е.И. Шемякина и др. Из работ, указанных авторов, следует, что использование экспериментальных и шахтных инструментальных методов обеспечивает получение решений, которые могут быть достоверными только для конкретных горно-геологических условий. Применяя же различные методы моделирования, можно получить решения, распространяемые на условия более широкие, чем принятые в процессе постановки лабораторного или натурного шахтного эксперимента. Наибольшей общности решений будет отвечать применение в горной геомеханике численных методов, в том числе и «приближенных», допускающих необходимо широкий диапазон изменений условий, характерных для целого класса важных прикладных задач. Точность расчетов, в значительной мере, определяется соответствием используемых в решениях параметров и характеристик их натурным аналогам. Практическая реализация таких методов базируется на разработке расчетных схем, достаточно точно отражающих натуру, и выполнении расчетов, учитывающих при их проведении значительное изменение параметров (свойств) массива горных пород. Таким образом показано, что для решения задач геомеханики, связанных с исследованием неоднородных по строению и свойствам массивов горных пород, необходимы разработка и дальнейшая модификация используемых численных методов.

В результате, проведенные обобщения характерных особенностей работы высокопроизводительных очистных забоев при подходе к границам выемочных столбов и принципиальных возможностей математического и инструментального аппарата горной геомеханики позволили сформулировать цель и задачи исследования, приведенные в общей характеристике работы.

Вторая глава посвящена описанию шахтных исследований пространственной изменчивости напряженно-деформируемого состояния массива горных пород при отработке пологих мощных угольных пластов (на примере шахты «Им. 7 ноября» АО «Сузк–Кузбасс»).

Рассмотрены горно-геологические и горнотехнические условия разработки пласта Байкаимский шахты «Им. 7 ноября». В частности, отмечено, что мощность описываемого пласта в среднем составляет 4,6 м, отработка выемочных участков по пласту велась механизированным комплексом Тагор 24 / 50, а глубина ведения работ варьировалась от 150 до 290 м.

По результатам анализа лабораторных испытаний сделаны выводы о особенностях физико – механических и деформационно – прочностных свойств массива горных пород на обследуемых участках пласта Байкаимский шахты «Им. 7 ноября»:

- все породы угленосной формации в различной степени рассланцованы, трещиноваты, слабо метаморфизованы;
- непосредственная кровля разрабатываемого пласта представлена преимущественно трещиноватыми алевролитами и аргиллитами с коэффициентом крепости от 1,8 до 4;
- вмещающие породы обладают высокой степенью изменчивости физико-механических свойств, что обуславливает наличие зон с пониженной несущей способностью кровли.

Для более детального выявления особенностей пространственного распределения параметров напряженно – деформируемого состояния вмещающего массива были организованы и проведены натурные инструментальные измерения смещения кровли вдоль выемочных столбов пласта Байкаимский.

Измерения проводились вдоль вентиляционных штреков. Репера устанавливались равномерно вдоль всего выемочного столба, согласно проекту размещения замерных станций. На рисунках 1 – 4 представлены результаты измерений смещений кровли при подготовке демонтажных камер №№ 1390 и 1325 радикально отличающихся способом подготовки.

При отработке выемочного участка № 1390 была использована технология заблаговременной подготовки демонтажной камеры в предварительно пройденной выработке. На границе у охранного целика был заблаговременно пройден демонтажный ходок шириной 4 м (рисунок 1).

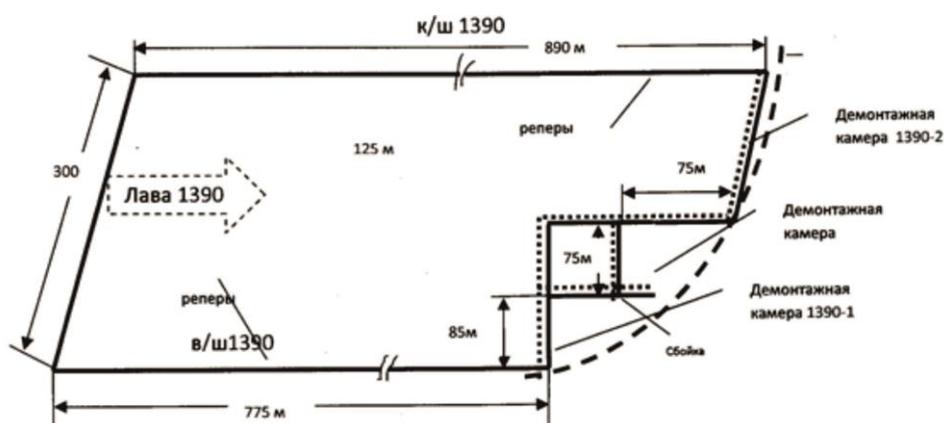


Рисунок 1 – Схема отработки выемочного участка № 1390

На рисунке 2 представлена зависимость изменений вертикальных смещений кровли от координаты точки измерений вдоль выемочного столба $U(x)$. При приближении к заранее

подготовленной демонтажной камере величина смещений резко увеличивается, что говорит о значительном повышении напряженного состояния горного массива в этой зоне.

