

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ДОНЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

КЛИШИН Николай Кузьмич

УДК 624.138.4:
622.112.3:556.332.4

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ
УПРОЧНЕНИЯ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

05.15.02 — «Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ДОНЕЦК 1994

1020.110
Работа выполнена в Донбасском горно-металлургическом институте (ДГМИ).

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Кошелев К.В.; доктор технических наук, профессор Ильющенко В.Г.; доктор технических наук, профессор Усаченко Б.М.

Будущее предприятие - Донецкий научно-исследовательский угольный институт (ДонУГИ).

Защита состоится 15 апреля 1994 г. в 12 час. на заседании специализированного совета Д 068.20.02 в Донецком ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете по адресу:
г. Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "11" 03 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук

В.И. ЧЕРНЯЕВ

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00801585 (R)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Упрочнение массива горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок необходимо для создания условий работы современных комплексов оборудования, повышения безопасности и эффективности отработки участков с неустойчивой кровлей, в районах геологических нарушений и в других неблагоприятных горно-геологических условиях. В Донецком бассейне ежегодно лавами переходят до 700 разрывных геологических нарушений и участки ложной кровли, общая площадь которых составляет 4 млн. м². В этих условиях скорость подвигания лав на 30 - 40 % меньше, себестоимость 1 т угля в 1,5 - 2 раза, а зольность угля на 2 - 4 % больше, чем на участках с устойчивой кровлей.

Технология упрочнения пород нагнетанием составов применяется в 30 - 40 лавах, химическое анкерование в 140, что составляет менее 20 % лав со сложными условиями. Увеличение объема применения упрочнения пород сдерживается значительным ростом стоимости скрепляющих материалов, услуг. Для снижения затрат на бурение шпуров и для уменьшения расхода составов при существующей технологии необходимо оперативно определять длину шпуров и расстояние между ними на участке упрочнения кровли. Важнейшим направлением повышения эффективности упрочнения является разработка малооперационной автоматизированной технологии. Применительно к очистным забоям в условиях ограниченного пространства, непрерывно выполняемых основных процессов по добыче угля, перспективной является беспшуровая малооперационная технология упрочнения. Для её автоматизации необходимо разработать метод определения границ участка неустойчивого состояния кровли во время выемки угля. Решение этих задач должно основываться на глубоком изучении свойств нарушенных пород: трещиноватости, проницаемости, прочности, морфологии поверхностей; закономерностей механических процессов, происходящих в массиве, упрочненном по беспшуровому способу, т.е. на геомеханической основе.

Таким образом, создание геомеханических основ системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли в очистных забоях для разработки малооперационной автоматизированной технологии и обоснования параметров упрочнения, обеспечивающих повышение эффективности отработки участков с неустойчивой кровлей, является актуальным.

Связь темы диссертации с планами НИР. Диссертация выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ ДГМИ, Постановлением ГКНТ СССР и Госплана СССР №472/248 от 12.12.80 г. по проблеме 0.05.03 и отражена в отчетах НИР №ГР 7303273, 74029892, 78061412, 81014848, 01830005870, 08500042159, 018600061910, 0187000030789, 01890020987, 01900003809 и др., по которым автор являлся научным руководителем.

Цель работы. Разработать систему контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях для повышения эффективности работы лав при неустойчивой кровле.

Идея работы заключается в использовании закономерностей фильтрационных, сейсмоакустических, структурно-механических свойств нарушенных кровель в очистных забоях для установления параметров технологии упрочнения пород нагнетанием составов и для разработки геомеханических основ принципиально новой малооперационной автоматизированной системы контроля состояния и упрочнения кровли на протяженных участках лав.

Методы исследования. В работе использован комплексный метод исследований, включающий натурный, лабораторный и аналитический методы с применением стандартных методик, методов математической статистики, математического планирования экспериментов и специально разработанных приборов, устройств, моделей из эквивалентных материалов.

Основные научные положения, вносимые на защиту, и их новизна.

1. Установленные впервые количественные зависимости для определения проницаемости нарушенных кровель, учитывающие особенности проявления горного давления на протяженных и концевых участках лав, и закономерности прохождения сейсмоакустических волн от резца, разрушающего породу при бурении шпура, и позволяющие определять параметры расположения шпуров при упрочнении пород нагнетанием составов.

2. Аналитическая зависимость для определения мощности упрочненного полимерным составом слоя кровли, учитывающая зависание искусственно созданной отдельности кровли вдоль лавы, тип крепи и параметры технологии вземки угля и крепления лавы.

3. Экспериментально и теоретически установленные закономерности формирования и количественные зависимости для определения реакции скрепляющего слоя при бесшпуровом способе упрочнения кровли на протяженных участках лав, учитывающие расстояние между

трещинами, их направление относительно угольного забоя и наклон к плоскости напластования, мощность склоновых пород к обрушению пород и отдельных слоев, ширину захвата выемочной машины.

4. Установленные количественные зависимости для определения интенсивности сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна, учитывающие устойчивость кровли, и разработанный на их основе критерий для определения границ неустойчивого состояния кровли, обнажаемой при выемке угля.

5. Аналитический метод расчета параметров защитного слоя на поверхности кровли в лаве, учитывающий деформацию пород под влиянием процессов выемки угля и крепления лавы при различных схемах передвижения крепи.

Вносимые на защиту научные положения составляют геомеханические основы системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли в очистных забоях и позволяют создать новую малооперационную автоматизированную технологию упрочнения, а также научно обосновать параметры применяемой технологии упрочнения кровель в лавах нагнетанием составов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается соответствием принятого направления разработки геомеханических основ системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли основным закономерностям проявления горного давления в окрестности очистных и подготовительных выработок; корректным применением методов теории упругости, теории предельного равновесия сыпучей среды, строительной механики и метода моделирования эквивалентными материалами; значительным объемом информации, полученной при экспериментальных исследованиях в шахтных и лабораторных условиях; удовлетворительной сходимостью расчетных и фактических результатов, положительными результатами внедрения научных и практических рекомендаций, обеспечивающих повышение эффективности работы лав в условиях неустойчивой кровли.

Научное значение работы заключается в раскрытии закономерностей взаимной связи между фильтрационными, сейсмоакустическими, структурно-механическими свойствами неустойчивой кровли. Эти закономерности являются геомеханической основой выбора экспериментальных и аналитических методов обоснования параметров системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях.

Экспериментально установленные закономерности формирования реакции скрепляющего слоя вносят принципиально новое представление

о возможности использования остаточной прочности нарушенного массива пород при их упрочнении. На основе закономерностей раз работан беспулевой способ упрочнения кровли на протяженных участках лав.

Разработан аналитический метод расчета мощности упрочненного полимерным составом слоя кровли, который позволяет проектировать и обосновывать параметры технологии упрочнения пород с учетом типа крепи и параметров крепления лавы.

Выявленный характер деформирования участка кровли, сложенной твердыми слоистыми трещиноватыми породами и упрочненной по беспулевому способу, подобный деформированию сыпучей среды, дополняет область представлений о природе механических процессов в дискретной среде.

В предложенной типизации подлежащих упрочнению кровель, классификационным признаком в которой является остаточная прочность нарушенного массива пород, использован объективный, обобщенный показатель состояния массива горных пород - интенсивность сейсмоакустических волн.

Практическое значение работы заключается в разработке системы контроля состояния и упрочнения кровли, и в обосновании её параметров, что обеспечивает повышение эффективности работы очистных забоев в условиях неустойчивой кровли.

Разработаны методы: определения проницаемости нарушенных пород по интенсивности сейсмоакустических волн от реза, разрушающего породу при бурении шпура; установления границ участков неустойчивой кровли в лаве по интенсивности сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна.

Предложен принципиально новый беспулевой способ упрочнения кровли на протяженных участках лав и обоснованы его параметры. Сущность способа заключается в нанесении синтетического клея на поверхность вывала из кровли в лаве и на поверхность обнажаемой при выемке угля кровли. Отвержденный состав предотвращает вывалы породы.

Предложена принципиально новая малооперационная автоматизированная система контроля состояния и упрочнения кровли на протяженных участках лав и обоснованы её параметры. Сущность системы заключается в следующем. При выемке угля комбайном автоматически измеряется интенсивность сейсмоакустических волн, проходящих от работающего исполнительного органа комбайна, разрушающего уголь, через породы кровли, обнажаемые при выемке, приемником, плотно

прижатых к кровле. При уровне интенсивности сейсмоакустических волн, равном или ниже уровня интенсивности, при котором возможно обрушение кровли, на участок кровли между исполнительным Органом и приемником волн автоматически наносится скрепляющий состав. После его отверждения образуется прочный защитный слой, препятствующий обрушению кровли в призабойное пространство.

Обоснованы параметры расположения шпуров при упрочнении пород нагнетанием составов на протяженных и концевых участках лав, при которых уменьшаются затраты на бурение шпуров и расход состава.

Разработан состав для набрызга на поверхности кровли и для нагнетания через шпур в массив на основе карбамидной смолы и поливинилацетатной дисперсии, стоимость которого в пять раз меньше, чем полиуретанового состава.

Разработаны нагнетательная установка и иньектор для отдельного нагнетания двухкомпонентных составов через шпур в массив.

Новизна разработанных способов и средств контроля состояния и упрочнения кровли защищена 7 авторскими свидетельствами на изобретения.

Реализация выводов и рекомендаций работы осуществлена путем внедрения их на угольных шахтах Донбасса и ПО "Интауголь"; получен экономический эффект в сумме 460 тыс. руб.

