

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АНТИПОВ Игорь Владиславович

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СОЗДАНИЯ НОВОГО УРОВНЯ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ
ЗАБоев ТОНКИХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

05.15.02 - "Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ДОНЕЦК - 1996



Дисертаційна робота являється рукописом

Робота виконана в Донецькому державному технічному університеті.

Научный консультант:
Заслуженный деятель науки Украины,
доктор технических наук, профессор

Сапицкий К.Ф.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор
доктор технических наук, профессор
доктор технических наук, с.н.с.

Колоколов О.В.
Ильюшенко В.Г.
Жуков В.Е.

Ведущая организация:
Донецкий научно-исследовательский угольный институт (Донуги).

Защита состоится "9" февраля 1996 г. в 12 час. на заседании специализированного совета Д-06.04.02 в Донецком государственном техническом университете по адресу: г. Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан "15" декабря 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук, профессор



В.И. Черняв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсивная эксплуатация угольных месторождений с благоприятными горно-геологическими условиями привела к истощению запасов в пластах средней мощности, а также пластов, в кровле которых залегают породы средней устойчивости и устойчивые. На шахтах Украины в тонких пластах сосредоточено около 83% балансовых запасов угля, причем, около 45% шахтопластов имеют неустойчивые и малоустойчивые кровли.

Основным средством обеспечения высоких технико-экономических показателей добычи угля являются комплексы оборудования с механизированными крепями. До середины 70-х годов, когда комплексы работали в основном на пластах мощностью более 1,0 м с устойчивыми породами кровли, наблюдался рост нагрузки на комплексно-механизированные забои и производительности труда рабочих. В тот период средняя нагрузка на механизированные комплексы и производительность труда достигли наивысших показателей - 839 т/сут. и 12,9 т/выход. Однако к 1975 году целесообразный объем применения механизированных комплексов с гидрофицированными крепями первого поколения ("Донбасс", М87, МК97) был исчерпан.

В начале 80-х годов были разработаны геомеханические и технологические основы нового уровня крепей очистных забоев, что обеспечило создание механизированных крепей второго поколения - 1МК103, "Донбасс-80", М137 и др. Новые крепи позволили расширить область применения комплексов на пласты мощностью 0,75 м с малоустойчивыми породами кровли. С внедрением механизированных комплексов 1КМ103, КД80, КМ137 и др. наблюдалась некоторая стабилизация показателей. Но уже в 1992 году 248 комплексов, что составляет 42% общего количества комплексно-механизированных забоев, работали с присечкой вмещающих пород на пластах мощностью 0,6...0,7 м, а около 45% комплексов - в условиях неустойчивых кровель, то есть за пределами области применения механизированных крепей второго поколения. Это привело к снижению средней нагрузки до 471 т/сут., производительности труда - до 5,91 т/выход; около 80 комплексов ежегодно работают с нагрузкой менее 300 т/сут.

Таким образом, объективно возникла потребность в крепях, позволяющих расширить область применения механизированных комплексов на пласты мощностью 0,6 м с неустойчивыми породами кровли и обеспечить выемку угля без постоянного присутствия

людей в забое. Для этого необходимо разработать геомеханические и технологические основы создания крепей нового уровня - изучить особенности взаимодействия крепей с неустойчивыми кровлями и разработать новые принципы сохранения сплошности пород, обосновать требования к крепям и разработать методы расчета их параметров.

Связь темы диссертации с планом основных работ университета. В течение последних десятилетий одним из главных научных направлений горного профиля Донецкого государственного технического университета является изыскание путей повышения эффективности отработки тонких угольных пластов. С 1992 года по заказу Министерства угольной промышленности Украины разрабатывается нетрадиционная крепь для очистных забоев тонких пологих пластов с неустойчивыми кровлями (№ госрегистрации темы UA01000692P). В проведенных исследованиях автор принимал непосредственное участие в качестве научного руководителя.

Целью работы является создание геомеханических и технологических основ нового уровня крепей очистных забоев для обеспечения эффективной отработки тонких угольных пластов с неустойчивыми породами кровли.

Идея работы заключается в использовании особенностей взаимодействия крепи с неустойчивыми породами и изменении ее силовых параметров для предотвращения разрушений непосредственной кровли в призабойном пространстве лавы.

Методы исследований. Для достижения поставленной цели в работе использован системный подход к решению поставленных задач с применением следующих методов: анализ и обобщение опыта отработки тонких пластов, комплексные наблюдения в очистных забоях шахт Донецкого угольного бассейна, моделирование технологических процессов с помощью метода группового учета аргументов, моделирование геомеханических процессов в горном массиве с помощью метода конечных элементов, лабораторные и стендовые испытания новых типов крепей.

Научные положения, выносимые на защиту, и их новизна.

1. Установлены особенности формирования надежности комплексно-механизированных технологий очистных работ по факторам затрат времени на выполнение штатных и нештатных производственных операций, заключающиеся в том, что наибольшее отрицательное влияние на технологическую надежность очистных забоев оказывает процесс крепления и управления кровлей при

применении крепей со ступенчатой податливостью и высокой инертностью при передвижке.

2. Экспериментально в шахтных условиях раскрыто явление топания кровли в статическом положении крепи, заключающееся в периодическом нагружении и разгрузке боковых пород вследствие ступенчатой податливости гидрофицированной крепи, что приводит к разрушению неустойчивых пород на контакте с перекрытием крепи и их обрушению в призабойное пространство лавы.

3. Для условий неустойчивых пород кровли очистного забоя обоснован новый подход к сохранению естественной сплошности пород на контакте с перекрытием крепи, заключающийся в поддержании системы "крепь-породный массив" в состоянии равновесия при применении крепи бесступенчатой податливости.

4. Разработан экспериментально-аналитический метод определения рациональных силовых параметров новых крепей бесступенчатой податливости, учитывающий горногеологические условия залегания пластов. Метод доведен до численной реализации и позволяет рассчитывать рациональное сопротивление и режимы работы крепи в зависимости от физико-механических характеристик вмещающих пород.

5. Впервые установлены и теоретически обоснованы рациональные силовые параметры и режимы взаимодействия крепи бесступенчатой податливости с неустойчивыми породами кровли.

Выносимые на защиту научные положения составляют геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов с неустойчивыми кровлями.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций доказана:

- теоретическими исследованиями изученных закономерностей поведения пород кровли в призабойном пространстве очистного забоя, базирующимися на корректном применении методов моделирования и на основе апробированных допущений и аргументаций, приведенных в работе;

- экспериментальными исследованиями процессов сдвижения и разрушения вмещающих угольный пласт пород с применением современной аппаратуры и методики, а также статистической обработки данных по десяти очистным забоям с варьированием параметров технологии выемки угля, полученных на основе научного планирования шахтных экспериментов и установления необходи-

мого объема информации.

Научное значение работы заключается в раскрытии особенностей протекания геомеханических процессов в слабых породах непосредственной кровли при взаимодействии с крепью очистного забоя. Эти особенности являются научной основой для установления рациональных силовых параметров крепей и режимов взаимодействия с неустойчивыми породами.

Обоснован новый подход к сохранению сплошности неустойчивых пород, предусматривающий поддержание равновесия системы "крепь-породный массив" при применении крепей бесступенчатой податливости.

Выявленный характер влияния технологических процессов в очистном забое на интенсивность проявлений горного давления дополняет круг представлений о природе геомеханических процессов в породном массиве при выемке тонких пологих пластов.

Разработанные методы моделирования технологических операций в очистных забоях и геомеханических процессов в горном массиве позволяют определять рациональные параметры крепей и проектировать технологические схемы очистных работ на тонких пологих пластах с неустойчивыми кровлями.

Практическое значение работы заключается в разработке технологии крепления и управления кровлей очистных забоев тонких пологих пластов в условиях слабых пород с использованием крепи нового уровня, обеспечивающей расширение области применения комплексно-механизированных технологий очистных работ на пласты с неустойчивыми кровлями.

Установлены рациональные силовые параметры крепи бесступенчатой податливости с учетом особенностей взаимодействия с неустойчивыми породами непосредственной кровли.

Разработана принципиально новая крепь для использования в комплексно-механизированных технологиях очистных работ на тонких пологих пластах с неустойчивыми и малоустойчивыми кровлями. Новизна разработанной крепи подтверждается авторским свидетельством на изобретение.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Техническое задание на распорно-перемещаемую крепь для тонких пологих пластов с неустойчивыми кровлями согласовано с Донуги и Донгипроуглемашем, утверждено Министерством угольной промышленности Украины.

Научные и практические результаты работы используются в

учебном процессе при подготовке горных инженеров.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались и получили одобрение на Всесоюзной научно-технической конференции "Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников" (Москва, 1990); Республиканской научно-методической конференции "Научно-техническое творчество: методологические и социально-экономические проблемы" (Донецк, 1990); Всесоюзной научно-технической конференции "Система "человек-машина-среда" в горном деле. Настоящее и будущее" (Москва, 1990); Всесоюзной научно-технической конференции "Оптимизация горных работ и фрагменты САПР" (Новосибирск, 1991); X Всесоюзной научной конференции вузов СССР "Физические процессы горного производства" (Москва, 1991); Научно-технической конференции ДПИ по завершнным НИР (Донецк, 1991); Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов в угольной промышленности "Системный подход в горном деле. Проблемы, теория, методы." (Москва, 1991); II школе-семинаре молодых ученых "Теория и практика комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и обогащения минерального сырья" (Алма-Ата, 1992); XIV научно-методической конференции "Компьютерные технологии обучения и управления вузом" (Донецк, 1993); VI Sympozium "Wybrane problemy eksploatacji zloz na duzych glebokosciach" (Gliwice, 1994), International Scientific Conference on the occasion of 50th anniversary of moving the Technical University from Pribram to Ostrava (Ostrava, 1995).