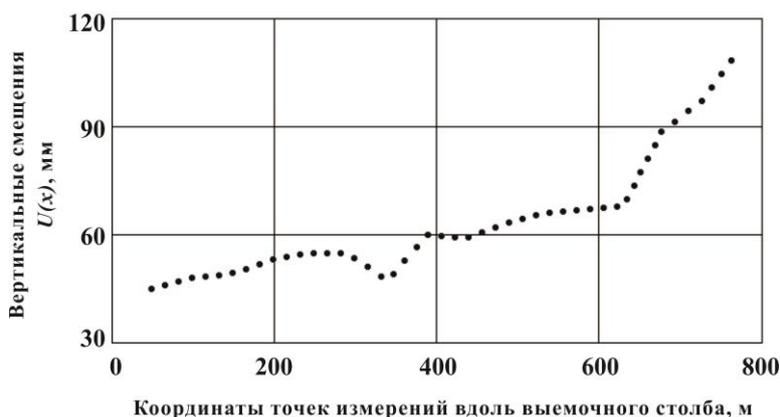


Рисунок 2 – Зависимость изменений вертикальных смещений кровли от координаты точки измерений вдоль выемочного столба $U(x)$ (очистной забой № 1390)

Использование указанной технологии стало причиной обрушения пород непосредственной кровли при приближении механизированного комплекса к демонтажной камере. На разбор завала и перекрепление выработки было затрачено около семи дней. Поэтому ожидаемый эффект сокращения сроков подготовки очистного комплекса к демонтажу не был получен. Кроме того, расслоившиеся породы непосредственной кровли и пустоты в кровле выработки, образовавшиеся из-за вывала пород, осложнили и повысили риски аварийности процесса демонтажа, скорость которого, в результате, не превысила 2–3 секции в сутки, а общая продолжительность составила более 50 дней.

При отработке лавы № 1325 шахты «Им. 7 ноября» использовалась технология формирования демонтажной камеры очистным комбайном по мере его продвижения (рисунок 3).

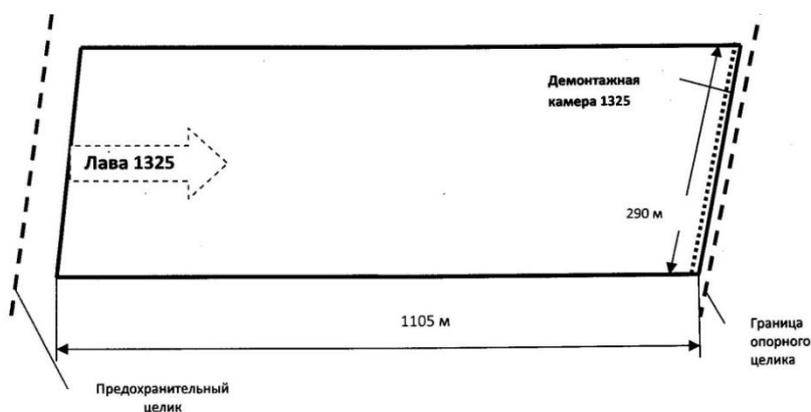


Рисунок 3 – Схема отработки выемочного участка № 1325

Зависимость вертикальных смещений от координаты точки измерений вдоль выемочного столба $U(x)$, полученная в очистном забое № 1325 представлена на рисунке 4. В данном случае, отсутствие заранее пройденных выработок обуславливает достаточно «монотонный» характер

зависимости $U(x)$. При этом процесс подготовки демонтажной камеры очистным комбайном характеризовался отсутствием отслоений пород кровли, деформаций крепи выработки, отжимов в бортах, что позволило демонтировать без проблем секции массой 32 тонны.

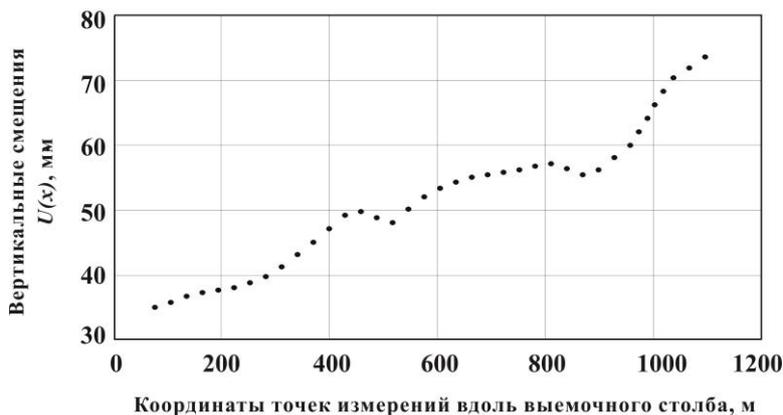


Рисунок 4 – Зависимость вертикальных смещений от координаты точки измерений вдоль выемочного столба $U(x)$ (очистной забой № 1325)

