

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

На правах рукописи

РАДЧЕНКО Владимир Васильевич

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
ПОЛИМЕРНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ПОЧВЫ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
"СЕЛИДОВУГОЛЬ"

05.15.02 - "Подземная разработка месторождений полезных  
ископаемых"

05.15.11 - "Физические процессы горного производства"

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск-1994

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00777247 (У)

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в производственном объединении  
по добыче угля "Селидовуголь" Госуглепрома  
Украины

Научные руководители:

член-корреспондент Академии горных  
наук Украины, доктор технических  
наук, профессор

ВАСОЧКОВ  
Юрий Федорович

член-корреспондент Академии горных  
наук Украины, кандидат технических  
наук

ЯНКО  
Станислав  
Васильевич

Официальные оппоненты:

1. академик Академии горных наук  
Украины, доктор технических наук,  
профессор

УСАЧЕНКО  
Борис Миронович

2. кандидат технических наук,  
доцент

ШИРИН  
Леонид  
Никифорович

Ведущая организация - Производственное объединение  
по добыче угля "Павлоградуголь", Госуглепрома Украины  
(г.Павлоград, Днепропетровской области).

Защита состоится "8" декабря 1994 г. в 14<sup>00</sup> час.  
на Заседании специализированного совета Д 03.06.02 при  
Государственной горной академии Украины по адресу:  
320014, г.Днепропетровск-14, проспект К.Маркса, 19

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке горной  
академии.

Автореферат разослан "01" XI 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук, доцент

ХАРЧЕНКО Б.В.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из главных факторов, существенно влияющих на ритмичность и эффективность работы шахты, является состояние горных выработок. Анализ показывает, что две основные предпосылки предопределили преимущественное применение (до 90 %) на угольных шахтах Украины арочных металлических крепей из спецпрофиля СВП: неразработанность и сложность технологии проведения круговых выработок и отсутствие надежных конструкций замкнутых крепей. По отдельным шахтам ПО "Селидовуголь" объем применения металлических крепей с открытой почвой составляет 86-96 %. Это, в сложных условиях региона, характеризующихся слоистой текстурой, низкой прочностью (10-30 МПа) пород, склонных в обнажениях к большим деформациям, наличием в продуктивной толще разрывных дислокаций и источников поступления воды, является причиной практически повсеместного пучения пород почвы в выработках. Неудовлетворительное состояние выработок заметно влияет на показатели работы шахт. Процент выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, с увеличением глубины возрастает и по отдельным шахтам достигает 15-20 %.

При снижении объемов проходки выработок с 89 до 41 тыс. м/год, трудоемкость проходческих работ возросла с 37 до 74 чел.см/м, а трудоемкость ремонта горных выработок выросла за последние пять лет в 2,3 раза и достигла 89 чел.см/м; объемы ремонта выработок снизились в 2 раза. Объем отремонтированных выработок по отношению к объемам проводимых - составляет 84,7 % (по Донбассу 56,5). Объемы подрывки достигают 60 % общего объема ремонтных работ в выработках. Безусловно, поддержание выработок в таких условиях связано с большими социальными и экономическими издержками.

Учитывая, что основные горные работы ведутся на глубинах до 500 м (средняя по объединению 323 м), а наибольшая достигнутая глу-

бина -700-750 м (шх. "Горняк" и "Кураховская"), очевидно, что проблема повышения устойчивости выработок, особенно в пучащих породах, приобретает ранг важнейшей.

Исследования специалистов ДонУГИ, НИИОМШС, ИГТМ НАН Украины, Государственной горной академии Украины, МГИ, ИГД им. А.А.Скочинского и др. организаций позволили решить ряд задач крепления горных выработок. Однако использование имеющихся разработок не устраняет основные причины неудовлетворительного состояния выработок в широком диапазоне условий. Очевидна необходимость применения дополнительных мероприятий по обеспечению эксплуатационной устойчивости выработок.