Метод оперативного определения проницаемости кровель и параметров нагнетания составов для упрочнения пород внедрен на шахтах ПО "Лисичанскуголь", "Стахановуголь", "Луганскуголь", "Ровенькиантрацит". Разработанный скрепляющий состав на основе карбамидной смолы и поливинилацетатной дисперсии, комбинированный способ упрочнения кровли применены на шахте им. Ф.Э. Дзержинского ПО "Ровенькиантрацит". Нагнетательная установка и иньектор для нагнетания двухкомпонентного состава внедрены на шахтах ПО "Интауголь".

Положительные результаты шахтных испытаний бесшпурового способа упрочнения кровли, разработанные параметры скрепляющего и защитного слоев, критерий устойчивости кровли являются основой создания автоматизированной малооперационной системы контроля и упрочнения кровли в лаве. Разработки автора диссертации по основам системы контроля состояния и упрочнения неустойчивой кровли на протяженных и концевых участках лав используются в учебном процессе при подготовке горных инженеров в ДГМИ.

Апробация работы. Результаты проведенных исследований докладывались на ежегодных научно-технических конференциях по горному де-

лу ДГМИ (Алчевск, 1975 - 1992 г.), на всесоюзной научно-технической конференции "Физико-химические воздействия на горный массив" (Днепропетровск, 1977 г.), на заседании "Временной научно-технической комиссии для разработки предложений по основным направлениям развития научных исследований создания технологии и оборудования для упрочнения горных пород и крепления выработок химическими материалами" ГКНТ СССР (Москва, 1985 г.), на семинарах в лаборатории "Новые материалы и упрочнение массива горных пород ИГД им. А.А. Скочинского (Москва 1985, 1986, 1987 гг.), на научно-технических советах ПО "Лисичанскуголь", "Стахановуголь", "Ровенькиантрацит", "Интауголь", шахт "Луганская - I", "Черноморка", "Фашевская", "Сутоган" и др.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 42 работы, из них 21 научная статья, 14 отчетов о научно-исследовательских работах, депонированных во ВНИЦентре, 7 авторских свидетельств на изобретения.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, содержит 351 страницу, в том числе 297 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 41 таблицу, 31 приложение, список использованных источников из 517 библиографических наименований.

Автор выражает признательность канд. техн. наук Ефименко А.А., инж. Пятаченко А.А., Марченко Г.А. за большую помощь в проведении шахтных экспериментов и благодарит заведующего лабораторией "Новые материалы и упрочнение массива горных пород" ИГД им. А.А. Скочинского докт. техн. наук, проф. Васильева В.В. за ценные советы при выполнении научно-исследовательской работы, связанной с шахтными испытаниями бесшпурового способа упрочнения кровель в лавах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу состояния технологии упрочнения и изученности свойств массивов горных пород.

В горнодобывающей промышленности применяют способ упрочнения нагнетанием составов насосами, путем взрывания зарядов взрывчатого вещества, с использованием вибрации; применяют анкеры с механическими замками, винтовые, трубчатые, канатные, закрепляемые химическими составами; тросо-инъекционный способ; создают искусственные слои, своды в массиве вокруг выработок.

Современный уровень, специфические особенности, объём и

эффективность применения технологии упрочнения углепородных массивов определены научными исследованиями ИГД им. А.А. Скочинского, ДонУГИ, КНИУИ, КузНИУИ, ПНИУИ, ПечорНИИпроекта, МГТУ, ДГТУ, ДГА, ДГМИ, ИГТМ АН Украины, ВНИИСС и др. На угольных шахтах наибольшее распространение для упрочнения пород получили химическое анкерование и упрочнение скрепляющими составами, нагнетаемыми через шпур в массив. В Донецком бассейне применяются полиуретановые составы, на шахтах Караганды – карбамидная смола КФ-Ж, в Кузбассе разработан состав на основе фенолформальдегидной смолы, для условий Печорского бассейна испытаны карбамидные и полиуретановые составы для упрочнения пород с низкой температурой.

На основании опыта применения разработанной ДонУГИ совместно с ИГД им. А.А. Скочинского технологии упрочнения полиуретановыми составами установлена её эффективность и выявлены недостатки, особенно ощутимые в условиях экономических преобразований в нашей стране. Большой расход составов, непроизводительные затраты на бурение шпуров связаны с недостаточной изученностью свойств массивов горных пород и обоснованностью параметров технологии. Перспективные направления совершенствования технологии путем учета свойств массива, воздействия на массив, создания скрепляющего слоя не нашли развития применительно к очистным выработкам. В главе проанализированы работы, посвященные изучению свойств массивов пород: трещиноватости, проницаемости, сейсмоакустических и др.

На основании выполненного анализа сформулирована цель и поставлены следующие взаимосвязанные задачи:

разработать новые методы оценки состояния нарушенной кровли в очистных забоях перед её упрочнением с использованием нестационарных источников сейсмоакустических волн от работающих исполнительных органов машин, механизмов при выемке угля и бурении шпура;

разработать бесшпуровой способ упрочнения кровли в лавах;

обосновать параметры малооперационной автоматизированной системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях;

создать теоретические основы расчета основных параметров бесшпурового способа и автоматизированной малооперационной системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях;

разработать метод определения параметров технологии упрочнения кровель нагнетанием составов;

экспериментально проверить в шахтных условиях бесшпуровой способ упрочнения кровель и систему контроля состояния и упрочнения кровель нагнетанием составов.

Во второй главе изложена методика исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий натуральный лабораторный и аналитический методы.

В шахтных условиях измеряли параметры трещиноватости, проницаемости, сейсмоакустические свойства, морфологию поверхностей кровель в местах вывалов на сопряжениях лав с выработками и на протяженных участках лав.

Проницаемость кровель определяли методом воздушного опробования трещиноватости, основанном на измерении времени истечения сжатого воздуха из ёмкости объёмом $0,015 \text{ м}^3$ через загерметизированный участок шпура длиной $0,2 \text{ м}$ при падении давления от $0,4$ до $0,1 \text{ МПа}$. Шпуры длиной до $3,0 \text{ м}$ бурили из подготовительных выработок под различными углами к напластованию впереди лавы и по мере её подвигания периодически измеряли проницаемость пород кровли. На протяженных участках лав проницаемость кровли измеряли по I - 3 линиям: в средней части и по концам участков нарушенной кровли через шпуры, пробуренные под углами $5 - 30^\circ$ к напластованию пород в зависимости от высоты вывала породы из кровли. Проницаемость участка шпура вычисляется по формуле

$$V_T = 600 (P_H - P_K) (\Delta \ell t)^{-1}, \quad (I)$$

где V_T - воздушная проницаемость, $\text{МПа}(\text{м} \cdot \text{с})^{-1}$ или Вот ;

P_H, P_K - начальное и конечное давление, МПа ;

t - время истечения воздуха, с ;

$\Delta \ell$ - длина загерметизированного участка шпура, м .

В лабораторных условиях прибор был протарирован путем выпуска воздуха через отверстия различного диаметра в гладкостенной металлической трубе. Получена зависимость для определения эквивалентного отверстия, пригодная в диапазоне $0 - 200 \text{ Вот}$.

$$S = 0,1 V_T, \quad \text{мм}^2 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции равен $0,988$, его надежность $I44,9$.

В более широком диапазоне проницаемости (до 500 Вот) при различных значениях начального и конечного давления сжатого воздуха эквивалентное отверстие определяется по детальному тарировочному графику по времени истечения воздуха. Точность измерения проницаемости прибором в диапазоне $0 - 50 \text{ мм}^2$ от 5 до $0,5 \%$.

Проницаемость пород определяли также методом фильтрации, основанном на измерении времени истечения $I \text{ м}^3$ воздуха при посто-

янном давлении. Измерения по двум методам в одной выработке и через одни и те же шпурь были предусмотрены для исследования связи между эквивалентным отверстием и коэффициентом проницаемости пород.

Анизотропию проницаемости кровель исследовали с помощью разработанного в Донбасском горно-металлургическом институте устройства с секторной испытательной камерой.

Для исследования сейсмоакустических свойств кровель применяли методы сейсмоакустического зондирования и профилирования. В первом случае измеряли интенсивность сейсмоакустических волн от источника - резца, разрушающего породу при бурении шпура на сопряжении лавы с выработкой, на протяженном участке лавы, прибором ПСЛ-2м конструкции ИГД им. А.А. Скочинского. Глубина шпуров I, 8 - 2, 0 м, расстояние от шпура до приемника - 0, 5 м. Согласно схеме сейсмоакустического профилирования источником волн является вилка комбайна, разрушающий угольный пласт. Приемник сейсмоакустических волн плотно прижимали к кровле впереди комбайна на расстояниях 2 - 12 м; по второй схеме - позади комбайна. Через каждые 2 м продвижения комбайна замеры повторяли.

В лабораторных условиях определяли предел прочности на растяжение пород, отвержденных полимерных композиций, химические свойства пород, изготавливали и обрабатывали модели из эквивалентных материалов. Образцы пород полуправильной формы изготавливали размерами до 40 мм и испытывали на разрыв прибором типа ППСИ-2м конструкции кафедры "Строительство шахт и подземных сооружений" ДГМИ. Образцы отвержденных полимерных композиций испытывали на разрывной машине РИП-50у. Концентрацию водородных ионов водных и кислотных вытяжек из толченых и кусковых пород определяли на приборе НЛТ-60м.