В результате, по данным инструментальных наблюдений выявлено, что основной причиной увеличения продолжительности демонтажа лав, является существенное увеличение смещения непосредственной кровли в демонтажной камере, связанное с переходом пород кровли в предельное состояние и разрушением в зоне опорного давления, формирующейся впереди забоя лавы. Тем самым, результаты анализа данных физико-механических и деформационно-прочностных испытаний вмещающих пород обследуемых участков пласта Байкаимский шахты «Им. 7 ноября», а также результаты инструментальных шахтных измерений смещений кровли в указанных зонах позволяют сформулировать **первое научное положение**.

В главе III представлены результаты численного моделирования напряженно – деформируемого состояния вмещающего массива горных пород и угольного пласта при подходе забоя к уже подготовленной демонтажной камеры (ДК), а также при формировании ДК очистным комбайном.

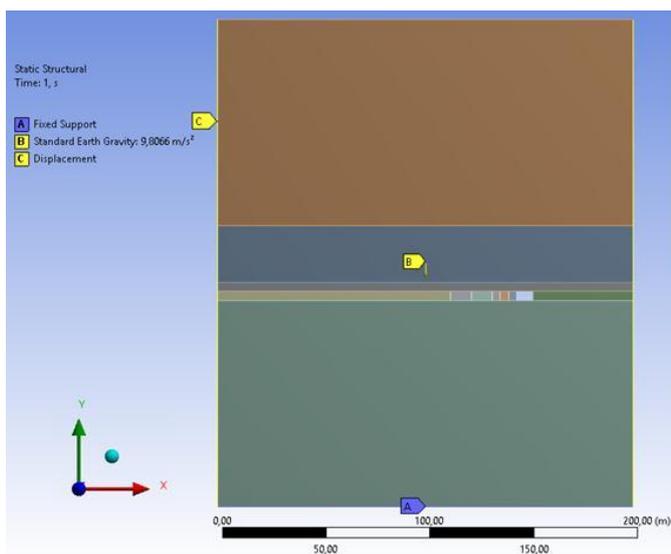
В первом случае рассматривается задача о выявлении характерных особенностей изменения напряженно – деформированного состояния углепородного массива в процессе разработки угольного пласта, связанных с приближением забоя к ДК, заранее пройденной в конце обрабатываемого столба. Параметры системы разработки позволяют принять плоскую расчетную модель, схема которой и определяющие параметры представлены на рисунке 5.



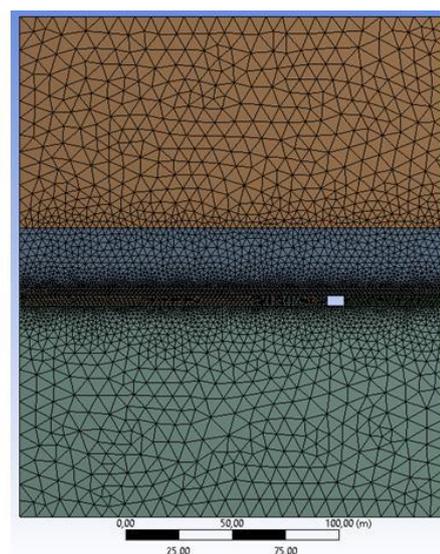
Рисунок 5 – Расчетная схема и определяющие параметры задачи

При этом, считалось, что глубина разработки горизонтального пласта составляет $H = 130$ м, мощность пласта $m = 4,5$ м, размеры демонтажной камеры $4,5 \times 4,5$ м, размер целика L варьировался в пределах 36 м – 0 м.

Задача решается методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS. На рисунке 6 представлена конфигурация расчетной области и использованная в расчетах конечно-элементная сетка. В области выделяется характерная слоистая структура, в которую входят породы кровли, почвы и, собственно угольный пласт, обладающие своими деформационными свойствами. В пределах пласта расположена демонтажная камера, к которой постепенно приближается забой лавы.



Граничные условия



Конечно-элементная сетка

Рисунок 6 – Фрагмент расчетной конечно – элементной сетки вблизи фронта очистных работ

Граничные условия определяются следующим образом: на боковых вертикальных границах расчетной области задаются значения горизонтальных напряжений, соответствующие боковому распору, вертикальная же степень свободы не ограничена; на нижней границе – нулевые горизонтальные и вертикальные смещения; верхняя граница,

которая является дневной поверхностью, полностью свободна. Помимо этого, в качестве нагрузки, приложенной к расчетной области – сила гравитации. Такая постановка задачи позволяет определить постепенное развитие напряжений в исследуемой области по мере отработки пласта и увеличению выработанного пространства.