Фундаментальные результаты в области механики горных пород (открытие № 337, СССР и № I, Украина) позволяет сделать вывод, что поиск и разработка эффективных технологий охраны горных выработок должны быть связаны с возможностями управления состоянием и свойствами окружающих пород и использованием их несущей способности. Исследования показывают, что одним из перспективных способов целенаправленного изменения свойств пород почвы является физико-химическое упрочнение, позволяющее улучшить их механические характеристики путем формирования полимернопородных структур за счет заполнения трещин в массиве быстротвердеющими составами, обладающими необходимой адгезией к вмещающим породам.

Вместе с тем, разработка технологий повышения устойчивости выработок на базе указанных принципов сдерживается слабой изученностью особенностей деформационных процессов при пучении пород, отсутствием научных основ обоснования параметров физико-химической обработки почвы выработок с учетом механизма деформирования и разрушения пород. Важными остаются задачи изучения влияния процессов отверждения полимерных соединений в пористо-трещинной структуре горных пород на их прочностные и деформационные свойства, устойчивость в обнажениях.

В связи с этим, научные исследования в работе подчинены разработ-

ке технологии физико-химического упрочнения пучащих пород в выработках, что весьма актуально для изучаемого региона.

Цель работы заключается в раскрытии особенностей механизма деформирования приконтурных пород вблизи основных выработок и обосновании технологии полимерного их укрепления для повышения устойчивости и снижения затрат на поддержание выработок.

Идея работы - повышение устойчивости выработок достигается полимерной обработкой пород почвы, обеспечивающей увеличение их прочности и смещение зоны неупругих деформаций за границу упрочненного слоя.

Предмет исследований - геомеханические процессы в слабометаморфизованных породах вблизи основных выработок угольных шахт, объект исследований - физико-химическая технология повышения устойчивости выработок.

Методология и методы исследования: В работе использован комплексный метод исследований, включающий: системный анализ и обобщение современного состояния по проблеме пучения пород в выработках; методы статистического анализа; теоретические исследования напряженно-деформированного состояния породного массива; моделирование процессов физико-химического воздействия на породный массив; комплексные шахтные исследования и промышленную проверку разработок.

Научные положения, разработанные лично диссертантом и их новизна

1. Напряженно-деформированное состояние массива почвы выработок, связанное с взаимодействием блоковоопускающихся боковых пород (I, 5-1,7 м) и пород почвы, формируется с образованием зон повышенной их нарушенности (разгрузки), определяемых по величине коэффициента разрыхления, гиперболически уменьшающегося вглубь массива и снижению (в I,30-I,35 раза) прочности пород.

2. Расположение зон разгрузки пород в почве характеризуется их смещением от середины выработки к бокам (0,8-I,2 м), при этом макси-

мальная глубина распространения зон в массиве соизмерима с полупролетом выработки и для исследованных условий составляет 1,75–2,50 м.

3. Эффективность снижения пучения почвы выработки после полимерной обработки массива определяется выбором параметров расположения шпуров и нагнетания растворов, обеспечивающих изменение геомеханического состояния пород за счет повышения ортотропности их прочности, которая повышается с ростом интенсивности насыщения массива и смещения зоны неупругих деформаций за границу упрочненного слоя пород.

На базе совокупности полученных научных результатов раскрыты механизмы и установлены особенности протекания геомеханических процессов в породах почвы выработок, обоснованы параметры и технологический регламент полимерного укрепления пучащих пород.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: статистическим анализом данных о состоянии I2I горной выработки, обработанных на ЭВМ с использованием апробированных программных средств, использованием конечно-элементного анализа и математического моделирования, обеспечивающих удовлетворительную сходимость расчетных параметров (погрешность не более 10–15%) зон нарушенности приконтурных пород и данных шахтных экспериментов, положительными результатами внедрения разработок.

Научное значение работы заключается в раскрытии особенностей и установлении зависимостей пучения пород в основных выработках с учетом литолого-геомеханических факторов и их использовании при определении напряженно-деформированного состояния массива и моделировании физико-химического воздействия на него, результаты которых приняты для обоснования параметров и технологического регламента полимерного укрепления пород с целью снижения их пучения.