Сущность моделирования беспурового способа упрочнения кровли на моделях из эквивалентных материалов: моделировали участок лавы длиной 12 м в месте вывала трещиноватой неустойчивой кровли; на поверхности вывала длиной 0, 8 м создавали скрепляющий слой из карбамидного состава; во время выемки угля трещиноватая кровля обрушалась, а на упрочненном участке зависала, не обрушалась; измеряли усилие, при котором кровля удерживалась от обрушения. Стенд для моделирования эквивалентными материалами имеет размеры 1, 2х 0, 5х0, 49 м. Угольный пласт имитировался деревянными планками, которые падали при выдвигании планки через боковую стенку стенда.

При изготовлении и обработке моделей соблюдались требования

геометрического, кинематического и динамического подобия. Масштаб моделирования 1:10. Для соблюдения граничных условий протяженного вывала кровли вдоль лавы связь материала с торцевой стенкой модели разрушали перед началом отработки модели. Соблюдены граничные условия сверху и со стороны массива: над обрушающимися породами находится необрушающийся слой кровли; с задней стороны модели - массив пород. Начальные условия выполнялись путем создания трещиноватости, слоистости массива, обеспечивавших обрушение пород под действием собственного веса на не упрочненном участке после выемки угля. Состав эквивалентного материала, мас. ч.: песок - 75; смола марки МФ-М - 18; 6-% раствор щавелевой кислоты - 7. Объемная масса эквивалентного материала 1550 кг/м³.

Реакцию скрепляющего слоя измеряли резиновым динамометром, прикрепленным одним концом к скрепляющему слою, а другим к неподвижной балке стенда. При опускании кровли резиновый элемент динамометра растягивался и приводил в движение стрелку, длинный конец которой скользил по линейке, закрепленной на верхней балке стенда. Для соблюдения кинематического подобия жесткость резинового элемента динамометра была определена исходя из обеспечения опускания удерживаемых скрепляющим слоем пород с учетом масштаба моделирования и составила 1 Н/мм. Масштаб измерения перемещения от 7:1 до 14:1, точность измерений 0,5 мм. Динамометры были протарированы. Точность измерения реакции скрепляющего слоя 0,05 Н. В связи с непродолжительным временем удержания пород скрепляющим слоем до установки крепи в лаве, масштаб времени 1:1. Переходной множитель для сил реакции скрепляющего слоя в натуре и соответствующих сил в модели равен 1600, при этом учтено требование динамического подобия о соотношении масс породы в натуре и эквивалентного материала.

Аналитический метод включает метод обобщения, анализа, математической статистики, математическое планирование эксперимента. Аналитическое решение задачи о реакции скрепляющего слоя основано на методах теории предельного равновесия сыпучей среды с учетом специфики дискретного строения нарушенной кровли; для определения мощности упрочняемого слоя нагнетанием составов применен метод теории упругости, а толщины защитного слоя - расчетные методы теории мембранных оболочек.

Третья глава посвящена исследованиям свойств нарушенных массивов горных пород. Условия отработки лав, параметры очень мелких разрывных нарушений, ложной кровли изучены по маркшейдерской доку-

ментации для всех лав Донецкого бассейна. На выемочных полях, отработанных лавами за год, было 561 геологическое нарушение, суммарная длина которых 38,5 тыс. м, площадь ложной кровли составила 4,0 млн м². Для 63,8 % нарушений амплитуда была более 0,9 м; наиболее благоприятный угол встречи нарушения с лавой (до 15°) был у 12,9 % случаев; в лавах с механизированными крепями нарушения длиной более 50 м составили 67,9 %. Участки ложной кровли мощностью более 0,3 м составили 81,5 % от общего числа; в лавах с механизированными крепями 49,0 % участков ложной кровли имели мощность более 0,6 м; половина участков была протяженной (более 50 м). Геологические нарушения, ложная кровля значительно снижают технико-экономические показатели работы лав. Так скорость продвижения лав составляет 72,7 % при наличии геологического нарушения и 59,4 % в местах ложной кровли, а время работы лав в этих условиях, соответственно, 58,2 и 68,0 % от общего времени работы.

Обрушаемость кровли изучена в условиях сильно нарушенных угольных пластов m_3 , ℓ_6 , ℓ_4 , ℓ_1 и др. на восьми шахтах Лисичанского, Алмазно-Марьевского, Селезневого и Луганского геолого-промышленных районов. Проанализированы 274 случая обрушения кровли, представленной аргиллитами и алевролитами; исследованы зависимости высоты обрушения и размеров зон обрушения пород в призабойном пространстве лав. Получены уравнения множественных регрессий, которые позволяют оценить влияние факторов:

$$h_B = 0,56 + 0,18h_r + 8 \cdot 10^{-5} \varphi^2, \quad (3)$$

где h_B - высота вывала кровли в районе геологического нарушения, м; h_r - нормальная амплитуда нарушения, м; φ - угол встречи нарушения с лавой, град. Множественное корреляционное отношение 0,21, его надежность 4,39, коэффициент Фишера 6,73;

$$\ell_0 = 8,4 + 3,4 \cdot 10^{-4} \psi^2 - 3,3 \cdot 10^{-4} \varphi^2, \quad (4)$$

где ℓ_0 - длина зоны обрушения пород с одной стороны от сместителя, м; ψ - угол падения сместителя, град. Множественное корреляционное отношение 0,15, его надежность 2,98, коэффициент Фишера 4,93. На основании анализа уравнений (3) и (4) установлено: высота вывалов кровли в лавах слабо зависит от параметров нарушения и определяется мощностью нарушенных неустойчивых пород; даже при незначительной амплитуде нарушения вывалы возможны на высоту 0,8 м и более; средняя длина участка обрушения пород вдоль лавы

в окрестности нарушения составляет 16 м для аргиллитов и алевролитов.

Параметры трещиноватости кровли изучены на 143 сопряжениях пологих лав ПО "Стахановуголь". Были отобраны 296 проб пород из кровли, изготовлено 1332 образца, которые испытаны на растяжение. Уравнение множественной регрессии для определения количества трещин на 1 м длины участка кровли параллельно лаве на расстоянии 2 м от угольного забоя следующее

$$n_1 = -2,55 + 27,06\sigma_p^{-1} - 3,6m^{-1} + 4h_n^{-1}, \quad (5)$$

где m - мощность пласта, м; h_n - мощность непосредственной кровли, м; σ_p - предел прочности пород на растяжение, МПа. Множественное корреляционное отношение 0,794, его надежность 17,83. Для перпендикулярной к забою лавы линии количество трещин на 1 м длины кровли определяется по уравнению

$$n_2 = -4,3 + 20,6\sigma_p^{-1} - 1,12m^{-1} + 3,2h_n^{-1} \quad (6)$$

Множественное корреляционное отношение 0,66, его надежность 11,7. Диапазоны условий применения зависимостей (5) и (6): $m = 0,8 - 2,2$ м; $h_n = 1 - 4$ м; $\sigma_p = 1,5 - 3,0$ МПа.

Наиболее сильное влияние на трещиноватость оказывает прочность пород на растяжение. Количество трещин резко увеличивается в породах, предел прочности на растяжение которых меньше 2,5 - 3,0 МПа. При модуле трещиноватости более 4-6 трещин на 1 м наблюдалось интенсивное разрушение кровли и вывалы на сопряжениях лав с выработками. Для прогноза трещиноватости кровель на сопряжениях лав с выработками в диапазоне $\sigma_p = (1,5 - 5,0)$ МПа получены уравнения чистых регрессий:

$$n_1 = -3,8 + 27,0\sigma_p^{-1}; \quad (7)$$

$$n_2 = -4,15 + 20,6\sigma_p^{-1} \quad (8)$$

Фильтрационные свойства пород изучены для двух групп условий: на сопряжениях лав с выработками; на протяженных участках лав в местах вывалов породы из кровли. Проницаемость кровель измерена на 9 замерных станциях через 30 шпуров, общая длина которых 73,0 м, пробуренных из подготовительных выработок в кровле пластов. После анализа и обработки статистических данных получено уравнение множественной регрессии

$$v_{\Sigma} = 108 + 476 \ln v_{\Sigma} - 53e - 19e^2 + 0,39e^3 - 0,016e^4 + 313\sigma_p^{-1} - 0,25h_n^{-1} - 0,08\beta_{\Sigma}^2 - 43 \ln v_{\Sigma}, \quad (9)$$

где ℓ_w - длина шпура, м; ℓ - расстояние от шпура до забоя лавы, м; h_n - высота подрывки кровли, м; β_w - угол между осью шпура и плоскостью напластования пород, град; V - скорость продвижения лавы, м в сутки. Множественное корреляционное отношение 0,723, его надежность 39,67. Область применения зависимости (9): $\ell_w = 1,8 - 2,7$ м; $\ell = -9,85 - 22,0$ м; $\sigma_p = 3 - 4$ МПа; $\beta_w = 14 - 30^\circ$; $V = 0,05 - 3,4$ м в сутки; $h_n = 0,25 - 1,75$ м.

Выделены наиболее сильно влияющие факторы: ℓ_w, ℓ, σ_p . Уравнения чистых регрессий которых, следующие

$$V_T = 543 + 476 \ell_n \ell_w ; \quad (10)$$

$$V_T = 920 - 53\ell - 19\ell^2 + 0,39\ell^3 - 0,016\ell^4 ; \quad (11)$$

$$V_T = 454 + 313 \sigma_p^{-1} , \quad (12)$$

где V_T^* - воздушная проницаемость, Вот.