В расчетах значения деформационных параметров пород и угля и их плотности приняты равными:

– уголь – модуль упругости $E=3 \cdot 10^3$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,35$, плотность $\rho=1300$ кг/м³;

– боковые породы – $E=2,3 \cdot 10^4$ МПа, $\nu=0,27$, $\rho=2700$ кг/м³.

В расчетах использована билинейная пластическая модель. В рамках этой модели материал при малых значениях напряжений деформируется линейно с модулем упругости, присущим этому материалу в ненарушенном состоянии. При достижении предела пластичности в режиме дальнейшего нагружения материал продолжает деформироваться также линейно, но с модулем упругости меньшим на 2 – 3 порядка, т.е. фактически реализуется режим идеальной пластичности. Такой подход позволяет моделировать поведение определенных типов трещиноватых сред, которое можно интерпретировать как «квазипластическое».

Для угля предел пластичности принимался равным $\sigma_y=2$ МПа, а для пород кровли – $\sigma_y=4$ МПа. Фактически значения этих величин *in situ* должны быть определены в результате решения обратных задач путем сопоставления расчетных величин и реально замеренных параметров (смещений, деформаций, напряжений, размеров зон разрушения и др.) в отдельных точках или областях массива пород.

На рисунке 7А показано распределение вертикальных напряжений в массиве, когда забой лавы находится на расстоянии 36 метров от демонтажной камеры. В центре целика наблюдаются повышенные значения напряжений – 6,5 МПа в сравнении с исходными – 3,5 МПа, т.е. концентрация напряжений составляет ~2. Такого рода перераспределение исходных напряжений характерно для всех размеров целика, однако с его уменьшением концентрация постепенно падает – с 3,5 для целика размером в 36 метров до величин меньших 1 для малых размеров целика (рисунок 7Б).

Такая зависимость объясняется разрушением и переходом краевой части массива, где и расположен целик, в пластическое состояние с потерей несущей способности, и как следствие падением в ней напряжений. Приведенные значения характерны для центральной части целика, где вертикальная деформация имеет стесненный характер из-за бокового подпора, что в значительной степени проявляется для широких целиков. Усредненные же по горизонтальному сечению целика вертикальные напряжения значительно ниже.

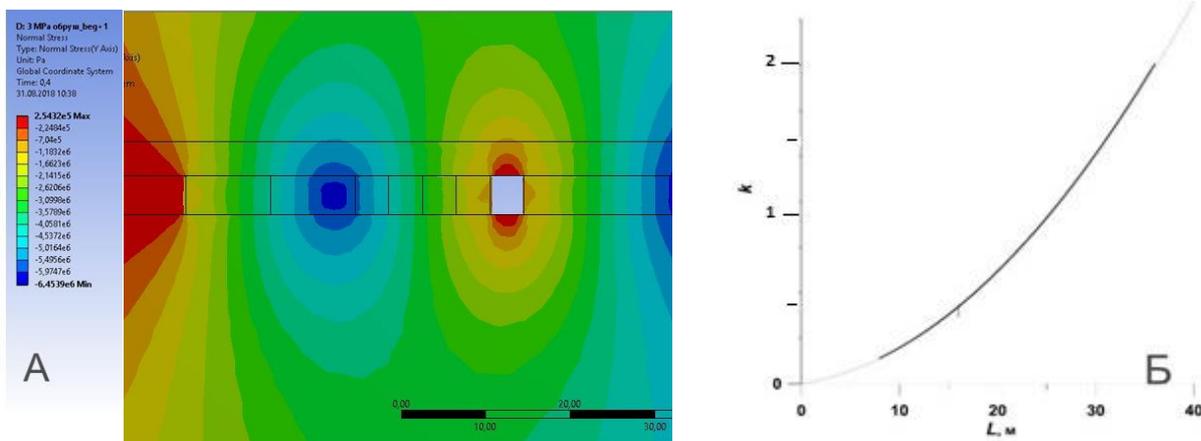


Рисунок 7 – Распределение вертикальных напряжений в массиве (А) и максимальная концентрация вертикальных напряжений в целике (Б)

Распределение напряжений вблизи демонтажной камеры (рисунок 7А) характерно для одиночной выработки, пока фронт очистных работ, т.е. очистная выработка находится на расстоянии большем 12 – 15 м от нее. Такое расстояние обеспечивает отсутствие силового взаимодействия демонтажной камеры и очистной выработки.