Практическое значение работы заключается в разработке технологии и рекомендаций по выбору технологического регламента физико-химического укрепления пучащих слабометаморфизованных пород, позволяющих:

максимально совместить процессы проведения выработок и управления состоянием массива, чем снизить стоимость работы в 1,5-2 раза, повысить производительность на 20-25 %; обеспечить экономию металла до 200 кг на 1 пог м выработки; снизить трудоемкость ремонта горных выработок в 1,4-1,6 раза; увеличить в 1,3-1,5 раза межремонтный срок поддержания выработок.

Реализация результатов исследований. Результаты работы реализованы при креплении горных выработок на шахтах ПО "Селидовуголь", "Горняк" и им. Д.С.Коротченко. На базе разработок автора были выданы рекомендации по ремонту выработок на указанных шахтах. По совокупности результатов исследований разработана "Временная технологическая инструкция по полимерному упрочнению пород почвы горных выработок в условиях шахт производственного объединения "Селидовуголь".

По рекомендациям автора закреплено около 1000 пог м выработок.

Реализация разработок по диссертации позволила повысить устойчивость горных выработок, сократить затраты на их поддержание, обеспечить ритмичность работы.

Апробация работы. Содержание и отдельные положения диссертации обсуждены и одобрены на X Всесоюзной конференции "Физические процессы горного производства" (г.Москва, 1991 г.), на научно-технической конференции "Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных рудников" (г.Москва, 1990 г.), на Международном Симпозиуме по проблемам прикладной геологии, горной науки и производства "Механика горных пород и сооружение горных выработок" (г. С-Петербург, 1993 г.). Отдельные разделы работы докладывались на научных семинарах в Институте технической механики Национальной академии наук Украины, Государственной горной академии Украины, научно-технических советах научно-исследовательских и проектных институтов Госуглепрома Украины.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в одной монографии и в 9 научных статьях.

Личный вклад автора: В работе I, написанной в соавторстве, автору принадлежит анализ состояния подготовительных выработок и разработка зависимостей определения параметров полимерного укрепления пород, аналитическая оценка напряженно-деформированного состояния пород почвы и моделирование физико-химического воздействия на массив; участие и обработка результатов шахтных экспериментов по снижению пучения пород почвы выработок. В работах 2-6 - определение направлений совершенствования способов охраны выработок, аналитическая оценка деформационных процессов в породах почвы, обоснование способа управления состоянием массива полимерной обработкой; 7 (самостоятельная) - разработка модели физико-химического укрепления пород почвы и проведение компьютерного эксперимента по обоснованию параметров способа; 8-10 - проведение шахтных экспериментов по проверке способов и разработка рекомендаций полимерного укрепления пород почвы выработок.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 137 страниц машинописного текста, 32 рисунка, 28 таблиц, список использованной литературы из 107 наименований, 4-х приложений.

Основу диссертации составили результаты многолетней производственной деятельности, а также научной работы автора, которая выполнялась на шахтах объединения "Селидовуголь" по отраслевым планам Госуглепрома Украины и ранее по приказам Минуглепрома СССР.

Автор выражает признательность работникам шахт и объединения "Селидовуголь" за помощь в проведении экспериментов и внедрении разработок и благодарит научных руководителей В.Ф.Васюкова и С.В.Янко за методическую помощь в выполнении работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности проблемы, решаемой в диссертационной работе, сформулированы цель и идея, приведены характеристика объекта и методов исследования, научная новизна, практическая значимость и результаты реализации разработок.

Выполненный в первой главе анализ показал, что проблема пучения почвы в горных выработках относится к числу весьма сложных теоретических и экспериментально-технологических задач механики породных массивов. Незавершенность многих научных и инженерно-технологических вопросов крепления горных выработок в пучащих породах является одной из причин их неудовлетворительного состояния на угольных шахтах Украины. Поддержание выработок в таких условиях сопряжено с большими социальными и материальными издержками.