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 36 научных работ; ключевые положения диссертации представлены в 19 работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 37 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 207 наименований и 3 приложения. Общий объем работы 200 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблемы эффективной отработки тонких угольных пластов с неустойчивыми и малоустойчивыми породами кровли сходятся в центре внимания горной науки. Несмотря на это, комплексно-механизированные технологии, базирующиеся на применении гидрофицированных крепей, практически не развиваются. Длительный опыт отработки тонких пластов с неустойчивыми кровлями механизированными комплексами свидетельствует об исчерпании возможностей традиционных гидрофицированных крепей.

Очевидно, что поиск перспективных технических решений должен ориентироваться не только на модернизацию существующих гидрофицированных крепей, но и на создание принципиально новых нетрадиционных средств крепления очистных забоев.

Весомый вклад в разработку и совершенствование механизированных крепей внесли работы Араунера Г.-В., Вильсона А.Г., Гайера У., Гейера В.В., Голубева Г.Н., Дубова Е.Д., Кияшко И.А., Клингрэффа Г., Коровкина Ю.А., Кундела Х., Крумнакера И., Лубоятского В., Ретца Б.-В., Савенко Ю.Ф., Спраулза М., Хана Л., Хелмса В., Хорина В.Н., и др.

Одной из наиболее важных задач стоящих перед разработчиками новой горной техники является обеспечение высокой надежности очистных работ.

Исследованию различных аспектов проблемы повышения надежности посвящены работы Бурчакова А.С., Воробьева Б.М., Гетопанова В.Н., Гуляева В.Г., Ильющенко В.Г., Каримана С.А., Мирошникова С.И., Паланта Г.Я., Рахутина Г.С., Рачека В.М., Салыги С.Я., Сапицкого К.Ф., Солода В.И., Топчиева А.В., Ярембаша И.Ф. и других ученых.

Проблемы надежности механизированных крепей должны решаться в комплексе с другими задачами и, в первую очередь, с вопросами горной геомеханики.

Весомый вклад в теоретические и практические исследования геомеханических процессов в породном массиве внесли фундаментальные работы Алексеева А.Д., Бондаренко Ю.В., Булата А.Ф., Давидянца В.Т., Дубова Е.Д., Жукова В.Е., Зборщика М.П., Зорина А.Н., Зубова В.П., Ирресбергера Г., Кияшко И.А., Клишина Н.К., Колоколова О.В., Комиссарова С.Н., Кошелева К.В., Мухина Е.П., Назимко В.В., Орлова А.А., Полякова М.В., Хервига Г., Черняка И.Л., Эверлингга Г., Якоби О. и других ученых.

Однако существующие представления о формировании на-

дежности комплексно-механизированных технологий очистных работ, особенностях взаимодействия крепи со слабыми вмещающими породами не обеспечивают в полной мере решение проблемы эффективной отработки тонких угольных пластов с неустойчивыми породами непосредственной кровли.

Первая глава работы посвящена анализу современных тенденций развития техники, технологий и научных концепций отработки тонких пологих угольных пластов.

Ежегодно в мире добывается около 4 млрд. т угля. Основными угледобывающими странами являются США, Китай, Россия, Украина, Германия, Великобритания, Австралия, Польша, Словакия, Чехия, Канада, Индия и др. Около 70% мировой добычи угля приходится на подземный способ, а более 60% угля добывается на шахтах длинными очистными забоями.

Основным средством обеспечения высоких технико-экономических показателей работы очистных забоев являются комплексы оборудования с гидрофицированными крепями. Разработчиками механизированных крепей являются институты Донуги и Донгипроуглемаш (Украина), ИГД им. А.А.Скочинского и Гипроуглемаш (Россия), фирмы Hemscheidt, Westfalia Lünen, Klockner (Германия), Gullick Dobson (Великобритания), Glinik (Польша) и др. Для отработки пластов мощностью менее 1,0 м выпускаются механизированные крепи 14 типов, которые по конструктивным особенностям делятся на следующие группы: поддерживающе-оградительные 2-х стоечные щитовые крепи - M137 (Россия), WS 1.7 (Westfalia Lünen), KG 240-6/17, G 300-5/15 (Hemscheidt), HO 48-1.35 (Klockner), O55/15 OzK (Glinik); поддерживающе-оградительные 4-х стоечные щитовые крепи - "Донбасс-80" (Украина), 4/200, 4/300, 4/340 (Gullick Dobson), O66/16 OzK (Glinik); поддерживающая 4-х стоечная щитовая крепь - 1MK103 (Россия); комплектная 4-х стоечная крепь: МК98 (Россия); поддерживающая 6-ти стоечная щитовая крепь - Донбасс-2М (Украина, снята с производства в связи с заменой крепью "Донбасс-80"). Донуги совместно с Донгипроуглемашем разрабатывается типоразмерный ряд механизированных комплексов МКД-90 путем усовершенствования крепи "Донбасс-80". Однако разработка принципиально новых механизированных крепей для маломощных пластов не ведется.

Анализ технологий ведения очистных работ, базирующихся на использовании комплексов с гидрофицированными механизированными крепями, показал, что для них характерны многоопераци-

Для обеспечения технологической базы Донецким государ-

онность и значительная продолжительность процессов крепления и управления кровлей, недостаточная надежность средств крепления для выполнения операций без постоянного присутствия людей в забое, неудовлетворительная работа в условиях неустойчивых пород кровли.

Вопросы исследования надежности механизированных комплексов решаются без учета взаимосвязи с геомеханическими процессами в породном массиве. Отсутствие эффективных методов математического моделирования технологической надежности и производительности комплексов в конкретных условиях их эксплуатации не позволяет объективно оценить степень влияния производственных процессов и операций на формирование технологической надежности и производительности комплексно-механизированных очистных забоев.

Натурные наблюдения в действующих лавах выполняются, как правило, только с целью уточнения отдельных параметров крепей и не предусматривают комплексное исследование геомеханических процессов в породном массиве, фактических режимов работы механизированной крепи и технологических операций в очистном забое. Из-за отсутствия эффективных методов математического моделирования геомеханических процессов в породном массиве не представляется возможным обосновать рациональные силовые параметры и режимы взаимодействия крепей с массивом пород при отработке тонких пологих пластов с неустойчивыми кровлями.

Для создания геомеханических и технологических основ нового уровня крепей очистных забоев, адаптивных к слабым породам, особое значение имеет выработка общей концепции крепления неустойчивой кровли, которая заключается в разработке и использовании новых принципов сохранения естественной устойчивости слабых пород путем предотвращения динамических процессов в системе "крепь-порядный массив", обоснованного выбора силовых параметров крепи, исключения обнаженных пролетов кровли за счет повышения быстродействия крепи, сокращения количества операций в процессе крепления и управления кровлей, обеспечения ведения очистных работ без постоянного присутствия людей в забое.

На основании выполненного анализа научных концепций и современных тенденций развития технологий отработки тонких пластов сформулирована цель работы и поставлены следующие взаимосвязанные задачи:

1. Экспериментально в натуральных условиях установить характер и взаимосвязь геомеханических процессов в породном массиве при отработке тонких пластов с технологическими операциями в очистном забое, фактическими параметрами и режимами работы крепей.

2. Создать теоретические основы моделирования технологических процессов очистных работ и изучить закономерности формирования надежности комплексно-механизированных технологий.

3. Разработать геомеханическую модель, алгоритм моделирования взаимодействия элементов системы "крепь-породный массив" и установить силовые параметры крепей с учетом сохранения сплошности неустойчивых пород.

4. Обосновать новые принципы предотвращения расслоения слабых пород и разработать методы расчета параметров и режимов работы крепи в условиях неустойчивых кровель.

5. Разработать требования к крепям, адаптивным к неустойчивым породам, выполнить стендовые испытания экспериментального образца и разработать техническое задание на крепь нового уровня для тонких пластов с неустойчивыми кровлями.

Учитывая широкий диапазон и сложность поставленных задач, в качестве методологической основы для их решения применяется системный подход. Система "очистные работы" рассматривается как совокупность взаимосвязанных технологических операций в лаве и геомеханических процессов в горном массиве.

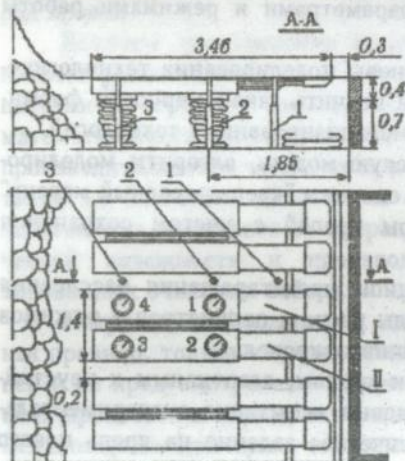
Во второй главе приведены результаты комплексных исследований технологических операций в очистных забоях и геомеханических процессов в породном массиве при отработке тонких угольных пластов.

Область применения механизированных гидравлических крепей ограничивается пластами мощностью более 0,75 м. На пластах меньшей мощности комплексно-механизированные забои работают с присечкой вмещающих пород. Такие условия работы являются не характерными для механизированных крепей.

Очевидно, что исследования в нехарактерных для механизированных комплексов условиях должны носить комплексный характер, то есть изучению подлежит весь комплекс вопросов, касающихся технологических процессов в очистном забое, геомеханических процессов в породном массиве и фактических режимов работы механизированной крепи.

Для обеспечения методологической базы Донецким государ-

ственным техническим университетом совместно с Донецким научно-исследовательским угольным институтом разработана "Методика комплексных исследований на шахтах Донецкого угольного бассейна".



Условные обозначения:

- 1 - верхняя секция крепи;
- II - нижняя секция крепи;
- ⊙ - номера манометров МП-3 и их расположение на секциях;
- ⊙ - номера измерительных стоек СУИ-2 с индикаторами ИЧТ и их расположение.

Рис. 1 Схема размещения оборудования на замерной станции

Для проведения инструментальных замеров, хронометражных и визуальных наблюдений в лаве оборудуется замерная станция (рис. 1). На стойках механизированной крепи устанавливаются манометры МП-3, показания которых фиксируются визуально с интервалами 30 мин., а во время прохода комбайна и передвижки секций крепи в районе замерной станции через каждые 2 минуты.