Оценки изменения напряженно – деформированного состояния массива по мере развития очистных работ проводились посредством ряда дискретных шагов, изменяющих конфигурацию расчетной области и моделирующих реальное продвижение забоя. Для сокращения расчетной процедуры в расчётах было принято, что продвижение лавы за один шаг составляет 4 метра. Приближение забоя к ДК происходит на заключительном этапе отработки выемочного столба, в связи с чем формируется квазистационарный режим изменения напряжений вблизи очистной выработки. Т.е. на каждом последующем шаге распределение напряжений практически повторяет предыдущий, при условии расстояния до ДК большего указанных 12 – 15м. В связи с этим расчетный шаг продвижения забоя может выбираться произвольным, отличным от реальной заходки комбайна.

Расчетная схема для случая, когда очистные работы подошли вплотную к демонтажной камере представлена на рисунке 8, где показано распределение вертикальных напряжений вблизи выработок на последнем шаге продвижения забоя к ДК. На этом шаге образуется единая выработка, состоящая из ранее созданной демонтажной камеры (правая часть выработки) и очистной выработки (левая часть), образовавшейся после последнего прохода очистного комбайна. При этом характерно, что кровля демонтажной камеры свободна от нагрузок и опускается вместе с анкерами, которые в определенной степени уменьшают это опускание и уменьшают разрушение массива в кровле. В очистной выработке кровля поддерживается крепью (на рисунке не показана) и в зависимости от жесткости этой крепи, которая известна, также может опускаться, но в значительно меньшей степени. Заметим, что в кровле демонтажной камеры образуются зоны растяжения и

охватывающие их зоны разгрузки массива, в которых напряжения становятся меньше исходных. Это зоны потенциальных вывалов породы, размеры которых, по проведенным расчетам, составляют в рассматриваемом случае до 2 метров.

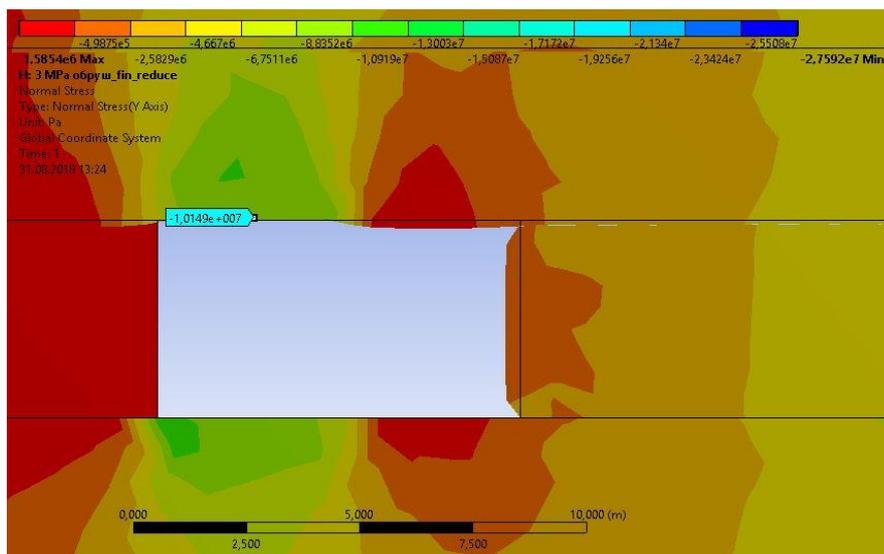


Рисунок 8 – Распределение вертикальных напряжений вблизи выработок на последнем шаге продвижения забоя к ДК

На рисунке 9 показаны вектора полного смещения боковых пород и угольного пласта на рассматриваемом шаге. Величина смещений в основном зависит от предела пластичности пород и угля. При этом пластичность угля влияет в основном на горизонтальные смещения в угольном пласте, приводя к существенным деформациям стенок в монтажной камере. В тоже время пластичность непосредственной кровли вызывает деформации кровли в пределах камеры (рисунок 9).

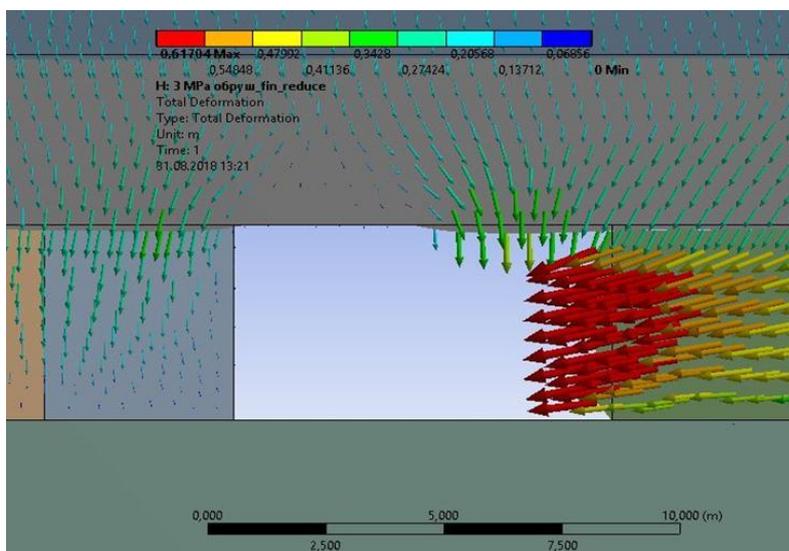


Рисунок 9 – Вектора полных смещений в массиве на момент образования монтажной камеры