Применительно к условиям исследуемого региона, характеризующегося сложными горно-геологическими условиями, определяемыми: распространением на шахтных полях слабых (прочность 2-30 МПа), пористо-трещиноватых (пористость 10-15%), слоистых, зачастую со слабыми контактами между слоями пород (сцепление 2-4 МПа), которые при увлажнении и структурном ослаблении теряют прочность (в 2-3 раза) и в обнажениях проявляют большие перемещения, проблема снижения пучения почвы выработок, поддерживаемых арочными металлическими креплениями с открытой почвой, приобретает особую актуальность. Важность ее решения обуславливается как задачами эксплуатации и модернизации действующих, так и перспективой строительства новых шахт.

На территории региона разрабатываются пласты  $m_2, m_3, m_4^2, l_1, l_2, l_3, l_7, l_8, k_6$  и  $k_8$  (свиты  $C_2^6$  и  $C_2^7$ ), среднединамическая мощность которых по отдельным шахтам составляет: 0,8-1,5 м, углы падения пластов - 4-36°; отработка пластов ведется столбовой и силовой системами разработки. Кровли пластов по устойчивости характеризуются четырьмя категориями  $B_1-B_4$  (от весьма неустойчивых до средней устойчивости),

почвы - оценивается двумя категориями  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  - неустойчивые и среднеустойчивые. Эксплуатацию угольных пластов региона ведут 8 шахт с проектной годовой производственной мощностью около 5 млн.т, фактическая производительность шахт около 4 млн.т в год. Средняя глубина разработки угольных пластов 323 м, основные работы ведутся на глубинах до 500 м, наибольшая глубина ведения работ 700-750 м достигнута на шахтах "Горняк" и "Кураховская".

Подготовка угольных пластов к отработке пластовая и полевая. По расположению выработок можно выделить четыре типа условий: квершлагги, уклоны, пластовые и полевые выработки. Практически повсеместное применение для поддержания выработок находит металлическая арочная крепь из СВП: из всей протяженности поддерживаемых выработок на шахтах объединения (около 568 км) этой крепью закреплено 86 %, а по отдельным шахтам этот показатель составляет 86-96 %.

Анализ практики крепления и охраны горных выработок на шахтах объединения позволяет сделать следующие выводы:

1) применяемая арочная крепь в сложных условиях региона и больших глубин ведения горных работ зачастую не обеспечивает эксплуатационное состояние выработок: 16-20 % протяженности транспортных и вентиляционных штреков, 27,5 % уклонов находятся в неудовлетворительном состоянии; потеря поперечного сечения выработок на 30-50 % происходит за счет пучения пород почвы;

2) высокий процент деформированных выработок обуславливает рост объемов и трудоемкости их ремонта; за последние пять лет трудоемкость проходческих работ возросла с 37 до 74 чел.см/м; трудоемкость ремонта выработок возросла в 2,3 раза и составляет 83 чел.см/м; объем отремонтированных выработок по отношению к объему проводимых составляет 84,7 %, при этом объем подрывки от общего объема ремонта выработок достигает 60 %;

3) неразработанность технологий проведения и крепления выработок с замкнутыми типами крепей обуславливает дальнейшее применение

крепей с открытой почвой, поэтому инженерно-технологические решения по поддержанию выработок должны предусматривать дополнительные меры повышения устойчивости пород почвы. Фундаментальные достижения в области механики горных пород позволяют заключить, что разработка технологий поддержания выработок в условиях, характерных для исследуемого региона, должна быть связана с управляемым изменением свойств и состояния приконтурных пород, и, в первую очередь, пород почвы. К числу таких перспективных технологий следует отнести физико-химическое укрепление (ФХУ) пород, в частности по безампульной технологии, обеспечивающей формирование полимернопородных структур за счет заполнения трещин в массиве быстротвердеющими составами. Прямой перенос имеющегося опыта укрепления грунтов и пород в других условиях невозможен из-за специфики условий региона, поэтому важными в научном плане являются изучение особенностей деформационных процессов в породах почвы при их укреплении, обоснование параметров ФХУ и оценка ее эффективности в различных условиях поддержания выработок.