На замерной станции выполняются также наблюдения за конвергенцией вмещающих пород. Для этого в кровле и почве пласта устанавливаются контурные реперы с шагом 0,8 м, соответствующим величине подвигания забоя лавы за один цикл. Конвергенция пород измеряется стойками СУИ-2 и

индикаторами часового типа ИЧТ-0,01 одновременно в трех точках по ширине призабойного пространства. Конвергенция пород в выработанном пространстве измеряется дистанционно с помощью реостатных стоек СР и прибора ИИД-3. Расстояние от груди забоя до точки первого контакта перекрытия с кровлей фиксируется на каждом цикле передвижки крепи. Состояние пород кровли - заколы, трещины, вывалы и т.д., а также величина устойчивых обнажений в выработанном пространстве фиксируется с помощью фотоаппарата.

Первая замерная станция оборудуется в 10 м от сопряжения лавы с транспортным штреком и наблюдения проводятся в течение 6...12 рабочих смен. Затем станция перемещается вверх по лаве

1. Экспериментально в натуральных условиях установить характер и взаимосвязь геомеханических процессов в породном массиве при отработке тонких пластов с технологическими операциями в очистном забое, фактическими параметрами и режимами работы крепей.

2. Создать теоретические основы моделирования технологических процессов очистных работ и изучить закономерности формирования надежности комплексно-механизированных технологий.

3. Разработать геомеханическую модель, алгоритм моделирования взаимодействия элементов системы "крепь-породный массив" и установить силовые параметры крепей с учетом сохранения сплошности неустойчивых пород.

4. Обосновать новые принципы предотвращения расслоения слабых пород и разработать методы расчета параметров и режимов работы крепи в условиях неустойчивых кровель.

5. Разработать требования к крепям, адаптивным к неустойчивым породам, выполнить стендовые испытания экспериментального образца и разработать техническое задание на крепь нового уровня для тонких пластов с неустойчивыми кровлями.

Учитывая широкий диапазон и сложность поставленных задач, в качестве методологической основы для их решения применяется системный подход. Система "очистные работы" рассматривается как совокупность взаимосвязанных технологических операций в лаве и геомеханических процессов в горном массиве.

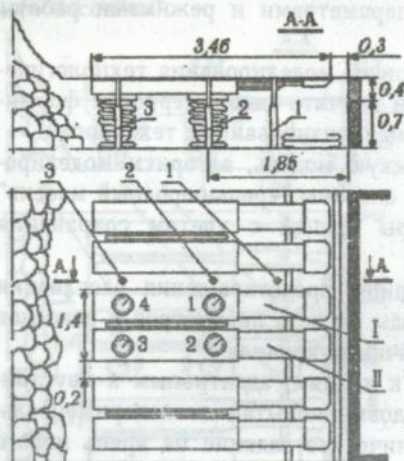
Во второй главе приведены результаты комплексных исследований технологических операций в очистных забоях и геомеханических процессов в породном массиве при отработке тонких пологих угольных пластов.

Область применения механизированных гидравлических крепей ограничивается пластами мощностью более 0,75 м. На пластах меньшей мощности комплексно-механизированные забои работают с присечкой вмещающих пород. Такие условия работы являются не характерными для механизированных крепей.

Очевидно, что исследования в нехарактерных для механизированных комплексов условиях должны носить комплексный характер, то есть изучению подлежит весь комплекс вопросов, касающихся технологических процессов в очистном забое, геомеханических процессов в породном массиве и фактических режимов работы механизированной крепи.

Для обеспечения методологической базы Донецким государственным университетом в очистном забое наиболее интенсивно концентрируются

ственным техническим университетом совместно с Донецким научно-исследовательским угольным институтом разработана "Методика комплексных исследований на шахтах Донецкого угольного бассейна".



Условные обозначения:

- I - верхняя секция крепи;
- II - нижняя секция крепи;
- - номера манометров МП-3 и их расположение на секциях;
- ▭ - номера измерительных стоек СУИ-2 с индикаторами ИЧТ и их расположение.

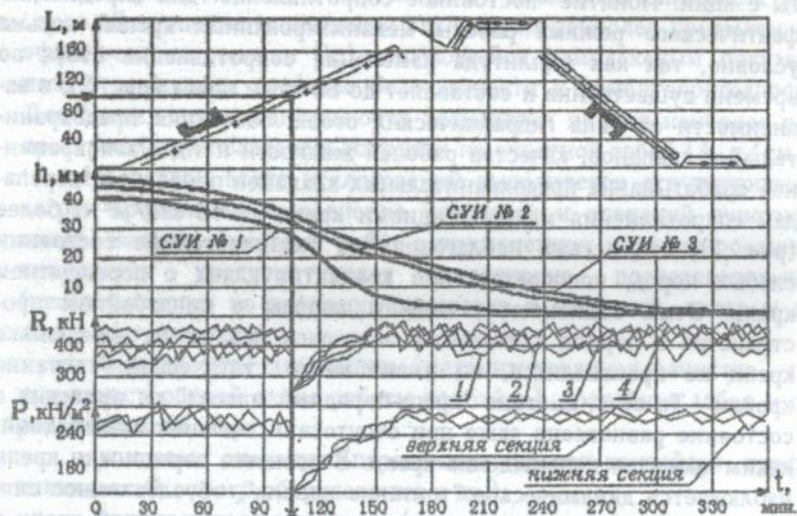
Рис. 1 Схема размещения оборудования на замерной станции

Для проведения инструментальных замеров, хронометражных и визуальных наблюдений в лаве оборудуется замерная станция (рис. 1). На стойках механизированной крепи устанавливаются манометры МП-3, показания которых фиксируются визуально с интервалами 30 мин., а во время прохода комбайна и передвижки секций крепи в районе замерной станции через каждые 2 минуты.

На замерной станции выполняются также наблюдения за конвергенцией вмещающих пород. Для этого в кровле и почве пласта устанавливаются контурные реперы с шагом 0,8 м, соответствующим величине подвигания забоя лавы за один цикл. Конвергенция пород измеряется стойками СУИ-2 и индикаторами часового типа ИЧТ-0,01 одновременно в трех точках по ширине призабойного пространства. Конвергенция пород в выработанном пространстве измеряется дистанционно с помощью реостатных стоек СР и прибора ИИД-3. Расстояние от груди забоя до точки первого контакта перекрытия с кровлей фиксируется на каждом цикле передвижки крепи. Состояние пород кровли - заколы, трещины, вывалы и т.д., а также величина устойчивых обнажений в выработанном пространстве фиксируется с помощью фотоаппарата.

Первая замерная станция оборудуется в 10 м от сопряжения лавы с транспортным штреком и наблюдения проводятся в течение 6...12 рабочих смен. Затем станция перемещается вверх по лаве

ханизированных крепей установлено, что рабочее сопротивление крепей составляет в среднем около 85% номинальных параметров, что свидетельствует о не полном использовании силовых ресурсов механизированных крепей в условиях легкообрушаемых и среднеобрушаемых пород. Расстояние от консолей перекрытия до груди забоя изменяется от 0,3 до 0,7 м, составляя в среднем 0,5 м, что в 1,6 раза превышает допустимую величину (рис. 1) и повышает вероятность потери устойчивости незакрепленных пролетов кровли.



Условные обозначения:

- выемка угля комбайном;
- передвижка концевых головок конвейера;
- зачистка почвы;
- передвижка секций механизированной крепи;
- место дислокации замерной станции;
- передвижка става конвейера;
- передвижка секций с замерной станцией.

Рис. 2 Планограмма работ в лаге, графики конвергенции пород (h), фактические рабочие характеристики гидравлических стоек (R) и механизированной крепи (P)

Результаты наблюдений по одной из наиболее характерных смен представлены на рис. 2. Графики абсолютной конвергенции (h) и фактические рабочие характеристики крепи (R , P), совмещенные с планограммой работ, наглядно демонстрируют взаимосвязь между интенсивностью геомеханических процессов в породном массиве и технологическими операциями (выемка угля и крепление) в очистном забое. Наиболее интенсивная конвергенция

вмещающих пород происходит после прохода комбайна в средней части призабойного пространства (стойка № 1) на расстоянии 1,2...1,6 м от груди забоя лавы. При этом в непосредственной кровле возникают растягивающие напряжения, которые приводят к раскрытию трещин, расслоению пород и вывалообразованиям в призабойном пространстве.

Значительное влияние на устойчивость кровли оказывает режим работы крепи - изменение во времени сопротивления и высоты секций. Понятие "постоянное сопротивление" для определения фактического режима работы механизированных крепей весьма условно, так как амплитуда изменения сопротивления стоек во времени существенна и составляет до 80 кН и более (рис. 2), в зависимости от типа гидравлических стоек, состояния предохранительных клапанов, качества рабочей жидкости и т.д. Разновременное срабатывание предохранительных клапанов приводит к перепадам сопротивления между секциями крепи до 60 кН/м² и более (рис. 2), что весьма неблагоприятно сказывается на состоянии слабых пород, непосредственно контактирующих с перекрытием крепи. Этим объясняются вывалы породы в призабойном пространстве в период длительных остановок лав, когда передвижка крепи не производится, но имеет место статическое "топтанье кровли". То есть, система "крепь-породный массив" не приходит в состояние равновесия даже при отсутствии внешних воздействий, каким является перемещение крепи. В процессе передвижки крепи наблюдается динамическое "топтанье кровли", обусловленное снятием распора при перемещении секций механизированной крепи к забою, которое также отрицательно воздействует на нижний слой пород кровли.

Для неустойчивых пород необходимы крепи бесступенчатой податливости, сопротивление которых изменяется в зависимости от конвергенции вмещающих пород с сохранением равновесия системы "крепь-породный массив". Крепь должна иметь высокое быстроедействие при передвижке для сокращения времени существования обнаженных пролетов кровли. Надежность крепи должна быть достаточной для дистанционного выполнения процессов крепления и управления кровлей без присутствия людей в очистном забое.