Проведенные расчёты могут быть использованы и для анализа напряженного состояния массива при формировании ДК непосредственно очистным комбайном. Для

получения пространственного распределения напряжений в этом случае берется решение на любом шаге продвижения забоя при упомянутом ограничении на расстояние между ДК и очистной выработкой. Напряжения и смещения вокруг очистной выработки в этом случае интерпретируются, как для ДК, образованной комбайном.

Сопоставляя полученные решения для обоих технологических решений подготовки ДК можно отметить, что в варианте заблаговременной проходки ДК целик между очистной выработкой и ДК на последнем этапе практически полностью разрушается, формируя единое пространство из призабойной выработки, ДК и не несущего нагрузку целика. С позиций геомеханики такое развитие событий, а именно практически одномоментное увеличение пролета зависающей кровли в 2÷3 раза может привести к существенному росту напряжений в массиве и росту концентрации вертикальных напряжений на стенке ДК, противоположной приближающемуся забою. Помимо этого длительное стояние камеры сопряжено с проявлениями ползучести угля и пород, что в конечном итоге проявляется в обрушениях кровли и стенок, либо в уменьшении сечения камеры до неприемлемых величин.

Расчеты, проведенные с учетом обрушения пород в выработанное пространство, а также с учетом крепи, показали, что на последнем шаге продвижения забоя к ДК формируется значительное опускание кровли ДК и сдвигание ее боковой стенки внутрь камеры.

Подготовка же ДК очистным комбайном в процессе доработки столба лишена большей части такого рода негативных проявлений горного давления.

Тем самым, представленные результаты позволяют обосновать **второе научное положение**.

В главе IV описываются разработанные технологические решения подготовки монтажных камер при отработке пологих мощных угольных пластов.

С учетом выявленных особенностей пространственного распределения напряженно – деформированного состояния вмещающего массива обоснована последовательность выполнения работ подготовки монтажной камеры с использованием очистного комбайна. Для этого определяется зона влияния вмещающих пород на подготавливаемую монтажную камеру. На основании характеристик вмещающих пород и результатов моделирования производят расчет паспорта крепления с изменений состояния углепородного массива после каждого прохода очистного комбайна. Определяется количество и параметры анкеров и схема их установки. С целью предотвращения вывалобразования пород кровли используется сетка, параметры, которой определяются на основании особенностей состояния вмещающего массива горных пород. На всех этапах реализации технологии разрабатываются мероприятия по обеспечению безопасности выполняемых работ.

Схема предложенного способа подготовки демонтажной камеры непосредственно лавой при подходе очистного забоя к границе отработки выемочного участка на примере лавы № 1325 представлена на рисунке 10.