Отдельно проанализирована выборка данных о проницаемости неустойчивых кровель на расстоянии 0 - 5 м впереди лавы, где угольный пласт и кровля частично разрушены под влиянием передней зоны опорного давления. Получено уравнение множественной регрессии

$$S = 115,4 - 59,4 \ell_w^{-1} + 133,5 \sigma_p^{-1} + 15,6m + 2,7 \cdot 10^{-5} H^2, \quad \text{мм}^2, \quad (13)$$

где H - глубина разработки, м. Множественное корреляционное отношение 0,814, коэффициент надежности множественного корреляционного отношения 23,16, средняя ошибка аппроксимации 41,3 %. Коэффициенты эластичности: для глубины шпура 0,69; предела прочности на растяжение - 0,54; мощности пласта - 0,16; глубины разработки - 0,05. С учетом степени влияния факторов получены уравнения чистых регрессий:

$$S = 201,6 - 59,4 \ell_w^{-1} ; \quad (14)$$

$$S = 88,0 + 133,5 \sigma_p^{-1} , \quad (15)$$

пригодные для прогнозирования в диапазонах: длина шпура 0,4 - 3,0 м; предел прочности на растяжение от 1,0 до 3,0 МПа.

На основании сравнительных определений проницаемости пород по методу воздушного опробования трещиноватости и по методу фильтрации, согласно которому коэффициент проницаемости рас- считывается по формуле

$$K = \mu G (S_y t \sqrt{P})^{-1}, \quad \text{м}^2, \quad (16)$$

где μ - динамическая вязкость воздуха при $t_a = 25^{\circ}$, кг/м.с; θ - расход воздуха при постоянном давлении, м³; t - время истечения воздуха, с; P - давление, Па; S_y - площадь поверхности загерметизированного участка шпура, м², методом парной корреляции получено уравнение, связывающее коэффициент проницаемости пород и эквивалентное отверстие

$$K = 0,99 \cdot 10^{-6} + 0,093 S, \text{ м}^2, \quad (17)$$

где S - эквивалентное отверстие, м². Коэффициент корреляции равен 0,9, его надежность 26,51, средняя ошибка аппроксимации 15,9 %.

На протяженных участках лав фильтрационные свойства кровель изучены в местах вывалов породы. Исследования проведены в 10 лавках 9 шахт ПО "Стахановуголь", "Луганскуголь", "Шахтерскантрацит" при следующих условиях отработки: мощность пласта 0,56 - 1,4 м; угол падения пласта 5 - 28⁰; глубина разработки 246 - 705 м; скорость подвигания лав 0,1 - 1,0 м в сутки; кровля представлена аргиллитами и алевролитами; для выемки угля применяли комбайны; управление кровлей - полное обрушение; крепи индивидуальные и механизированные. Длина нарушенных участков вдоль лав составляла 1,6 - 15,5 м; высота обрушения 0,4 - 2,0 м. В местах вывалов пород были пробурены 22 шпура, в которых выполнено 750 измерений проницаемости пород на отдельных участках шпуров.

Исследована зависимость проницаемости пород от глубины шпура, мощности пласта, глубины разработки, предела прочности пород на растяжение, среднесуточного подвигания лавы, мощности легкообрушающихся пород. Получено уравнение множественной регрессии, которое использовано для анализа влияния факторов

$$S = 4,3 - 31,3 e_{\omega}^{-1} + 631,86 \rho^{-1} - 94316 h_{HK}^{-1} - 4,3 h_{HK}, \text{ мм}^2, \quad (18)$$

где h_{HK} - мощность неустойчивых пород. Множественное корреляционное отношение 0,652, его надежность 9,94. Наиболее сильно влияющие факторы: глубина шпура и предел прочности пород на растяжение, уравнения чистых регрессий для которых приведены ниже

$$S = 117 - 31,3 e_{\omega}^{-1}, \text{ мм}^2; \quad (19)$$

$$S = -219 + 631,86 \rho, \text{ мм}^2 \quad (20)$$

С увеличением глубины шпура проницаемость пород уменьшается, что хорошо подтверждается уравнением, в котором использованы отно-

сительные значения проницаемости

$$S_0 = S_e S^{-1} = 1,14 - 0,26 \ell_{\text{ш}}^{-1}, \quad (21)$$

где S_0 - относительное значение проницаемости рассматриваемой части шпура; S_e - эквивалентное отверстие рассматриваемой части шпура, мм²; S - суммарное эквивалентное отверстие всего шпура, мм². Корреляционное отношение 0,72, его надежность 14,9, средняя ошибка аппроксимации 20,9 %.

В массиве сильно нарушенная зона распространяется на 0,45 - 1,25 м или на 0,47 - 1,56 мощности пласта и зависит в основном от прочности пород

$$\ell_n = m(-0,2 + 1,8 \sigma_p^{-1}), \quad \text{м} \quad (22)$$

Корреляционное отношение 0,82, его надежность 9,1, ошибка аппроксимации 15,1 %. Таким образом, глубина разрушенных и обладающих резко отличными от остального массива фильтрационными свойствами пород впереди лавы незначительна.

Фильтрационная анизотропия исследована по 13 шпурам. Изучена проницаемость нарушенных пород по четырем направлениям относительно оси шпура. Нарушенные породы впереди лавы неоднородны и анизотропны по фильтрационным свойствам. Для всей совокупности участков пород коэффициент анизотропии проницаемости составил 3,33 при максимальном значении 11,1.

На основании анализа результатов исследований сделаны следующие выводы: фильтрационные свойства кровель на сопряжениях лав с выработками и на протяженных участках лав существенно различны; проницаемость в среднем в 1,7 раза больше, а размер зоны сильно нарушенных пород на сопряжениях лав с выработками больше в 2 - 3 раза; породы кровли неоднородны и анизотропны; проницаемость нижней относительно оси части поверхности шпура в 1,5 - 2,0 раза меньше, чем по другим направлениям.

Сейсмоакустические свойства кровель исследованы для трех групп условий: на сопряжениях лав с выработками методом зондирования; на протяженных участках лав методами зондирования и профилирования. На сопряжениях лав с выработками совместные исследования проницаемости пород и интенсивности сейсмоакустических волн проведены на 7 замерных станциях при бурении 10 шпуров; сделано 201 измерение интенсивности сейсмоакустического сигнала и 77 измерений проницаемости пород.

Связь между проницаемостью пород на сопряжениях лав с выработками и интенсивностью сейсмоакустических волн, полученная после обработки статистических данных, следующая

$$S = (5,1 + 6,3616 A_{cp}') \ell_3 \ell_{\omega}^{-1}, \quad \text{мм}^2, \quad (23)$$

где $A_{cp} = (A_{0,5n} + A_{0,5n})/2$ - средняя интенсивность сейсмоакустических волн, измеренных слева и справа от шпура на расстоянии 0,5 м при глубине шпура 1,8 - 2,0 м, мкА; ℓ_3 - участок шпура, для которого определяется эквивалентное отверстие, м. Корреляционное отношение 0,93, его надежность 21,1, ошибка аппроксимации 17,1%. Расхождение измеренных в шахтных условиях и вычисленных по формуле (23) значений эквивалентного отверстия составило 10,7%.

Параллельные исследования сейсмоакустических свойств нарушенных кровель методом зондирования и фильтрационных свойств методом воздушного опробывания трещиноватости через одни и те же 22 шпура выполнены на протяженных участках нарушенной кровли в 9 лавах. Уравнения множественных регрессий:

$$S = 266,8 - 32,7 \ell_n A + 26938,7 H^{-1} - 53,7 \ell_{\omega}^{-1}; \quad (24)$$

$$A = 2748,6 - 8,8 S - 1,72 H - 431,4 \ell_{\omega}^{-1}, \quad (25)$$

для которых множественные корреляционные отношения 0,724 и 0,65 и коэффициенты надежности множественных корреляционных отношений, соответственно, 7,29 и 5,39, проанализированы, на их основании получены уравнения чистых регрессий:

$$S = 278,3 - 32,7 \ell_n A; \quad (26)$$

$$A = 1906,5 - 8,8 S, \quad (27)$$

которые отражают взаимную зависимость фильтрационных и сейсмоакустических свойств нарушенных массивов впереди очистных забоев.

Для прогноза проницаемости кровли рекомендуется зависимость

$$S = 274,5 - 21,7 \ell_n A - 57,2 \ell_{\omega}^{-1}, \quad \text{мм}^2 \quad (28)$$

Множественное корреляционное отношение 0,638, коэффициент надежности множественного корреляционного отношения 4,92, средняя ошибка аппроксимации 51,29%.

Сейсмоакустические свойства кровель изучены методом профилирования на 18 протяженных участках II лав, условия отработки ко-

торых следующие: мощность пласта 0,8 - 1,5 м; глубина разработки 380 - 995 м; предел прочности породы на растяжение 2 - 8 мПа; скорость подачи комбайна 1,0 - 3,6 м/мин. Приемник волн располагали на расстоянии 2 - 12 м от источника сейсмоакустических волн - работающего исполнительного органа комбайна. На всех участках с устойчивой кровлей показания прибора ЛС-01 были в 1,5 - 2,0 раза больше, чем на протяженных участках неустойчивой кровли, которая обрушалась после выемки угля комбайном.