В третьей главе изложены теоретические основы и результаты математического моделирования технологической надежности и производительности производственных процессов очистных работ.

Производственный процесс, как объект исследования представляет собой систему, включающую следующие элементы: операции, действия, движения и т.д. Параметры функционирования такой системы определяются значениями временных факторов - продолжительностью выполнения штатных (предусмотренных технологическим паспортом) и нештатных операций (устранение отказов). Математическая модель системы представляет собой функциональную зависимость параметра от множества влияющих факторов. Для оценки надежности технологии наиболее приемлем коэффициент готовности (k_r), являющийся комплексным показателем, отражающим свойства безотказности и ремонтпригодности. Для оценки производительности технологии принят наиболее распространенный показатель нагрузки на очистной забой (A , т/см.).

На первом этапе исследований выполняется структуризация затрат времени на выполнение процессов и операций очистного цикла. Ведение очистных работ с применением механизированных комплексов предусматривает выполнение последовательных (несовмещенных во времени) процессов и операций, которые делятся на три группы:

- выемка угля комбайном (механизированная зачистка угля при односторонней схеме работы комбайна), крепление забоя и передвижка конвейера;
- концевые операции (передвижка головок конвейера, профилактический осмотр оборудования и др.);
- прочие затраты времени (прием-сдача смены, буровзрывные работы и др.).

Особую категорию операций составляют нештатные - обусловленные необходимостью устранения отказов. Продолжительность выполнения нештатных операций определяется временем простоев по внутрилавным причинам. Вторую группу простоев составляют остановки по причинам, зависящим от общешахтного и участкового транспорта, из-за перебоев в снабжении электроэнергией и др.

Внутрилавные простои, в зависимости от вызывающих их причин, делятся на следующие группы:

- непроизводительные затраты времени в процессе выемки угля;
- непроизводительные затраты времени в процессе транспортирования угля к подготовительной выработке;
- непроизводительные затраты времени в процессе крепления

и управления кровлей;

- непроизводительные затраты времени при выполнении концевых операций, проведения противобросных мероприятий, буровзрывных работ, упрочнения пород и др.

Структура затрат времени выполнения процессов и операций в комплексно-механизированном очистном забое представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура затрат времени на выполнение производственных операций в очистном забое

Работоспособное состояние очистного забоя (штатные процессы и операции)	Выемка, зачистка и транспортирование угля, крепление и управление кровлей	t_1
	Концевые операции	t_2
	Прочие процессы и операции	t_3
Неработоспособное состояние очистного забоя, или простои по внутрилавным причинам в технологическом процессе (нештатные операции)	Въемка угля (комбайн)	t_4
	Транспортирование угля (конвейер)	t_5
	Крепление и управление кровлей (механизированная крепь)	t_6
	Прочие внутрилавные простои	t_7
Простои по внелавным причинам	Общешахтный транспорт	t_8
	Энергоснабжение	t_9
	Прочие внелавные простои	t_{10}

Как и любая технология, комплексно-механизированная выемка угля характеризуется определенной цикличностью выполнения процессов и операций во времени. Въемка угля комбайном осуществляется одновременно с передвижкой секций механизированной крепи и става конвейера. Исключения составляют технологии, предусматривающие одностороннюю схему работы комбайна, или фронтальную передвижку конвейера. В этом случае процессы не совмещаются во времени. Концевые операции предусматривают передвижку головок конвейера, профилактический осмотр и мелкий ремонт комбайна и др. К прочим производственным затратам времени относятся концевые операции, буровзрывные работы, мероприятия по дегазации, упрочнению пород и др.

Рассмотрение технологии очистных работ, как взаимосвязанной системы (совокупности) приемов и способов добычи угля позволяет формализовать зависимости надежности и производительности комплексно-механизированных технологий от продолжитель-

ности производственных процессов и операций. Математические модели системы "очистные работы" позволяют установить закономерности формирования надежности и производительности для различных вариантов компоновки механизированных комплексов.

Сравнительный анализ методов математического моделирования многомерных объектов показал, что для формирования математических моделей надежности и производительности комплексно-механизированных технологий очистных работ наиболее приемлем метод группового учета аргументов, позволяющий получать наиболее точные и устойчивые модели при решении многофакторных задач в условиях дефицита информации и высокой зашумленности результатов шахтных экспериментов.

С помощью разработанного алгоритма получены математические модели комплексно-механизированных технологий с наиболее распространенными вариантами комплектации оборудования в представительных для Донецкого угольного бассейна горногеологических условиях.

Так, для механизированного комплекса КМК97М с компоновкой оборудования - МК98, 1К101У, СП202 - получены следующие математические модели (условные обозначения факторов приведены в табл. 1):

$$k_r = 0,75 - 1,21 \cdot 10^{-8} \cdot t_2^2 \cdot t_4 \cdot t_6 + 3,89 \cdot 10^{-6} \cdot t_1^2 - 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot t_2 - 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot t_4, \quad (1)$$

$$A = 164 + 15 \cdot 10^{-3} \cdot t_1^2 - 223 \cdot 10^{-4} \cdot t_5^2 + 1,4 \cdot t_1 - 615 \cdot 10^{-2} \cdot t_6. \quad (2)$$

Модели (1) и (2) имеют следующие ограничения, обусловленные принятыми величинами доверительной вероятности 0,9 и максимальной относительной ошибки 0,1:

$$30 < t_1 < 248, 26 < t_2 < 76, 19 < t_4 < 49, 0 < t_5 < 62, 0 < t_6 < 123. \quad (3)$$

Аналогичные зависимости получены для всех вариантов компоновки механизированных комплексов. Анализ установленных зависимостей показал, что наиболее производительными и надежными в эксплуатации являются механизированные комплексы: КМ137 с компоновкой оборудования М137, КА80, СПЦ162 и КД80-Донбасс-80, КА80, СПЦ162. Наименьшую надежность имеет комплекс 2МКДМ с компоновкой оборудования: Донбасс-2М, 1К101У, СП202.

Наибольшее отрицательное влияние на надежность и производительность комплексно-механизированных технологий оказывает процесс крепления и управления кровлей: влияние фактора t_6 существенно превалирует над остальными факторами. Наиболее заметно влияние этого фактора в технологии выемки угля с меха-

низированными крепями 1МК103 и Донбасс-2М.

Процесс выемки угля оказывает меньше влияния на производительность и надежность комплексно-механизированных технологий, чем крепление и управление кровлей: влияние фактора t_4 меньше, чем t_6 . Однако, в комплексах с использованием комбайнов 1К101У и К103М отрицательное влияние процесса выемки угля существенно снижает надежность и производительность технологий в целом.

Процесс транспортирования угля, выполняемый с использованием конвейеров СП202 отрицательно сказывается на формирование надежности и производительности комплексно-механизированных технологий, что подтверждается отрицательным влиянием фактора t_5 на параметры А и k_r .

Надежность технологических процессов преимущественно обуславливается надежностью используемых средств. Поэтому в системе "комбайн-конвейер-крепь" наименее надежным элементом является механизированная крепь. Она оказывает наибольшее отрицательное воздействие на формирование технологической надежности механизированных комплексов со всеми вариантами компоновок оборудования.

Основными факторами, определяющими эффективность функционирования крепи очистных забоев является характер и режим ее взаимодействия с кровлей, а также силовые параметры, которые обуславливаются геомеханическими процессами в породном массиве.

Четвертая глава посвящена обоснованию силовых параметров крепей в условиях неустойчивых пород кровли. Эта задача решалась путем моделирования геомеханических процессов в горном массиве с варьированием физико-механических характеристик вмещающих пород.

Сравнительный анализ методов моделирования геомеханических процессов показал, что для имитирования взаимодействия призабойной крепи с породным массивом наиболее приемлем метод конечных элементов, как менее трудоемкий по сравнению с моделированием на эквивалентных материалах и более точный, так как исключается применение масштабных коэффициентов и имитируются реальные условия природы. Этот метод не требует значительных материальных затрат, как поляризационно-оптический, и позволяет учитывать большее количество физико-механических характеристик пород, чем другие методы. Недостатком алгоритма ме-

тогда конечных элементов являются громоздкие многократно повторяющиеся вычисления матриц жесткости элементов. Поэтому количество элементов в решаемых задачах ограничивается возможностями (быстродействием и объемом памяти) используемых компьютеров.

Для решения задачи обоснования силовых параметров крепи разработан новый алгоритм моделирования геомеханических процессов в горном массиве, который реализован комплексом прикладных программ для персональных компьютеров. В отличие от известных алгоритмов, в разработанных программах используется впервые полученное аналитическое решение задачи формирования матриц жесткости элементов, что значительно повышает быстродействие вычислений и не требует значительного объема памяти компьютера. Наибольший эффект от использования нового алгоритма достигается при решении сложных задач имитирования геомеханических процессов на значительной площади горного массива, а также при решении задач моделирования взаимодействия крепи с неустойчивыми породами кровли, когда возникает необходимость сгущения сети элементов в местах высоких градиентов напряжений.

Для моделирования взаимодействия крепи с горным массивом разработана геомеханическая модель, представляющая собой вертикальный разрез от земной поверхности до глубины 1000 м. Размеры модели приняты априори при условии неизменности геостатических напряжений на границах. Общее количество элементов в расчетной схеме 2900, узлов - 1607 (рис. 3).

Физико-механические характеристики моделируемого массива пород (табл. 2) соответствуют показателям неустойчивых (B_2 , классификация Донуги) и малоустойчивых кровель (B_3), а также легкообрушаемых (A_1) и среднеобрушаемых (A_2).

Для оценки состояния горного массива (упругая деформация, или разрушение) в области деформаций сжатия используется критерий Кулона-Мора; деформации растяжения оцениваются величиной предела прочности пород при растяжении.

На первом этапе решения задачи проверяется условие равновесия модели. Расчеты выполняются для массива не подверженно-го влиянию горных работ и модель при этом должна сохранять геостатическое равновесие. Распределение напряжений в любом произвольном вертикальном сечении в точности повторяет картину распределения внешних сил на границах модели.