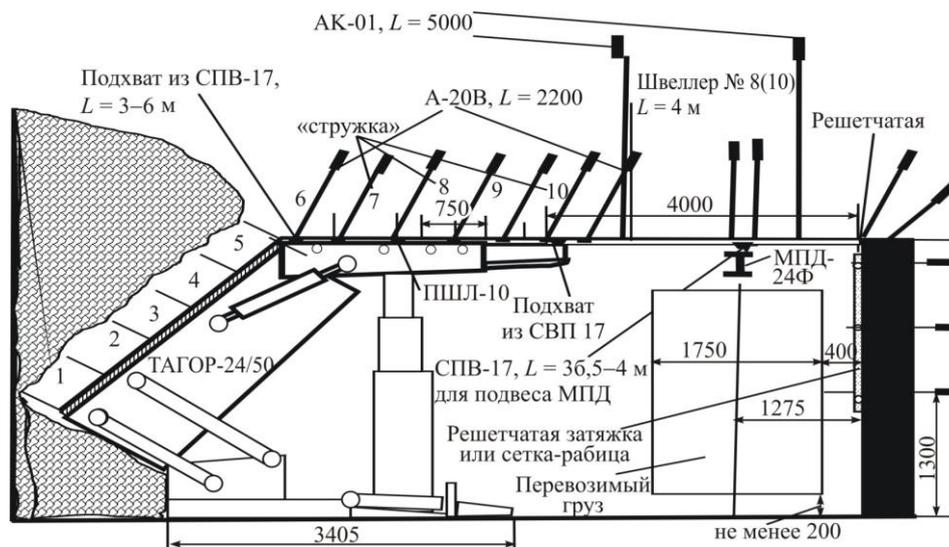


Рисунок 10 – Схема подготовки демонтажной камеры № 1325

Перед началом въезда, когда до ближнего к лаве борта демонтажной камеры останется 13 м, на каждой вынимаемой полосе угля со стороны забоя лавы в кровлю устанавливаются поочередно по одной ПШЛ – 10, по середине стружки. Производится их анкеровка при помощи анкероустановщиков «Хайдраматик», «Вомбат» или «Рамбор» анкерами А – 20В L = 3,0 м. Выемка угля во время заводки ПШЛ – 10 производится с остановками комбайна. После выемки угля на участке лавы протяженностью 8 – 10 м, комбайн и забойный конвейер останавливаются и блокируются аварийным выключателем, (секции крепи на этом участке остаются не передвинутыми), производится установка и крепление ПШЛ – 10.

Работы по установке ПШЛ – 10 выполняет звено не менее 6 – ти человек с рабочего полка или с комбайна. После установки и закрепления одной ПШЛ – 10 и необходимости установки следующей на подрезанном комбайном участке, свободный конец следующей ПШЛ через отверстие закрепляется на крайний закрепленный анкер предыдущей ПШЛ, т.е. внахлест друг на друга.

После полного закрепления ПШЛ – 10 на данном участке, анкероустановщики убираются, производится передвижка секций одна за другой.

Из лавы машинисту комбайна голосом подается сигнал на продолжение выемки угля. ГРОЗ на нижнем сопряжении запускает дробилку, перегружатель и нажимает кнопку «Пуск конвейера». После прохождения предупредительного звукового сигнала конвейер запускается. Машинист комбайна включает комбайн и продолжает выемку угля на

следующем участке лавы, протяженностью 8 – 10 м. Производится крепление ПШЛ – 10 на следующей стружке угля аналогичным образом.

Цикл работ по установке ПШЛ – 10 повторяется до тех пор, пока над перекрытиями секций крепи на всем протяжении лавы не будет создан настил из ПШЛ – 10. При креплении стружек № 5, 8, 12, одновременно с установкой ПШЛ – 10 на перекрытия секций крепи укладываются отрезки СВП – 17 длиной 3 – 6 м. внахлест друг на друга (рисунок 10), причем свободный конец отрезка со стороны вентиляционного штрека должен быть над свободным концом со стороны конвейерного штрека. Величина нахлестки составляет 400 мм.

После окончания заводки и крепления 12 полных стружек ПШЛ – 10 производится крепление демонтажной камеры до проектных размеров (от консоли перекрытия до забойного борта – 4 м) без передвижки секций крепи, т.е. 5 «холостых» стружек. При этом линейные секции лавного конвейера отсоединяются от домкратов передвижки секций крепи, передвижка лавного конвейера осуществляется с помощью балок – проставышей из СВП – 17 необходимой длины. Крепление 2 – ой и 4 – ой «холостых» стружек производится с помощью канатных анкеров АК – 01 L = 5 м.

Крепление забойного борта демонтажной камеры для предотвращения отжимов угля осуществляется аналогичными ПШЛ – 10 под углом 45° на 3–4 -х анкерах А – 20В L = 1,8 – 2,2 м.

Для предотвращения вывалов породы так же может применяться специальная полимерная сетка фирмы Huesker (Германия).

Эффективность разработанной технологии подтверждается сравнением материальных затрат и трудоемкости работ рассмотренных в работе вариантов формирования демонтажных камер (непосредственно очистным комбайном и с использованием ранее подготовленной выработки) на примере лав 1390 и 1325 шахты «Им. 7 Ноября».

Общая продолжительность работ сокращается при формировании демонтажной камеры очистным комбайном в пределах 50%, а трудоемкость выполнения работ сокращается более чем на 40%. При заблаговременном формировании демонтажной камеры проходческим комбайном необходимо проведение дополнительного объема работ связанных с обеспечением безопасных условий труда, что занимает до 10% общего времени и объема трудозатрат. Кроме этого приходится задействовать проходческую бригаду, что сказывается на темпах подготовки новых выемочных участков. Помимо этого, несмотря на значительный объем дополнительных работ, сроки демонтажа КМЗ оказались в 2 раза больше чем при формировании демонтажной камеры очистным комбайном. Это подтверждено еще рядом примеров использования двух рассматриваемых технологий (рисунок 11).



Рисунок 11 – Эффективность разработанных технологических решений

Таким образом, применение способа формирования ДК в процессе добычи угля обеспечивает снижение сроков подготовки и стоимости работ, повышает безопасность работ по демонтажу механизированного комплекса.