Для выявления характера зависимости интенсивности сейсмоакустических волн от геологических и технических факторов, и для выбора места расположения приемника волн относительно источника проанализированы уравнения множественных регрессий, полученные на основании обработки статистических данных:

$$A_y = 287,8 e^{-l} - 412,16 p^{-1} - 27568,3 n^{-1} + 17,9 p + 161,2; \quad (29)$$

$$A_n = 161,8 e^{-l} - 172,96 p^{-1} - 29976 n^{-1} + 9,3 p + 134,3. \quad (30)$$

где A_y , A_n - интенсивность измеренного сейсмоакустического сигнала, соответственно, на участках устойчивой и неустойчивой кровель, мкА; l - расстояние от источника сейсмоакустических волн до приемника, м; p - условная мощность сейсмоакустических волн. $p = m \cdot v_k$; v_k - скорость подачи комбайна, м/мин; n - ширина захвата комбайна; m - мощность пласта. Множественные корреляционные отношения; 0,76 для уравнения (29); 0,81 для (30) и коэффициенты надежности множественных корреляционных отношений, соответственно, 6,69 и 6,12. Согласно уравнениям чистых регрессий

$$A_y = 31,1 + 287,8 e^{-l}; \quad (31)$$

$$A_n = 27,2 + 161,8 e^{-l} \quad (32)$$

на расстояниях 2 - 4 м от источника волн интенсивность сейсмоакустических волн на участках с неустойчивой кровлей в 1,6 раза меньше, чем на участках с устойчивой кровлей.

Для оценки поверхности купола обрушения кровли над угольным ластом в лаве использованы замеры параметров трещиноватости и специальные исследования в II лавах пологих пластов. Обработанные данные о морфологии поверхностей: мощность обрушающихся слоев 20 - 600 мм; расстояние между трещинами вдоль лавы 5 ... 1000 мм; выступы между слоями в пределах ширины захвата комбайна от 4 до 700 мм; выступы вдоль слоя 5 ... 500 мм; поверхности необрушающихся слоев: шероховатые, неровные, волнистые, гладкие, зеркальные.

Таким образом, наклонные поверхности в месте вывала породы над пластом представлены I...6 слоями породы кровли с отклонениями от срединной поверхности до 400мм; ширина раскрытия трещин на поверхности вывалов I...10 мм; угол встречи основной системы трещин с лавой для большинства условий составил 5 - 10°.

Концентрация водородных ионов водных вытяжек из пород, которая является важной характеристикой морфологии пород, изученная для условий ПО "Стахановуголь", в 98 % случаев была более 7, т.е. упрочняемые породы щелочные. Применительно к бесшпуровой технологии упрочнения пород исследована кинетика изменения pH раствора в зависимости от площади контактирования породы с кислотным отвердителем и времени взаимодействия породы с составом до его отверждения. Установлено, что с увеличением площади и времени контактирования пород с раствором кислоты pH раствора увеличивается.

Предложенная типизация кровель, которые обрушаются в призабойном пространстве при выемке угля на протяженных и концевых участках лав, основана на результатах исследований свойств нарушенных кровель. Классификационный признак - остаточная прочность склонных к обрушению в призабойном пространстве пород. Критерий для разделения на типы - интенсивность волн при сейсмоакустическом зондировании кровли. Типизация содержит 5 типов, охватывает все литологические разновидности пород, входящих в массив простого или сложного строения; в последнем случае определяющими являются свойства нижнего слоя или пачки слоев кровли. Типизация предназначена для выбора способа упрочнения, определения объема и области применения различных способов упрочнения кровель.

Четвертая глава посвящена определению параметров технологии упрочнения кровель нагнетанием составов.

Параметры технологии упрочнения: длина шпура, глубина герметизации, расстояние между шпурами; углы наклона шпура к плоскости напластования и относительно линии забоя; производительность установки и др. зависят от свойств упрочняемого массива, важнейшим из которых является проницаемость пород. В методике определения параметров упрочнения предусмотрено измерение проницаемости пород в конкретных горно-геологических условиях косвенным методом - по интенсивности сейсмоакустических волн, проходящих через массив от резца, разрушающего породу при бурении шпура.

В связи с существенными различиями проницаемости пород на протяженных участках лав и на сопряжениях лав с выработками, па-

параметры технологии определяются раздельно для этих условий. Длина шпура и глубина герметизации определяются по измеренному в месте работ по упрочнению кровли значению интенсивности сейсмоакустических волн. Для этого на рис. I откладывается точка, абсцисса которой равна 2,0 м; а ордината соответствует измеренному значению интенсивности сейсмоакустических волн. От этой точки проводятся кривые в обе стороны до пересечения с прямыми 1 и 2, которые являются границами фильтрующей части шпура. Эквивалентное отверстие справа от прямой 1 не превышает 10% от общего для выбранной длины шпура, а прямая 2 делит пополам эквивалентное отверстие для всего шпура.

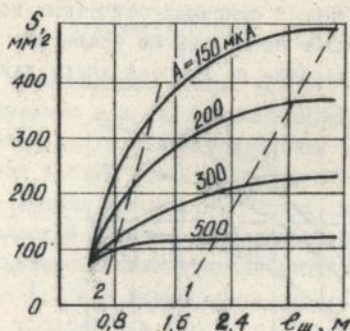


Рис. I. Зависимость эквивалентного отверстия от глубины шпура и интенсивности сейсмоакустических волн на сопряжениях лав с выработками.

В таблице приведены параметры расположения шпуров на сопряжениях лав с выработками для упрочнения пород нагнетанием составов.

Параметры массива и шпуров

Показатель	Параметр			
Интенсивность сейсмоакустических волн, мкА	менее 150	151 - 201	201 - 301	301 - 500
Длина шпура, м	4,0	3,0	2,5	2,0
Глубина герметизации, м	1,2	0,9	0,7	0,6
Расстояние между шпурами, м:				
безнишевая выемка	1,5	1,3	1,0	1,0
при наличии ниши	3,0	2,6	2,0	2,0

Расстояние между шпурами определяется с учетом закономернос-

тея проницаемости, мощности неустойчивых пород, мощности упрочняемого слоя и требования минимального расхода скрепляющих составов

$$e_{мш} = h K_a K_n, \text{ м}, \quad (33)$$

где h - мощность неустойчивых пород, м; K_n - коэффициент, учитывающий неравномерность проницаемости пород на фильтрующем участке шпура, $K_n = 0,8$; K_a - коэффициент, учитывающий анизотропию проницаемости, $K_a = 1,3$. Тогда $e_{мш} = h$ при $h \leq h_1$; $e_{мш} = h_1$ при $h > h_1$, где h_1 - расчетная мощность упрочняемого слоя, м, согласно уравнению (34).

На рис. 2 приведена зависимость эквивалентного отверстия от глубины шпура и интенсивности сейсмоакустических волн на протяженных участках лав; кривые построены по уравнению (28). Подсчитанное эквивалентное отверстие на участке шпура длиной от 2 м

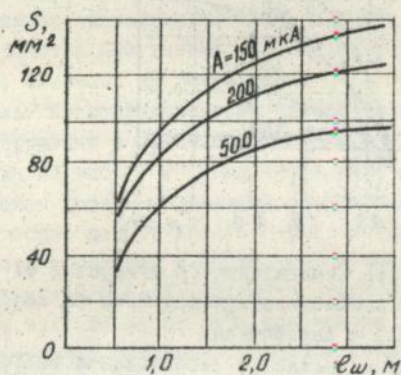


Рис. 2. Зависимость эквивалентного отверстия от глубины шпура и интенсивности сейсмоакустических волн на протяженных участках лав

до 4 м составляет менее 10 % от общего значения, поэтому во всем диапазоне проницаемости ($A = 150 \dots 500$ мкА) длина шпура принимается равной 2 м. Глубина герметизации при условии равенства величин эквивалентного отверстия на фильтрующей участке и на участке герметизации принимается равной 0,6 м, т.е. в пределах зоны сильно нарушенных пород. На протяженных участках лав отношение фильтрующей части шпура к его длине такое же, как и для сопряжений лав с выработками - 0,7.

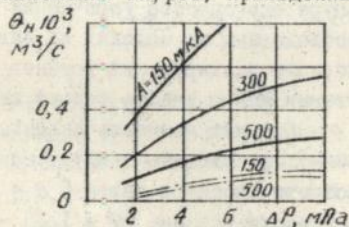
Методика расчета мощности упрочняемого слоя породы в лаве основана на следующих положениях: прочность скрепляющего материала не превосходит существенно прочность породы; упрочненные впереди угольного забоя породы под влиянием опорного давления, процессов выемки угля и крепления лавы разбиты на плиты параллельными забоем трещинами, расстояние между которыми равно ширине захвата комбайна. Таким образом, рассматривается устойчивость искусственно созданной отдельности кровли, соизмеримой с параметрами выемки угля и крепления лавы. Мощность упрочняемого слоя определяется для консольной балки, нагруженной весом слабых пород, склонных к обрушению в призабойном пространстве лавы.

$$h_1 = \sqrt{\frac{3\gamma_n h \ell (\ell + \ell_c) \alpha}{r b \rho}}, \text{ м.} \quad (34)$$

где γ_n - объемный вес пород, Н/м³; h - мощность пород, склонных к обрушению в призабойном пространстве лавы, м;

ℓ - необходимая по условиям технологии крепления длина устойчивого обнажения кровли вдоль лавы, м; r - ширина захвата комбайна, м; ℓ_c - ширина секции, м; $\alpha = I$, коэффициент, учитывающий решение плоской задачи, м. Согласно расчетам по формуле (34) в лавах с механизированными крепями достаточно упрочнить слой мощностью 0,5 - 1,7 м в зависимости от прочности пород и мощности склонных к обрушению пород, т.е. не на всю толщ, а 30 - 50 % её мощности. В лавах с индивидуальной крепью упрочненный слой мощностью до 1 - 2 м при прочности пород на растяжение 4 - 2 мПа может быть неустойчивым.