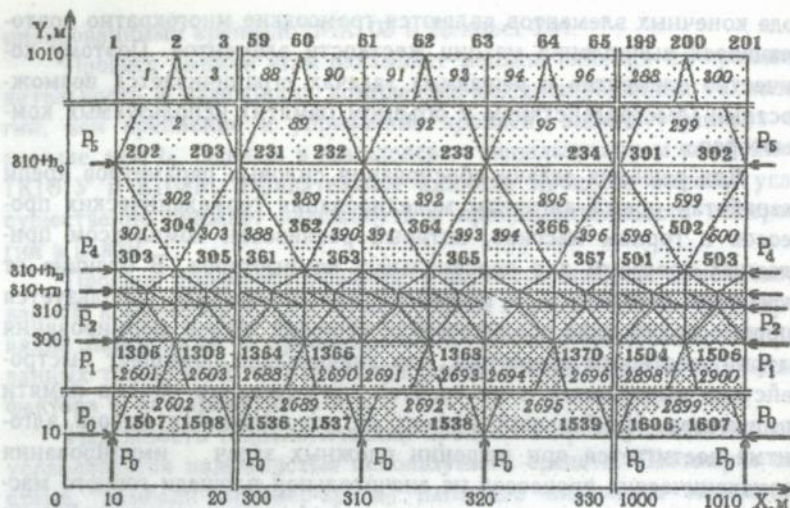


Рис. 3 Конечно-элементная расчетная схема к определению напряжений в породном массиве

Таблица 2
Комплекс исходных данных для определения напряжений в массиве

№№ элементов	Физико-механические характеристики						Категория пород (классификация Донути)
	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C, \text{Па}$	$\varphi, ^\circ$	$E, \text{Па}$	ν	$\sigma_n, \text{Па}$	
1-300	2500	$10 \cdot 10^6$	22	20000	0,32	$2 \cdot 10^6$	По обрушаемости: А ₁ А ₂
301-600	Основная кровля						
	2400	$15 \cdot 10^6$	35	25000	0,33	$3 \cdot 10^6$	
601-1200	Непосредственная кровля						По устойчивости: Б ₂ Б ₃
	2600	$20 \cdot 10^6$	40	30000	0,31	$4 \cdot 10^6$	
1201-2000	Угольный пласт						По устойчивости: П ₂₃
	1300	$3,4 \cdot 10^6$	37	4600	0,3	$0,6 \cdot 10^6$	
2001-2900	Почва						По устойчивости: П ₂₃
	2700	$13 \cdot 10^6$	35	22000	0,34	$2,6 \cdot 10^6$	

На втором этапе моделируется проведение разрезной печи, наличие которой вызывает незначительные смещения пород и пе-

перераспределений напряжений. В последующих этапах моделируется выемка угля путем увеличения пролета кровли в выработанном пространстве на величину подвигания забоя лавы. Расчеты выполняются до тех пор, пока не будет зафиксировано разрушение элементов, имитирующих основную кровлю, то есть, пока не произойдет первичное обрушение. Если первичная посадка произошла на k -ом этапе расчетов, то предыдущее $k-1$ решение принимается в качестве исходного для вычленения в модели участка меньших размеров, а полученные напряжения являются граничными условиями для исследуемой области (рис. 4).

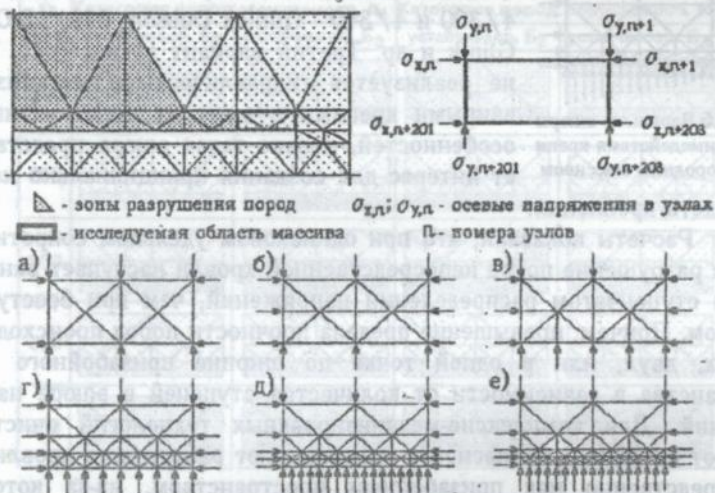


Рис. 4 Вычленение в расчетной схеме исследуемой области и порядок приложения внешних сил

В исследуемой области моделируется призабойная крепь путем приложения противодействующих сил к узлам элементов, имитирующих породы кровли в призабойном пространстве.

Таким образом, было сформировано четыре модели взаимодействия крепи с непосредственной кровлей для следующих сочетаний горногеологических условий залегания пласта:

- первая модель: A_1B_2 ;
- вторая модель: A_2B_2 ;
- третья модель: A_1B_3 ;
- четвертая модель: A_2B_3 .

В общем случае возможны три варианта эпюры распределения напряжений при взаимодействии призабойной крепи с кровлей

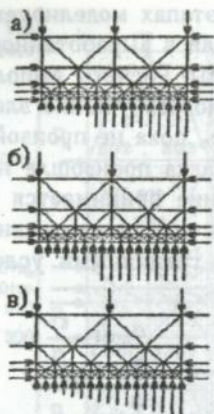


Рис.5 Варианты эпюры взаимодействия крепи с породным массивом

средств крепления.

Расчеты показали, что при одинаковом удельном сопротивлении разрушение пород непосредственной кровли наступает раньше, при ступенчатом распределении напряжений, чем при бесступенчатом. Причем, превышение предела прочности пород происходит в трех, двух, или в одной точке по ширине призабойного пространства в зависимости от количества ступеней в эпюре напряжений. Для комплексно-механизированных технологий очистных работ наибольшую опасность представляют разрушения кровли непосредственно над призабойным пространством, из-за которых возникают вывалы породы в лаве. Нарушение сплошности пород на границе выработанного и призабойного пространства не оказывает влияния на технологические процессы в лаве. Очевидно, что бесступенчатое распределение напряжений на контакте перекрытия крепи с непосредственной кровлей благоприятствует сохранению призабойного пространства лавы в работоспособном состоянии. Такое распределение внешних сил на нижней границе исследуемой области использовалось при моделировании взаимодействия призабойной крепи с непосредственной кровлей.

Призабойная крепь имитировалась путем приложения внешних сил на нижней границе моделей. Сопротивление крепи (R), при этом, изменялось от 200 до 400 kH/m^2 .

Расчеты показали, что при сопротивлении крепи 200 kH/m^2 и ниже в непосредственной кровле возникают растягивающие де-

(рис. 5). Первый вариант (рис. 5 а) характерен для крепей кустового типа, к которым относится механизированная крепь "Донбасс-2М". Наиболее распространенным является второй вариант эпюры (рис. 5 б). Такое распределение реакции вдоль перекрытия характерно для механизированных крепей "Донбасс-80", 1МК103, М137, МК98, а также для крепей KG240-6/17 и G300-5/15 фирмы Hemscheidt, WS 1.7 - Westfalia Lünen, H O. '8-1,35 - Klockner, 4/200, 4/300 и 4/340 - Gullick Dobson, 066/16-OzK - Glinik и др. Третий вариант эпюры (рис. 5 в) не реализуется гидравлическими механизированными крепями в силу их конструктивных особенностей, однако такая эпюра представляет интерес для создания принципиально новых

формации, которые превышают пределы прочности пород и вызывают разрушение непосредственной кровли на полную мощность (рис. 6). Частичное нарушение сплошности наблюдается при сопротивлении крепи 250 кН/м^2 в условиях малоустойчивых пород (B_3). Аналогичные по характеру разрушения происходят при сопротивлении крепи 350 кН/м^2 в условиях неустойчивых кровель (B_2). При сопротивлении крепи 400 кН/м^2 и выше в непосредственной кровле возникают сжимающие напряжения, под действием которых породы непосредственной кровли разрушаются на полную мощность.

R, кН/м ²	Категория пород обрушаемость A ₁		Категория пород обрушаемость A ₂	
	устойчивость B ₂	устойчивость B ₃	устойчивость B ₂	устойчивость B ₃
200				
250				
300				
350				
400				

- участки массива с упругими деформациями пород;
- участки массива с деформациями разрушения пород.

Рис. 6 Результаты моделирования взаимодействия крепи с кровлей

Очевидно, что как завышенное, так и заниженное сопротивление крепи неблагоприятно сказывается на устойчивости непосредственной кровли. Оптимальные силовые параметры крепи с учетом горно-геологических условий залегания пластов характеризуются следующими значениями:

- для пластов с неустойчивыми породами кровли $250...300 \text{ кН/м}^2$;
- для пластов со среднеустойчивыми породами кровли $300...350 \text{ кН/м}^2$.

Крепи очистных забоев, предназначенные для неустойчивых кровель должны работать в режиме рациональных силовых пара-

метров, соответствующих горногеологическим условиям залегания пласта. В существующих гидрофицированных крепях не предусматривается изменение силовых параметров для установления рациональных режимов взаимодействия с неустойчивыми породами. Поэтому крепи, адаптивные к неустойчивым кровлям, должны иметь принципиально новую конструкцию и базироваться на новых принципах взаимодействия с горным массивом.

Пятая глава посвящена разработке и реализации технологических решений нового уровня крепей очистных забоев для пластов с неустойчивыми породами кровли.

Результаты натуральных наблюдений за действующими очистными забоями, моделирование технологических процессов и имитирование взаимодействия призабойной крепи с горным массивом, показали, что неудовлетворительная работа механизированных крепей в условиях неустойчивых пород непосредственной кровли, обуславливается следующими причинами.