Экономический эффект от внедрения разработанных технологических решений для АО «СУЭК – Кузбасс» в период с 2010 по 2016 год составил в расчете на один участок 16 млн. руб. на формирование демонтажной камеры и 10 млн. руб. на каждые сутки сокращения времени демонтажных работ.

Тем самым, приведенное технико – экономическое обоснование разработанных технологических решений позволяет сформулировать **третье научное положение**.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно – квалификационной работой, в которой решена научная задача обоснования технологических решений по формированию и креплению ДК при отработке мощных пологих угольных пластов, учитывающих выявленные, на основе результатов натуральных инструментальных измерений и численного моделирования, особенности пространственного распределения напряженно – деформируемого состояния массива горных пород при подходе лавы к границе отработки выемочного столба, что имеет существенное значение для подземной разработки угольных месторождений.

Основные выводы и рекомендации, полученные при выполнении исследований, заключаются в следующем:

1. Инструментальными наблюдениями установлено увеличение объемов работ по поддержанию бортов и кровли заранее пройденных демонтажных камер из – за снижения их несущей способности, обусловленное негативным влиянием изменения пространственного распределения напряженно – деформированного состояния углепородного массива на завершающих этапах отработки выемочных участков на мощных пологих угольных пластах.

2. Билинейная модель деформирования твердого тела, учитывающая долговременную ползучесть угля и вмещающих пород, позволяет определять размеры зон возможного разрушения пород бортов и кровли демонтажной камеры для обоснования параметров и порядка выполнения технологических операций по её креплению.

3. Разработаны оптимальные технологические решения для подготовки демонтажных камер на мощных угольных пластах, заключающиеся в их формировании очистным комбайном с заданной периодичностью выполнения работ по креплению кровли и бортов камеры, позволяющие снизить наведенные деформации, вызванные изменением пространственного распределения напряженно – деформированного состояния углепородного массива.

4. Обоснованы технологические требования, определяемые с учетом выявленных особенностей пространственного распределения напряженно – деформированного состояния углепородного массива, к параметрам анкеров (частота и длина) и характеристики специальной капроновой сетки (частота и толщина нитей), обеспечивающих надежное крепление на весь срок функционирования ДК.

5. Применение разработанных технологических решений по подготовке демонтажных камер на мощных пологих угольных пластах позволили сократить время демонтажных работ в два раза (с 60 – 70 суток до 25 – 35 суток).

6. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии на шахтах АО «СУЭК – Кузбасс» в период с 2010 по 2018 год составил в расчете на один участок 16 млн. руб. на подготовку демонтажной камеры и 10 млн. руб. на каждые сутки сокращения времени демонтажных работ.

Основное содержание диссертации опубликовано:

в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Харитонов И. Л. Опыт подготовки очистных забоев к демонтажу в условиях шахты «Им. 7 Ноября» // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013. – № S 2. – С. 127 – 136.

2. Харитонов И. Л. Ремезов А. В. Исследование опорного давления при подвигании очистного забоя пологих угольных пластов на ранее пройденные выработки // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2016. – № 4. – С. 292 – 299.

3. Харитонов И. Л. Проявление горного давления при подготовке демонтажных камер различными способами // Уголь. – 2016. – № 12. – С. 37 – 39.

4. Трофимов В.А., Кубрин С.С., Филиппов Ю.А., Харитонов И.Л. Общие закономерности деформирования угольного пласта вблизи демонтажной камеры при приближении забоя лавы // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2018. – № S 48. – С. 222 – 233.

5. Харитонов И.Л., Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Блохин Д.И. Оценка эффективности технологий формирования демонтажных камер при отработке мощных пологих угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2018. – № S 48. – С. 252 – 258.

6. Трофимов В.А., Кубрин С.С., Филиппов Ю.А., Харитонов И.Л. Численное моделирование напряженно – деформированного состояния вмещающего массива и пологого мощного угольного пласта при завершении отработки выемочного столба // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2019. – № 8. – С. 42 – 56.

в прочих изданиях и материалах конференций

7. Ремезов А. В., Костинец И. К., Харитонов В. Г., Рябков Н. В., Жаров А. И., Климов В. В., Харитонов И. Л., Новоселов С. В. Горное давление. Его проявления при ведении горных работ в массиве горных пород. – Кемерово, 2013. – 681 с.

8. Харитонов И.Л. Новоселов С. В., Ремезов А. В. Геомеханические модели массива горных пород и предъявляемые к ним требования адекватности // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции. Кемерово: Институт угля СО РАН, 2014. – С. 172 – 175.

9. Харитонов И.Л., Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Блохин Д.И. Обоснование технологических решений, снижающих негативное влияние опорного давления при формировании демонтажных камер на мощных пологих угольных пластах // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Сборник трудов 3 конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. М.: ИПКОН РАН, 2018. – С. 203 – 206.