На рис. 3 представлена зависимость производительности нагнетательной установки от давления нагнетания в диапазоне параметров расположения шпуров, приведенных в таблице.



— сопряжения; — — — протяженные участки лав

Рис. 3. График для определения производительности установки

Современные нагнетательные установки имеют производительность до $(0,2 - 0,3)10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ и давление до 16,0 МПа, т.е. пригодны для нагнетания в лавах и для большинства условий сопряжений лав с выработками, кроме сильно нарушенных пород, где возможно применение установок с производительностью в 2 - 3 раза большей.

На основании выполненных исследований в методических указаниях для практического применения на шахтах производственных объединений параметры упрочнения нагнетанием составов рекомендуется определять таким образом: измеряется интенсивность сейсмоакустических волн при бурении шпура, по которой определяют его длину, глубину герметизации и расстояние между шпурами, значения которых приведены в табличной форме. На протяженных участках лав длина шпура 2,0 м, глубина герметизации 0,6 м, расстояние между шпурами до 3 м.

Основные вопросы технологии: исследование и выбор скрепляющих составов; подбор и совершенствование оборудования; параметры расположения шпуров для нагнетания составов, способы и средства контроля состояния массива горных пород начали разрабатываться под руководством автора диссертации в Донбасском горно-металлургическом институте с 1973 года. Результаты исследований внедрены на 14 шахтах ПО "Стахановуголь", "Интауголь", "Ровенькиантрацит" и др. путем применения технологии упрочнения с оперативно определенными параметрами на участках упрочнения. Экономический эффект составил 460 тыс. руб. за счет сокращения затрат на добычу угля при одновременном увеличении добычи и повышении производительности труда рабочих.

В пятой главе разрабатывается бесшпуровой способ упрочнения кровель в очистных забоях.

Основной параметр бесшпурового способа упрочнения пород - реакция скрепляющего слоя исследована на моделях из эквивалентных материалов. Методом априорного ранжирования установлено, что из 22 факторов при моделировании можно учесть только шесть факторов: мощность слоя ($h_c = 0,2 - 0,4 \text{ м}$); мощность склонных к обрушению пород ($h = 0,8 - 1,6 \text{ м}$); расстояние между трещинами ($a = 0,2 - 0,4 \text{ м}$); угол встречи трещин с лавой ($\beta = 0 - 0,262 \text{ рад.}$); угол наклона трещины к напластованию ($\varphi = 1,25 - 1,57 \text{ рад.}$); ширину захвата комбайна ($r = 0,4 - 0,8 \text{ м}$). В работе использован рототабельный центральный композиционный план второго порядка для шести факторов. Первый блок включал 20 опытов. Всего отработано 23 модели с 54 участками условий. Ошибка воспроизводимости при

реализации параллельных опытов составила 39,0 %.

Уравнение регрессии, полученное на основании обработки данных первого блока плана в размерностях модели

$$R_M = 0,5 - 0,17h - 0,012hc + 0,41\alpha - 0,42\beta - 0,5\varphi + 0,56r \quad \text{Н.Ю/м.} \quad (35)$$

адекватно описывает результаты опытов, так как вычисленное значение критерия Фишера $F_p = -2,22 < F_{0,05}(10,17) = 2,45$. Дисперсия коэффициентов регрессии $S^2\{\beta_i\} = 0,031$, доверительный интервал $\Delta\beta = 0,37$. Коэффициенты регрессии, кроме коэффициента при h_c , значимы.

На основании обработки результатов моделирования на всех моделях получено уравнение множественной регрессии для определения реакции скрепляющего слоя (в размерностях натурy)

$$R = 9,7 - 1,45r^{-1} + 0,031(\beta + 0,017)^{-1} - 0,29\alpha^{-1} + 1,7h^{-1} - 8,3\varphi^{-1}, \quad \text{Н/мм} \quad (36)$$

Множественное корреляционное отношение 0,781, его надежность 6,38.

В диапазоне изменения мощности неустойчивых пород от 0,2 до 1,0 м были отработаны дополнительно модели, получено следующее уравнение

$$R = 1,5 + 9,8h - 2,0h^2, \quad \text{Н/мм} \quad (37)$$

Корреляционное отношение 0,9, его надежность 6,92, ошибка аппроксимации 3,7 %.

Максимальная реакция при наиболее неблагоприятных факторах: $r = 0,8$ м; $h = 0,8$ м; $\alpha = 0,4$ м; $\varphi = 90$ град в зависимости от угла встречи трещин с лавой в диапазоне 0 - 30 град определяется по уравнению

$$R = 4,7 - 0,1\beta, \quad \text{Н/мм}, \quad (38)$$

где β - угол встречи трещин с лавой, град. Коэффициент корреляции 0,69, его надежность 5,7, ошибка аппроксимации 45,8 %.

На основании анализа результатов отработки моделей из эквивалентных материалов выявлены следующие закономерности: в формировании реакции скрепляющего слоя участвует только часть обнажаемых при выемке угля и склонных к обрушению пород, что составляет от 5 до 30 % их массы; наибольшее влияние на величину реакции скрепляющего слоя оказывает: ширина захвата комбайна, угол встречи трещин с лавой, расстояние между трещинами; реакция скрепляющего

слоя по его высоте не одинакова, она увеличивается с увеличением расстояния от пласта до величины, равной ширине захвата комбайна, и при дальнейшем увеличении расстояния от пласта - уменьшается; максимальная реакция составляет 5,0 Н/мм.

Для создания скрепляющего слоя в шахтных условиях разработана полимерная композиция на основе карбамидной смолы следующего состава, мас. %: карбамидная смола КФ-СОИТ - 70; поливинилацетатная дисперсия - 26 - 28; шавелевая кислота 2 - 4, предел прочности на растяжение которой через 6 часов после отверждения 2 - 3 МПа через 22 часа 4,2 - 8,6 МПа в зависимости от состава.

Беспуровой способ упрочнения пород испытан на трех шахтах. Для набрызга композиции ДПИ разработана и изготовлена установка, состоящая из двух баллонов ёмкостью по 0,05 м³ каждый, продуктовых вланг для отдельной подачи компонентов и трёхсплоевой форсуночки для смешения компонентов в воздухе. Производительность установки 0,0001 м³/с, давление сжатого воздуха 0,5 - 0,6 МПа. Положительные результаты были получены в I4 вост. лаве пласта К₂' на участке длиной 10 м при высоте вывала 1,0 м и в обходной выработке, примыкающей к лаве на участке длиной 7,0 м. Кровля - трещиноватый аргиллит; расстояние между трещинами 0,1 - 0,2 м; угол встречи трещин с лавой 5 град. Скрепляющий слой толщиной 5 - 20 мм из полимерной композиции на основе смолы КФ-СОИТ предотвратил обрушение пород в лаве и в обходной выработке.

В более сложных условиях на сопряжении конвейерного штрека с лавой №80 пласта К₂ на шахте им. Ф.Э. Дзержинского ПО "Ровеньки-антрацит" при неустойчивых породах неоднородного строения мощностью более 2,0 м и при зеркальной поверхности необрушающегося слоя пород применен комбинированный способ упрочнения пород, который включает химическое анкерование, нагнетание составов, создание скрепляющего слоя. Для нагнетания и создания скрепляющего слоя использовался состав на основе карбамидной смолы и поливинилацетатной дисперсии. Длина упрочненного участка 200 м.

На основании шахтных исследований доказана возможность беспурового способа упрочнения кровель в лавах и установлен основной параметр технологии - толщина скрепляющего слоя, достаточная для удержания пород от обрушения, из разработанного состава должна быть в пределах 5 - 20 мм. Область первоначального применения беспурового способа упрочнения пород - крупноблочные нарушенные породы в лавах, оборудованных механизированными крепями, а также в комбинации с другими способами упрочнения.

Шестая глава посвящена аналитическим исследованиям реакции скрепляющего слоя и обоснованию параметров автоматизированной малооперационной системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях.

Скрепляющий слой создают набрызгом составов на поверхность вывала породы в лаве. Отвержденный состав скрепляет отдельные куски, блоки породы в прочную стенку, прикрепляет её к необрушающимся породам, предотвращая развитие вывала из кровли при выемке следующей полосы угля. При постановке задачи приняты следующие допущения: порода отрывается под действием собственного веса после преодоления связи с необрушающимся слоем; породы ведут себя как сыпучая среда.

На рис. 4 приведена расчетная схема. Скрепляющий слой рассматривается как подпорная стенка, в качестве второй подпорной стенки служит массив. Для определения положения линии скольжения, по которой возможно сползание пород, использовано решение В.В. Соколовского задачи определения активного давления на парные подпорные стенки. После решения уравнений равновесия для системы сил, изображенных на рис. 4, получено уравнение для определения реакции скрепляющего слоя

$$R = \gamma r h_k - \sigma r - c h_k + 0,5 \gamma r h_n - c' h_n [1 + ctg \beta' ctg (\beta' - \varphi)], \quad (39)$$

где γ - объемный вес пород, Н/м³; h_k - критическая высота, м

$$h_k = \left[\frac{c ctg \rho (1 + \sin \rho)}{1 - \sin \rho} + \sigma \right] \frac{1}{\gamma}; \quad (40)$$

σ - прочность на отрыв между слоями, мПа; c - сцепление пород в массиве, мПа; ρ - угол внутреннего трения, град.; h_n - высота слоя в предельном состоянии, м; c' - сцепление по линии скольжения, мПа; β - угол между линией скольжения и линией напластования пород, град; φ - угол между нормалью к линии скольжения и реакцией со стороны массива, град.