Ступенчатая податливость призабойной крепи в период между циклами ее передвижки вызывает энергетический дисбаланс системы "крепь-породный массив". При этом периодически возникает избыток энергии, который расходуется на разрушение пород, непосредственно контактирующих с перекрытием крепи. Т.е. имеет место эффект статического "топтанья кровли". Наряду с этим наблюдается динамическое "топтанье кровли", обусловленное разгрузкой крепи при передвижке.

Завышенное сопротивление крепи (более 350 кН/м^2) приводит к раздавливанию нижних слоев кровли и вывалам породы в призабойном пространстве лавы. Однако, и заниженное сопротивление крепи (менее 250 кН/м^2) приводит к расслоению нижних слоев кровли, нарушению их сплошности, разрушению и вывалам породы в лаве. Сопротивление крепи должно регулироваться в зависимости от физико-механических характеристик вмещающих пород, т.е. соответствовать горногеологическим условиям залегания пласта.

Очевидно, что крепи очистных забоев, предназначенные для отработки пластов с неустойчивыми кровлями, должны отвечать следующим требованиям:

- бесступенчатая податливость крепи, обеспечивающая равновесие системы "крепь-породный массив", для исключения неблагоприятного действия эффекта статического "топтанья кровли";
- перемещение крепи без потери контакта с кровлей для

($\mu=0,15...0,4$); φ - угол между наклонной поверхностью и горизонтальной плоскостью; L_1+L_2 - длина рычага, м.

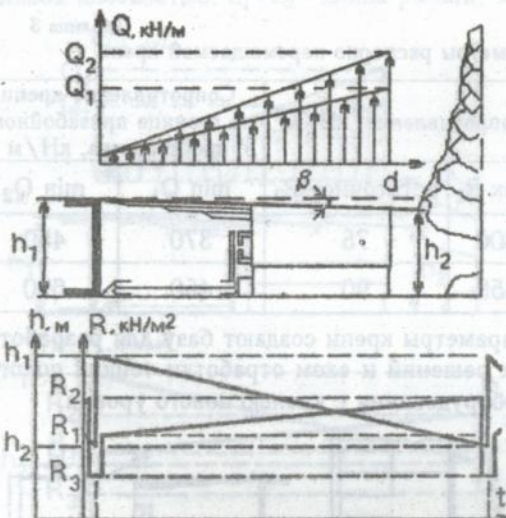


Рис. 9 Рабочие характеристики и режимы взаимодействия распорно-перемещаемой крепи с кровлей

Практический интерес представляют фактические рабочие характеристики крепи и режимы ее взаимодействия с породным массивом (рис. 9) - начальный распор (R_1), рабочее сопротивление (R_2), остаточный подпор при передвижке (R_3), сопротивление на границе призабойного пространства (Q), упругая податливость (h), а также динамика изменения параметров крепи в процессе нагружения.

Реальные рабочие параметры новой крепи установлены по результатам стендовых испытаний.

Для проведения стендовых испытаний и установления рабочих параметров крепи была изготовлена секция в натуральную величину. Вес крепи в сборе - 300 кг, а ее габаритные размеры по перекрытию: длина - 2100 мм, ширина - 560 мм, минимальная конструктивная высота - 500 мм. Испытания проводились на стенде, имитирующем участок лавы на пологом пласте мощностью от 0,6 до 1,0 м. В процессе стендовых экспериментов крепь испытывала нагрузку до 1000 кН. При этом, с помощью манометров фиксировались давление воздуха в пневмобаллонах (p , атм.); величина нагрузки (P , кН) и упругая податливость крепи (Δh , мм).

В процессе испытаний была достигнута устойчивая работа секции крепи в диапазоне изменения сопротивления поддерживающей части от 250 до 350 кН/м² и сопротивления на границе призабойного пространства от 400 до 600 кН/м. Работа секции крепи показала высокое быстродействие механизма ее передвижки и возможность перемещения с подпором 75...90 кН/м². В резуль-

тате стендовых экспериментов установлены рабочие параметры крепи (табл. 3).

Таблица 3
Рабочие параметры распорно-перемещаемой крепи

Категория пород, A_1	Удельное сопротивление, кН/м ²			Сопротивление крепи на границе призабойного пространства, кН/м	
	min R_1	max R_2	остаточное R_3	min Q_1	min Q_2
A_1	250	300	75	370	450
A_2	300	350	90	450	620

Установленные параметры крепи создают базу для разработки новых технологических решений и схем отработки тонких пологих пластов комплексами оборудования с крепью нового уровня.

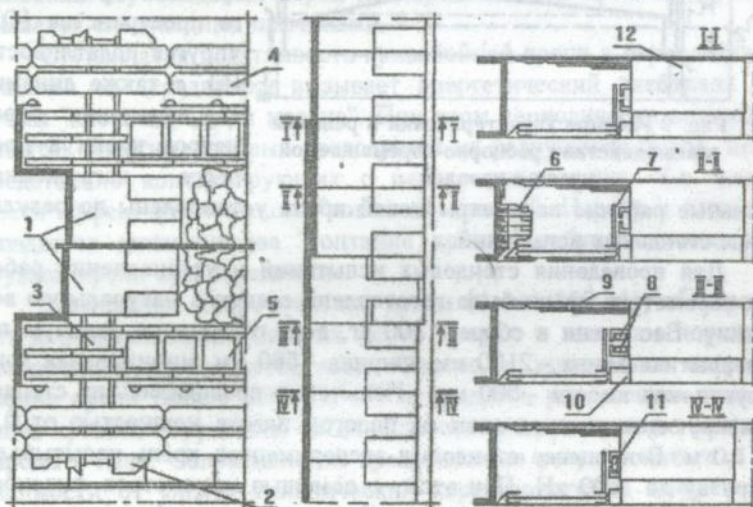


Рис. 10 Принципиальная технологическая схема выемки угля струговой установкой в комплексе с распорно-перемещаемой крепью

При применении распорно-перемещаемой крепи в комплексе со струговыми установками (рис. 10) секции 1 располагаются вплотную друг к другу, обеспечивая полное перекрытие кровли над рабочим пространством лавы. Исполнительный орган 6 струговой установки приводится в действие вынесенной системой подачи 2 и перемещается вдоль става скребкового конвейера 3. По мере продвижения струга снимается полоска угля толщиной 50...70 мм.

($\mu=0,15...0,4$); φ - угол между наклонной поверхностью и горизонтальной плоскостью; L_1+L_2 - длина рычага, м.

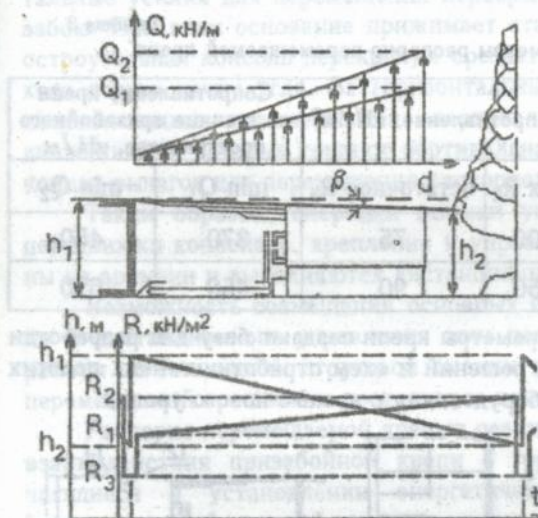


Рис. 9 Рабочие характеристики и режимы взаимодействия распорно-перемещаемой крепи с кровлей

Практический интерес представляют фактические рабочие характеристики крепи и режимы ее взаимодействия с породным массивом (рис. 9) - начальный распор (R_1), рабочее сопротивление (R_2), остаточный подпор при передвижке (R_3), сопротивление на границе призабойного пространства (Q), упругая податливость (h), а также динамика изменения параметров крепи в процессе нагружения.

Реальные рабочие параметры новой крепи установлены по результатам стендовых испытаний.

Для проведения стендовых испытаний и установления рабочих параметров крепи была изготовлена секция в натуральную величину. Вес крепи в сборе - 300 кг, а ее габаритные размеры по перекрытию: длина - 2100 мм, ширина - 560 мм, минимальная конструктивная высота - 500 мм. Испытания проводились на стенде, имитирующем участок лавы на пологом пласте мощностью от 0,6 до 1,0 м. В процессе стендовых экспериментов крепь испытывала нагрузку до 1000 кН. При этом, с помощью манометров фиксировались давление воздуха в пневмобаллонах (p , атм.); величина нагрузки (P , кН) и упругая податливость крепи (Δh , мм).

В процессе испытаний была достигнута устойчивая работа секции крепи в диапазоне изменения сопротивления поддерживающей части от 250 до 350 кН/м² и сопротивления на границе призабойного пространства от 400 до 600 кН/м. Работа секции крепи показала высокое быстродействие механизма ее передвижки и возможность перемещения с подпором 75...90 кН/м². В резуль-

тате стендовых экспериментов установлены рабочие параметры крепи (табл. 3).

Таблица 3
Рабочие параметры распорно-перемещаемой крепи

Категория пород, A_1	Удельное сопротивление, kH/m^2			Сопротивление крепи на границе призабойного пространства, kH/m	
	$\min R_1$	$\max R_2$	остаточное R_3	$\min Q_1$	$\min Q_2$
A_1	250	300	75	370	450
A_2	300	350	90	450	620

Установленные параметры крепи создают базу для разработки новых технологических решений и схем отработки тонких пологих пластов комплексами оборудования с крепью нового уровня.