Приведен анализ влияния параметров, характеризующих трещиноватый слоистый массив: предела прочности на отрыв, сцепления пород ($\sigma = 2$ кПа, $c = 4$ кПа, $\rho = 9$ град). Характер изменения реакции скрепляющего слоя при изменении высоты удерживаемых пород по формуле (39) и зависимостям (36) и (37), полученным на основании моделирования эквивалентными материалами, одинаков.

Система, позволяющая автоматически определять время и место

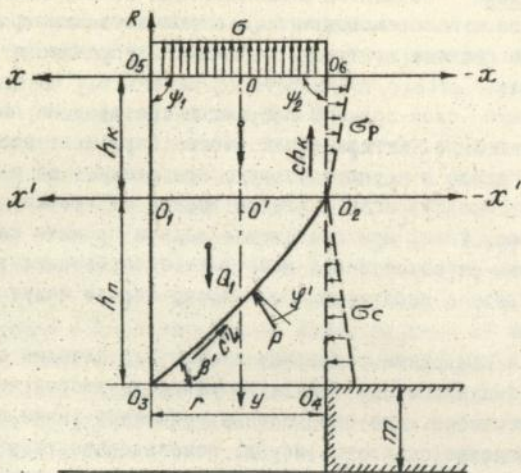


Рис. 4. Расчетная схема для определения реакции скрепляющего слоя

нахождения участка неустойчивой кровли в лаве при выемке угля комбайном и упрочнить этот участок, предотвратить обрушение кровли в призабойном пространстве лавы предложена автором диссертации. Решена основная задача создания системы контроля состояния и упрочнения кровли, её геомеханической основы, задача определения регламентирующего параметра технологии - необходимой прочности защитного слоя на вновь обнажаемой поверхности кровли.

Защитный слой деформируется совместно с кровлей и удерживает от выпадения породы, находящиеся в образовавшемся куполе обрушения. Задача сведена к нахождению прогиба гибкой мембраны. Отвержденный слой испытывает деформации не только от веса пород внутри контура обрушения, но и вследствие растяжения и сжатия массива пород, которые происходят интенсивно под влиянием процессов выемки угля и передвижения секций крепи или посадки кровли в лаве. Рассмотрены три расчетные схемы для равномерно нагруженной квадратной мембраны, решение для которой выполнено на основе энергетического метода Э.П. Тимошенко.

На рис. 5 показана зависимость толщины защитного слоя от предела прочности скрепляющего состава на растяжение и мощности

склонных к обрушению пород. Согласно расчетам для создания слоя толщиной 0,5 - 2,0 мм необходимы смолы с пределом прочности на растяжение 35 - 15 мПа, модуль упругости которых $10^3 - 10^4$ мПа, а относительная деформация $10^{-4} - 10^{-3}$.

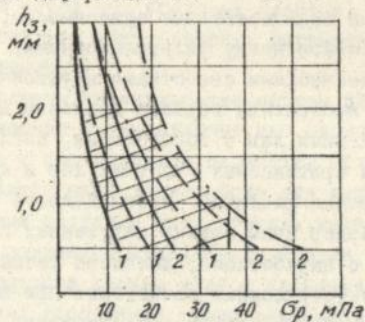


Рис. 5. Зависимость толщины защитного слоя от свойств состава. 1 - $E = 10^3$; 2 - $E = 10^4$; — $h = 0,3$ м; — — — $h = 0,5$ м; - - - - $h = 0,8$ м

Разработаны требования и обоснованы параметры автоматизированной малооперационной системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях: автоматическое измерение интенсивности сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна приемником, прижатым к кровле и перемещающимся с комбайном; расстояние между приемником и источником волн в пределах от 2 до 4 м; критерий неустойчивого состояния кровли - интенсивность сейсмоакустических волн в 1,6 раза меньше базового значения заранее определенного для устойчивого состояния кровли; прочность отвержденного состава на растяжение 15 - 35 мПа, модуль упругости $10^3 - 10^4$ мПа в зависимости от толщины защитного слоя в пределах 0,5 - 2,0 мм; время отверждения состава до 30 с; устройство для набрызга - автономные ёмкости в аэрозольной упаковке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации дано решение крупной научной проблемы, заключающейся в раскрытии закономерностей взаимной связи между фильтрационными, сейсмоакустическими, структурно-механическими свойствами нарушенных пород, для создания системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях, обеспечивающей повн-

шение эффективности их работы в условиях неустойчивой кровли.

Основные научные и практические результаты проведенных исследований:

1. Установлены новые количественные зависимости, раскрывающие закономерности взаимной связи между фильтрационными, сейсмоакустическими, структурно-механическими свойствами неустойчивой кровли, учитывающие особенности проявления горного давления на протяженных участках лав и на сопряжениях лав с выработками, согласно которым: проницаемость кровель на протяженных участках лав и на сопряжениях лав с выработками существенно различны: проницаемость больше в среднем в 1,7 раза, а размер зоны сильно нарушенных пород в 2 - 3 раза на сопряжениях лав с выработками; выявлена тесная связь между фильтрационными и сейсмоакустическими свойствами при шпуровом зондировании нарушенных кровель в окрестности очистного забоя; интенсивность сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна при сейсмоакустическом профилировании различна для участков устойчивого и неустойчивого состояния кровли; породы кровли неоднородны и анизотропны по фильтрационным свойствам; коэффициент фильтрационной анизотропии в среднем равен 3,55, проницаемость нижней относительно оси части поверхности шпура в 1,5 - 2,0 раза меньше, чем по другим направлениям.

2. Сформулированы теоретические основы принципиально нового бесшпурового способа упрочнения кровли в лавах. Исходная эмпирическая основа получена в результате отработки 23 моделей из эквивалентных материалов в виде количественных зависимостей и закономерностей формирования реакции скрепляющего слоя: в формировании нагрузки на скрепляющий слой участвует только часть обнажаемых при выемке угля склонных к обрушению пород, которая составляет от 2 до 30 % их массы; большое влияние на величину реакции скрепляющего слоя оказывает ширина захвата комбайна и угол встречи трещин с лавой; реакция скрепляющего слоя распределена по его высоте неравномерно, она увеличивается с увеличением расстояния от пласта до величины, равной ширине захвата комбайна, и при дальнейшем увеличении расстояния от пласта - уменьшается; максимальная реакция составляет 5 Н/мм.

Исходной теоретической основой является выявленный характер деформирования участка кровли, сложенной твердыми слоистыми трещиноватыми породами и упрочненной по бесшпуровому способу, подобный

деформированию сыпучей среды. Аналитическое определение реакции скрепляющего слоя основано на решении задачи теории предельного равновесия сыпучей среды для определения активного давления на парные подпорные стенки, в качестве которых служат скрепляющий слой и массив пород над угольным пластом. Аналитический метод позволяет расширить учет влияющих параметров, оценить область возможных решений.

3. Предложены аналитические методы расчета параметров воздействия на массив и учитывающие его свойства, которые позволяют проектировать и обосновывать параметры технологии упрочнения кровель. Аналитическая зависимость для расчета мощности упрочняемого полимерным составом слоя кровли, которая учитывает зависание искусственно созданной отдельности кровли вдоль лавы, тип крепи, параметры процессов выемки угля и крепления лавы, используется при определении расстояния между шпурами в технологии упрочнения кровель составами. Метод расчета параметров защитного слоя на поверхности кровли, основанный на решении задачи о прогибе гибкой мембраны, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой от веса пород в пределах купола обрушения, учитывает деформацию кровли под влиянием процессов выемки угля и крепления лавы.

4. Установлены количественные зависимости для определения интенсивности сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна, учитывающие устойчивость кровли; разработан на их основе критерий определения границ неустойчивого состояния кровли, обнажаемой при выемке угля.

5. Разработаны методы оперативного контроля состояния кровли: определения проницаемости нарушенных пород по интенсивности сейсмоакустических волн от резца, разрушающего породу при бурении шпура; установления границ участков неустойчивой кровли в лаве по интенсивности сейсмоакустических волн от работающего исполнительного органа комбайна.

6. Обоснованы параметры расположения шпуров для упрочнения нагнетанием составов: на сопряжениях лав с выработками длина шпуров от 2 до 4 м при интенсивности сейсмоакустических волн от 150 до 500 мкА; на протяженных участках лав длина шпура не более 2,0 м; расстояние между шпурами от 1 до 3 м в зависимости от мощности обрушающихся пород, обеспечивающие создание устойчивого слоя упрочненных пород при минимальных затратах на скрепляющие составы и выполнение работ.

7. Предложены и апробированы способы и средства для создания системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях. Беспупуровой способ упрочнения кровель на протяженных участках лав успешно испытан на 5 участках; комбинированный способ упрочнения пород апробирован в шахтных условиях при упрочнении пород на участке сопряжения лавы с выработкой, длина которого превысила 200 м.

Скрепляющий состав для набрызга на поверхности кровли и нагнетания через шпур в массив, мас. %: карбамидная смола КФ-СОМТ - 70; поливинилацетатная дисперсия - 26-28; щавелевая кислота - 2 - 4 имеет прочность после отверждения от 3,0 до 8,2 мПа на разрыв через 6 - 22 часа, соответственно. Стоимость композиции в 5 раз меньше, чем полиуретановых составов.

Разработанная нагнетательная установка и иньектор для раздельного нагнетания двух компонентов использованы для упрочнения пород на угольных шахтах. Герметизатор шпура с секторной испытательной камерой пригоден для исследования анизотропии проницаемости пород.

8. Обоснованы параметры автоматизированной малооперационной системы контроля состояния и упрочнения кровли в очистных забоях: расстояние между источником сейсмоакустических волн - работающим исполнительным органом комбайна и приемником в пределах 2 - 4 м; критерий неустойчивого состояния кровли - интенсивность сейсмоакустических волн в 1,6 раза меньше базового значения, заранее определенного для устойчивого состояния кровли; толщина защитного слоя от 0,5 до 2 мм в зависимости от предела прочности на растяжение отвержденного состава в диапазоне от 15 до 35 мПа и модуле упругости $10^3 - 10^4$ мПа; время отверждения состава до 30 с.

9. Определены укрупненные показатели нарушенности кровель угольных пластов Донбасса, объем и область применения химического способа упрочнения кровель в лавах. Площадь ложной кровли составляет 4 млн. м², длина нарушений 50 тыс. м в пределах выемочных полей, обрабатываемых за год. Предложена типизация только неустойчивых, обрушающихся на отдельных участках лавы кровель, классификационный признак которой - остаточная прочность пород, а критерий разделения на типы - интенсивность сейсмоакустических волн при зондировании кровли через шпур. На шахтах Донбасса ежегодно необходимо расходовать для упрочнения пород 18,0 тыс. тонн

составов и 1,8 млн. анкеров с химическим закреплением.

Система контроля состояния и упрочнения кровли внедрена на 14 угольных шахтах, получен экономический эффект в сумме 460 тыс. руб.

Основные научные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Клишин Н.К., Козырев В.Г., Чернявский А.В., Ефименко А.А., Тоцкий А.В. Анализ работы механизированных лав комбината "Кадиевуголь"// Технология добычи угля подземным способом. - 1976. - №5. - С. 18 - 19.

2. Клишин Н.К., Козырев В.Г., Чернявский А.В., Ефименко А.А., Тоцкий А.В. Опыт моделирования показателей работы лав комбината "Кадиевуголь"// Технология добычи угля подземным способом. - 1976. - №6. - С. 9 - 10.

3. Клишин Н.К., Савенко Ю.Ф., Ефименко А.А. Применение синтетических смол для укрепления нарушенных участков кровли в лавах// Уголь Украины. - 1977. - №1. - С. 25 - 29.

4. Клишин Н.К., Ефименко А.А. Упрочнение нарушенных кровель нагнетанием скрепляющих растворов// Добыча угля подземным способом. - 1977. - №9. - С. 30 - 33.

5. Клишин Н.К., Ефименко А.А. Применение синтетических смол для упрочнения нарушенных участков кровли: Тез. докл. на науч.-техн. Всес. конф. - Днепропетровск: 1977. - С. 35.

6. Клишин Н.К., Буйденко П.А., Ефименко А.А. Упрочнение нарушенных кровель анкерами на шахтах объединения "Кадиевуголь"// Добыча угля подземным способом. - 1977. - №12. - С. 28 - 30.

7. Клишин Н.К., Ефименко А.А. Трещинная проницаемость пород кровли на сопряжениях лав с выработками// Добыча угля подземным способом. - 1978. - №2. - С. 20 - 21.

8. Клишин Н.К., Ефименко А.А. Оценка состояния нарушенности пород перед их упрочнением// Уголь Украины. - 1978. - №12. - С. 13 - 15.

9. Клишин Н.К., Ефименко А.А. Укрепление сопряжений подготовительных выработок с очистными: Экспресс-информ./ЦНИЗУголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР. - М.: 1979. - С. 23 - 32.

10. Клишин Н.К., Пятаченко А.А., Ефименко А.А. Анализ нарушенности кровель Донбасса применительно к химическому способу упрочнения пород// Технология добычи угля подземным способом

- 1980. - №11. - С. 28 - 31.

11. Чельцов В.В., Кочев Г.М., Клишин Н.К. Упрочнение пород в подготовительных выработках//Уголь. - 1981. - №5. - С. 24 - 27.

12. Клишин Н.К., Сребный М.А., Чельцов В.В., Ярош Е.Е., Иевлев В.И. Специальные методы упрочнения пород на шахтах Интинского месторождения: Экспресс-информ.//ЦНИЗУголь. - М.: 1982. - 8 с.

13. Клишин Н.К., Пятаченко А.А., Ефименко А.А., Данилов А.А. Закономерности фильтрационных свойств нарушенных кровель в лавах //Подземная разработка угольных пластов тонкой и средней мощности: Сб. науч. тр./ ТПИ. - Тула: 1983. - С. 86 - 90.

14. Костомаров Н.Е., Кутепов Ю.П., Клишин Н.К. Использование смолы для уменьшения пучения почвы в штреке//Уголь. - 1986. - №11. - С. 24 - 25.

15. Клишин Н.К., Васильев В.В., Редченко Н.И. О состоянии кровель угольных пластов Донбасса// Уголь Украины. - 1987. - №2. - С. 14 - 15.

16. Клишин Н.К., Марченко Г.А. Исследование реакции скрепляющего слоя//Известия вузов. Горный журнал. - 1987. - №12. - С. 21 - 24.

17. Клишин Н.К., Томашев Н.Н. Исследование карбамидных смол применительно к бесшпуровой технологии упрочнения кровель в лавах//Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межведомственный науч.-техн. сб./ДПИ. - Киев: Техника, 1988. - С. 97 - 101.

18. Клишин Н.К., Марченко Г.А., Васильев В.В. Разработка бесшпуровой технологии упрочнения кровель в лавах//Уголь. - 1989. - №5. - С. 30 - 32.

19. Клишин Н.К., Пятаченко А.А., Рак Н.М. Совершенствование технологии упрочнения кровли в лавах//Уголь Украины. - 1988. - №6. - С. 14 - 15.

20. Клишин Н.К., Пятаченко А.А. Расчет мощности упрочняемого слоя кровли в лавах//Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сб. науч. тр./ТПИ. - Тула: 1991. - С. 83 - 87.

21. Клишин Н.К., Пятаченко А.А., Данилов А.А. Применение комбинированного способа упрочнения кровли в лавах объединения "Ровенькиантрацит": Новые технологии и оборудование горн. работ: Тем. сб. науч. тр./АГМИ. - Киев: 1993. - С. 23 - 27.

22. А.с. 810971 СССР, М.Кл.³ Е 21С 41/04. Способ поддержа-
ния кровли/ Н.К. Клишин, А.А. Ефименко, А.А. Пятаченко, Ю.Ф. Са-
венко (СССР). - №2763100/22-03; Заявлено 04.05.79; Опубл.
07.03.81, Бюл. №9. - 1981. - С. 130.

23. А.с. 826003 СССР, М. Кл.³ Е 21Д 21/00. Инъекционный
анкер/ А.А. Ефименко, Н.К. Клишин, А.А. Пятаченко, А.П. Широков,
В.В. Давыдов (СССР). - 2810757/22-03; Заявлено 13.08.79; Опубл.
30.04.81, Бюл. №16. - 1981. - С. 170.

24. А.с. 1010202 СССР, М.Кл.³ Е 02Д 3/12. Инъектор для
нагнетания в грунт двухкомпонентных закрепляющих растворов/
Н.К. Клишин, А.А. Пятаченко, В.П. Петруновский, В.В. Чельцов,
В.И. Иевлев (СССР). - 3356268/29-33; Заявлено 16.11.81; Опубл.
07.04.83, Бюл. №13. - 1983. - С. 182.

25. А.с. 1273562 СССР, М.Кл.⁴ С 41/04. Способ охраны горных
выработок/ А.А. Пятаченко, Н.К. Клишин, Г.А. Аверин, Ю.Ф. Савен-
ко (СССР). - 3929959/22-03; Заявлено 17.06.85; Опубл. 30.11.86,
Бюл. №44. - 1986. - С. 117.

26. А.с. 1437503 СССР, М.Кл.⁴ Е 21Д 20/00. Полимерный
состав для набрызга/Н.К. Клишин, А.А. Пятаченко, В.В. Васильев,
Г.А. Марченко, Н.И. Редченко (СССР). - 4182454/22-03; Заявлено
02.12.86; Опубл. 15.11.88, Бюл. №42. - 1988. - С. 129.

27. А.с. 1740677 СССР, М.Кл.⁵ Е 21Д 11/00. 20/00. Способ
поддержания кровли/Н.К. Клишин, Г.А. Марченко, А.А. Пятаченко,
В.В. Васильев (СССР). - 4635051/03; Заявлено 12.01.89; Опубл.
15.06.92, Бюл. №22. - 1992. - С. 122 - 123.

28. А.с. 1754900 СССР, М.Кл.⁵ Е 21С/16. Способ поддержания
кровли/Н.К. Клишин (СССР). - 4783720/03; Заявлено 18.01.90;
Опубл. 15.08.92, Бюл. №30. - 1992. - С. 136.

Подп. и печать 1.03.94 Формат 60×84^{1/16}

Бумага *тилоз*.

Офсетная печать.

Уса. печ. л. 1,86

Уса. кр.-отг. 2,09

Уч.-изд. л. 1,77

Тираж 110

экз.

Заказ № 9-4934

ДСТУ

340000, Донецк, ул. Артема, 58.

ДМПШ, 340050, Донецк, ул. Артема, 96

AB 29.470