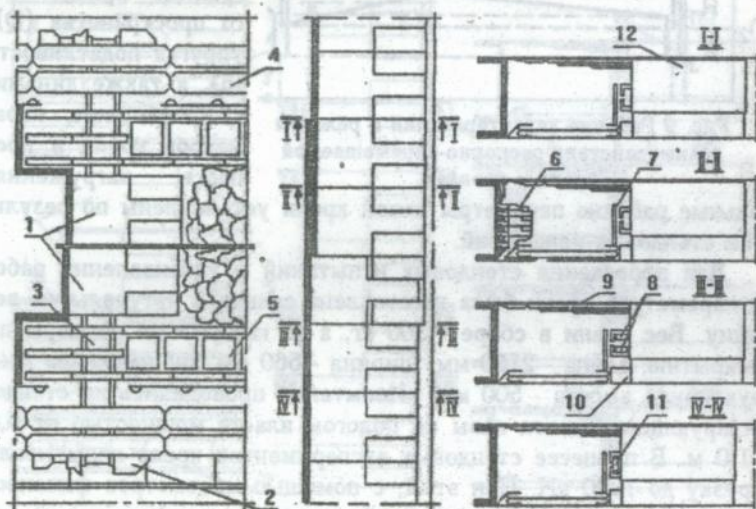


Рис. 10 Принципиальная технологическая схема выемки угля струговой установкой в комплексе с распорно-перемещаемой крепью

При применении распорно-перемещаемой крепи в комплексе со струговыми установками (рис. 10) секции 1 располагаются вплотную друг к другу, обеспечивая полное перекрытие кровли над рабочим пространством лавы. Исполнительный орган 6 струговой установки приводится в действие вынесенной системой подачи 2 и перемещается вдоль става скребкового конвейера 3. По мере продвижения струга снимается полоска угля толщиной 50...70 мм.

Вслед за проходом струга по направляющим перемещаются горизонтальные клиновые передвигчики 8, которые создают горизонтальные усилия для перемещения перекрытия 9 и основания 10 к забою. При этом основание прижимает став конвейера к забою, а остроугольная консоль перекрытия срезает оставшуюся после прохода струга пачку угля. За горизонтальными передвигчиками по направляющим перемещаются вертикальные клиновые передвигчики 11, которые создают вертикальные усилия на свободных концах рычагов для перемещения распорного модуля 12 к забою.

Таким образом, операции выемки угля, оформления забоя, передвигки конвейера, крепления и управления кровлей совмещены во времени и выполняются дистанционно.

Возможность совмещения основных операций очистного цикла и дистанционного управления ими позволяет вести очистные работы по технологии струговой выемки в комплексе с распорно-перемещаемой крепью без постоянного присутствия людей в забое.

Распорно-перемещаемой крепью реализуются новые принципы взаимодействия призабойной крепи с горным массивом, заключающиеся в установлении энергетического баланса системы "крепь-породный массив" для сохранения устойчивости пород непосредственной кровли. Сокращение количества операций в процессе крепления и управления кровлей, высокое быстроедействие крепи при передвигке ликвидирует длительные во времени и значительные по площади обнажения неустойчивых пород. Возможность перемещения крепи без потери контакта к кровлей исключает вредное влияние "топтанья кровли" при передвигке. Этими отличительными особенностями крепей нового уровня обеспечивается расширение области применения комплексно-механизированных технологий на пласты с неустойчивыми кровлями. Горногеологические и горнотехнические условия применения крепей нового уровня представлены в таблице 4.

В таблице 5 представлены сравнительные технические характеристики крепей, применяемых в комплексно-механизированных технологиях отработки тонких пологих пластов, и распорно-перемещаемой модульной крепи, которая реализует новый уровень крепей очистных забоев.

Преимущества новой крепи по сравнению с существующими крепями обуславливается следующим:

- крепь реализует принцип бесступенчатой податливости при взаимодействии с породным массивом и система "крепь-породный

массив" сохраняет равновесие, этим исключается вредный эффект статического "топтанья" кровли и обеспечивается возможность отработки пластов с неустойчивыми породами кровли;

Таблица 4
Горногеологические и горнотехнические условия применения распорно-перемещаемой крепи

Условия применения	Показатели
Диапазон вынимаемой мощности пластов, м	0,65...1,0
Угол падения пласта, град в пределах: при выемке по простиранию при выемке при выемке по восстанию	0...12 0...10
Характеристика пород по классификации ДонУГИ: непосредственной кровли по устойчивости основной кровли по обрушаемости	Б ₂ Б ₃ А ₁ А ₂
Система разработки	столбовая и комбинированная
Способ управления кровлей	полное обрушение

Таблица 5
Технические характеристики существующих механизированных крепей для тонких пластов и крепи РПМ

Показатели	Донбасс-2м	МК98	1МК103	Донбасс-80	М137	РПМ
Вынимаемая мощность пласта, м	0,95 - 1,20	0,75 - 1,25	0,71 - 0,95	0,85 - 1,10	0,80 - 1,40	0,65 - 1,0
Категории пород: -по обрушаемости -по устойчивости	А ₁ А ₂ Б ₄ Б ₅	А ₁ А ₂ Б ₄ Б ₅	А ₁ А ₂ А ₃ Б ₃ Б ₄ Б ₅	А ₁ А ₂ Б ₃ Б ₄ Б ₅	А ₁ А ₂ Б ₄ Б ₅	А ₁ А ₂ Б ₂ Б ₃
Соппротивление крепи, кН/м ²	380	315-325	500	480	350-450	250-350
Ширина призабойного пространства, м	3,7	3,8	4,7	5,1	5,5	2,1
Масса секции, кг	2900	2300	3300	6100	7500	300-500

- высокое быстродействие механизма передвижки крепи не сдерживает работу выемочного механизма и ликвидирует обнажения неустойчивых пород кровли в призабойном пространстве;

- отсутствием дорогостоящей гидроаппаратуры обуславливаются малые затраты на изготовление крепи, следовательно, бо-

лее низкая себестоимость угля по сравнению с традиционными технологиями.

Очевидно, что крепи нового уровня имеют широкую перспективу применения в сложных горногеологических условиях, когда угольные пласты имеют малую мощность и неустойчивые вмещающие породы. Так, ежегодный объем применения механизированных комплексов с крепями нового уровня составляет в Донском бассейне около 80 очистных забоев, которые в настоящее время из-за несоответствия горно-геологических условий залегания пластов техническим характеристикам механизированных крепей работают с нагрузкой менее 300 т/сут. В перспективе возможна замена механизированных крепей МК103, Донбасс-80, МК98, обрабатывающих тонкие пласты с присечкой боковых пород, крепями нового уровня. При этом потребность в новых крепях составит около 250 лавокомплектов ежегодно.

Дальнейшее развитие крепей нового уровня предполагает совершенствование их конструкций, с целью регулирования шага передвижки для применения в комплексах с выемочными механизмами, имеющими различную ширину захвата исполнительного органа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано теоретическое обобщение и решение научной проблемы, заключающейся в раскрытии особенностей взаимодействия крепи с неустойчивыми породами и разработке экспериментально-аналитического метода определения рациональных силовых параметров при создании нового уровня крепей очистных забоев, обеспечивающих повышение эффективности процесса крепления неустойчивой кровли в комплексно-механизированных технологиях выемки тонких пологих пластов.

Основные научные выводы и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлены особенности протекания геомеханических процессов в слабых породах непосредственной кровли при взаимодействии с крепями очистного забоя, заключающиеся в расслоении и деформировании пород с последующим обрушением в призабойное пространство вследствие статического "топтанья" крепей со ступенчатой податливостью. Разновременное срабатывание предохранительных клапанов и ступенчатая податливость крепи вызы-

вадет значительные по величине - до 60 кН/м^2 - перепады удельного сопротивления крепи в призабойном пространстве, а амплитуда изменения рабочего сопротивления достигает 80 кН и более в зависимости от типа гидравлических стоек, состояния предохранительных клапанов, качества рабочей жидкости и др. Система "крепь-породный массив" не приходит в состояние равновесия даже при отсутствии внешних воздействий, каким является перемещение крепи. В процессе передвижки крепи возникает динамическое "топтанье" кровли, обусловленное снятием распора при перемещении секций крепи к забою, что также отрицательно воздействует на нижний слой слабых пород.

2. Разработан новый принцип предотвращения разрушений пород на контакте с перекрытием крепи путем сохранения равновесия системы "крепь-породный массив" при применении крепей бесступенчатой податливости. Сопротивление крепи должно увеличиваться в соответствии с величиной конвергенции пород в призабойном пространстве лавы, а накапливаемая крепью потенциальная энергия переходить в кинетическую в период перемещения секции к забою, способствуя повышению скорости передвижки крепи.

3. Развита теория конечно-кусочной аппроксимации непрерывных функций для имитирования процессов сдвижения пород над призабойным пространством лавы при различных типах крепей по факторам их взаимодействия с горным массивом. Разработана геомеханическая модель горного массива, включающего угольный пласт со слабыми породами непосредственной кровли, и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния пород, отличающийся от известных алгоритмов метода конечных элементов использованием полученного впервые аналитического решения формирования матриц жесткости элементов, и поэтапным переходом от общего решения задачи к частному, при этом результаты расчетов на каждом этапе являются исходными данными для последующих этапов моделирования. Новый алгоритм реализован комплексом прикладных программ для персональных компьютеров, позволяющих имитировать значительные по площади участки горного массива, подверженного влиянию очистных работ.

Впервые установлены и обоснованы рациональные силовые параметры крепей очистных забоев со слабыми породами непосредственной кровли. Для условий легкообрушаемого (категория A_1) и среднеобрушаемого (A_2) массива пород установлено, что при

неустойчивой непосредственной кровле (B_2) сопротивление крепи должно находиться в пределах от 250 до 300 кН/м²; при малоустойчивой (B_3) кровле – от 250 до 350 кН/м². Если сопротивление крепи выходит за установленные пределы, то в непосредственной кровле возникают деформации, приводящие к разрушению пород и обрушению в призабойное пространство.

4. Разработан численно-экспериментальный метод моделирования производственных процессов в очистных забоях, базирующийся на основных положениях теории группового учета аргументов при восстановлении многофакторных зависимостей, селекции исходных данных с использованием теории планирования экспериментов и математической статистики. Алгоритм реализован пакетом прикладных программ для персональных компьютеров, позволяющих по результатам краткосрочных хронометражных наблюдений в очистных забоях формировать математические модели надежности производственных процессов и производительности оборудования механизированных комплексов, имеющие высокую точность в поле исходных данных и при экстраполяции.

Впервые установлены закономерности формирования надежности комплексно-механизированных технологий очистных работ в наиболее представительных для Донецкого угольного бассейна горногеологических условиях залегания пластов. Наибольшее деструктивное воздействие на формирование технологической надежности и производительность очистных забоев оказывает процесс крепления и управления кровлей. Это обусловлено высокой инертностью гидрофицированных крепей при передвижке, что сдерживает продвижение выемочного механизма и способствует появлению незакрепленных пролетов кровли в призабойном пространстве. Технологии крепления неустойчивых кровель должны базироваться на применении крепей с высоким быстродействием при передвижке, исключаям обнажения пород.

5. Сформулированы и обоснованы требования к крепям очистных забоев тонких пологих пластов с неустойчивыми кровлями:

- бесступенчатая податливость крепи, обеспечивающая равновесие в системе "крепь-породный массив", для исключения неблагоприятного воздействия "топтанья кровли" в статическом положении крепи;

- перемещение крепи без потери контакта с кровлей для уменьшения неблагоприятного воздействия на сплошность пород динамического "топтанья кровли";

высокое быстродействие механизма передвижки и малооперационное выполнение процессов крепления и управления кровлей, обеспечивающее безостановочную работу выемочного механизма и исключающее длительные во времени и значительные по площади обнажения кровли;

надежность выполнения процессов крепления и управления кровлей достаточная для обеспечения технологии выемки угля без постоянного присутствия людей в забое.

Реализация этих требований позволяет создавать крепи очистных забоев нового уровня, сохраняющие равновесие в системы "крепь-породный массив" и не допускающие расслоение и разрушение пород непосредственной кровли, имеющие рациональные для конкретных условий эксплуатации силовые параметры, отличающиеся высоким быстродействием механизма передвижки и исключающие длительные и значительные по площади обнажения пород, обеспечивающие дистанционное выполнение процесса крепления и надежность, достаточную для реализации технологии ведения очистных работ без постоянного присутствия людей в лаве.

6. Разработана принципиально новая крепь для использования в комплексно-механизированных технологиях очистных работ на тонких пластах с неустойчивыми кровлями. Крепь реализует принцип бесступенчатой податливости; ее сопротивление зависит от величины конвергенции вмещающих пород, а система "крепь-породный массив" находится в равновесии, что способствует сохранению устойчивости кровли в призабойном пространстве. Предложена технологическая схема ведения очистных работ на тонких пологих пластах комплексом оборудования с крепью нового уровня. По новой технологии операции выемки угля, оформления забоя, передвижки конвейера, крепления и управления кровлей совмещены во времени и выполняются дистанционно, что позволяет вести очистные работы без присутствия людей в забое. Обоснована область применения и рабочие параметры крепи нового уровня. При выемке угольных пластов мощностью до 1,0 м с углом падения до 12° в условиях неустойчивых и малоустойчивых пород непосредственной кровли удельное сопротивление крепи изменяется от 250 до 300 кН/м² при легкообрушаемой основной кровле; 300...350 кН/м² – при среднеобрушаемой. Силовые параметры крепи находятся в пределах рациональных значений сопротивления крепей для условий неустойчивых и малоустойчивых пород кровли.

Ежегодный объем применения механизированных комплексов

с крепями нового уровня составляет около 80 очистных забоев Донецкого угольного бассейна. В перспективе потребность в новых крепях составит около 250 лавокомплектов ежегодно.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Антипов И.В. Шахтные наблюдения конвергенции и дивергенции вмещающих пород на весьма тонких пластах//Техника и технология горного производства//Сб. науч. тр. ИГТМ АН Украины.- Днепропетровск, 1990.- С. 18 - 19.

2. Антипов И.В. Определение допустимых обнажений кровли в призабойном пространстве лав//Известия вузов. Горный журнал.- 1991.- № 3.- С. 36 - 39.

3. Антипов И.В. Оптимизация продолжительности процессов очистных работ//Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- 1991.- Вып. 90.- С. 23 - 28.

4. Антипов И.В. Системный подход и его применение в горном деле//Сб. докл. науч.-методич. конф. "Методологические проблемы науки и техники в условиях ускорения социально-экономического развития".- Донецк, 1988.- С. 113 - 114.

5. Антипов И.В. Структурный анализ затрат времени выполнения процессов очистного цикла//Сб. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов угольной промышленности "Системный подход в горном деле. Проблемы, теория, методы".- М., 1991.- С. 28 - 31.

6. Антипов И.В. Новые принципы крепления лав без присутствия людей//Сб. докл. Всесоюзной науч.-технич. конф. "Система "человек-машина-среда" в горном деле. Настоящее и будущее".-М., 1990.-С.110-113.

7. Антипов И.В. Малооперационная технология отработки весьма тонких пластов//Сб. докл. II семинара в Алма-Ате, 23-27 сентября 1991 г. "Теория и практика комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и обогащения минерального сырья".- М., 1992.- С. 22 - 24.

8. Антипов И.В. Квазидискретная модель нижнего слоя пород кровли//Сб. докл. X Всесоюзной научной конф. вузов СССР "Физические процессы горного производства".- М., 1991.- С. 46-47.

9. Антипов И.В. Геомеханическая модель призабойной части породного массива//Сб. тез. докл. науч.-технич. конф. по завершнным НИР, ч. 1.- Донецк: ДПИ, 1991.- С. 26 - 27.

10. Антипов И.В., Корнеев М.В. Моделирование надежности технологических процессов методом группового учета аргументов//Сб. докл. Всесоюзной науч.-технич. конф. "Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников".- М., 1990.- С. 202 - 204.

11. Антипов И.В., Поважный С.Ф. Шахтные исследования особенностей взаимодействия механизированных крепей с вмещающими породами // Известия вузов. Горный журнал.- 1994.- № 3.- С. 45 - 50.

12. Сапицкий К.Ф., Антипов И.В. Современный уровень и перспективы развития механизированных крепей для тонких пластов // Известия вузов. Горный журнал.- 1994.- № 7.- С. 20 - 26.

13. Сапицкий К.Ф., Антипов И.В. VI Международный симпозиум в Устринь-Заводже (ПНР) "Некоторые проблемы эксплуатации шахт на больших глубинах" // Уголь Украины.- 1995.- № 1.- С.39 - 40.

14. Ярембаш И.Ф., Антипов И.В. Математическая теория катастроф как методологическое средство моделирования в горном деле // Сб. докл. Респ. науч.-методич. конф. "Научно-техническое творчество: методологические и социально-экономические проблемы".- Донецк, 1990.- С. 31- 33.

15. Бондаренко Ю.В., Антипов И.В. Имитирование состояний массива горных пород методом конечных элементов // "Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников".- М., 1990.- С. 110 - 111.

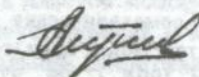
16. Бондаренко Ю.В., Антипов И.В., Телачко В.И. Допустимые обнажения кровли при выемке тонких пологих пластов // Уголь.- 1991.- № 5.- С. 15 - 17.

17. Antipov I.V., Jarembash I.F. The peculiarities of interaction between powered support and immediate roof in the very thin seams.- International Scientific Conference on the occasion of 50th anniversary of moving the Technical University from Pribram to Osrava.- P. 74 - 80.

18. Sapicki K.F., Antipov I.V. The present state and the prospects of the development of mechanised wall lining constructions for small seam thickness.- VI Sympozjum "Wybrane problemy eksploatacji zloz na duzych glebokosciach".- Gliwice, 1994.-P. 95-110.

19. А.с. № 1566043, МКИ E21D 23/10 23/14. Секция механизированной крепи.

Соискатель:



И.В. Антипов

АНОТАЦІЯ

Антипов І.В. Геомеханічні та технологічні основи створення нового рівня кріпленнь очисних вибоїв тонких пологих пластів.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 - "Підземна розробка родовищ корисних копалин", Донецький державний технічний університет, Донецьк, 1996.

Дисертаційна робота присвячена проблемі відробки тонких пологих вугільних пластів в умовах нестійких порід безпосередньої покрівлі. Вперше експериментально в шахтних умовах розкрито явище топтання покрівлі в статичному положенні кріплення. Встановлено закономірності деформування слабких порід на контакті перекриття привибійного кріплення з покрівлею, а також розроблено нові принципи запобігання розривних деформацій нестійких порід у привибійному просторі лави. Встановлено та теоретично обґрунтовано раціональні силові параметри та режими взаємодії кріпленнь безступінчастої піддатливості з нестійкими породами покрівлі очисного вибою. Розроблено технологію кріплення очисних вибоїв, яка базується на застосуванні кріпленнь нового рівня та забезпечує підвищення ефективності відробки тонких пологих пластів з нестійкими покрівлями.

Ключові слова: вугільний пласт, гіричний масив, нестійка покрівля, механізоване кріплення, технологія очисних робіт, геомеханічні процеси.

SUMMARY

Antipov I.V. Geomechanical and technological grounds of the new level supports creation in the longwall faces of the thin seams.

Dissertation is in order to search the Doctor of Technical Sciences degree on speciality 05.15.02 - "Underground mining of useful mineral deposits", the Donetsk State Technical University, Donetsk, 1996.

The dissertation is devoted to the problem of mining of thin flat coal seams under unstable immediate roof conditions. For the first time experimentally under mining conditions the phenomenon of periodic exert an upward force on immediate roof in stationary state of hydraulic support is opened. The regulations of weak rocks deformation on the contact of the powered support canopy with the immediate roof are established and the new principles of unstable rock fractural deformations preventing in face area are designed. Rational force parameters and regimes of interaction between unstepwise yielding powered support and unstable rock of longwall are adjusted and theoretically validated. Support setting technology of longwall is worked out. It is used the powered supports of the new level, ensuring the effective mining of thin flat coal seams under unstable immediate roof conditions.

4в33,943
АВ 33.943

Сдано в производство 01.12.95 Формат 60x90/16.
Офф.печ. Тираж 100 Заказ 970. Уч.-изд.л. 2.00.
ЦБНТИ угольной про: змленности
Цех оперативной полиграфии
3400000 г.Донецк, ул.Артема, 60