Учитывая это и поставленную цель в работе, определены следующие задачи исследований:

- разработать типизацию условий поддержания и изучить особенности течения пород почвы выработок в различных условиях;
- выполнить аналитические исследования напряженно-деформированного состояния пород почвы выработок и процесса физико-химического воздействия на массив;
- Обосновать параметры и технологический регламент физико-химического укрепления пород почвы выработок;
- провести сравнительные шахтные испытания разработанной технологии полимерного укрепления пород и установить область ее рационального применения.

Во второй главе изложены результаты решения первой задачи. Постановке шахтных экспериментов предшествовали систематизация и обоб-

ние информации об инженерно-геологических условиях региона, с целью разработки типизации условий поддержания выработок. Данные статистического анализа пород почвы, разрабатываемых угольных пластов, позволили сделать следующие выводы:

- 1) 54 % почв пластов сложены аргиллитами и 45 % - алевролитами;
- 2) в подавляющем большинстве случаев непосредственная почва пластов небольшой мощности, что при невысокой прочности пород является неблагоприятным фактором для устойчивости выработок; 3) последующие слои пород почвы характеризуются чередованием алевролитов и аргиллитов, при этом для последних зачастую характерны текстура кучерявчика, включения углистого материала, наличие зеркал скольжения;
- 4) с удалением от угольного пласта повышается монолитность и крепость пород, уменьшается послойная литологическая дифференциация. Учитывая эти особенности, геомеханическую характеристику пород - коэффициент крепости по шкале проф. М.М.Протоdjяконова, были проанализированы данные маркшейдерских измерений и наших наблюдений по пучению пород почвы в IZI выработке.

На базе совокупности этих материалов, принимая в качестве критериальных признаков литолого-структурные особенности, коэффициент крепости пород и горно-технологический показатель - величину пучения пород, разработана типизация условий поддержания выработок в пучащих породах для условий шахт Ю "Селидовуголь" (таб. I). Разделение условий на количество типов осуществлено с учетом наблюдаемой величины пучения и рекомендаций ВНИИ по выбору шкалы оцениваемых условий.

Впервые выполненная для региона такая литолого-геомеханическая типизация условий поддержания выработок принята за основу при методическом изучении процессов пучения и для дифференцированной разработки инженерных и технологических мер его снижения.

Для оценки количественных показателей и установления геомеханических особенностей пучения пород в выработках методами непосред-

Таблица I

Литолого-геомеханическая типизация условий поддержания выработок в пучащих породах

Тип условий по пучению	Литотип (макроскопические и петрографические признаки)	Коэффициент крепости по шкале М.М.Протодьяконова	Величина пучения, м	Степень пучения	Объекты анализа и реализации
I	Аргиллиты, алевролиты слоистые, комковатые с текстурой кучерявчика, трещиноватые, малопрочные, с включением углистого материала, наличием зеркал скольжения	Менее 1,5	Более 1,0	Весьма сильная	Пласты
II	Алевролиты слабослоистые, с переслаиванием аргиллитов с включениями глиносидерита, со слабым сцеплением слоев, ниже средней крепости с поверхностями расслаивания	1,5-3,0	0,6I-1,0	Сильная	
III	Алевролиты с прослеживающимися контактами между слоями, в монолите средней крепости среднее сцепление	3-4	0,4I-0,60	Средняя	
IV	Алевролиты монолитные с постепенным контактом и сильным сцеплением, выше средней крепости, песчано-глинистые и песчаные сланцы	4-5	0,2I-0,40	Слабая	
V	Переслаивающиеся алевролиты и песчаники, песчаники, сравнительно крепкие в монолите, с разнонаправленными трещинами	Больше 5	0,0-0,20	Весьма слабая	

ственных длительных измерений смещений почвы, ультразвукового прозвучивания, вертикального электрического зондирования (ПЭЗ) и контроля интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля Земли (метод ЕИЭМПЗ) исследовано состояние породного массива (почвы) необработанного и обработанного полимерными растворами.

При механических измерениях в качестве интегральных характеристик состояния выработок были приняты величина и скорость пучения почвы  $V_n$ , скорость уменьшения сечения  $V_S$  и относительное уменьшение поперечного сечения штрека  $\xi_S$ . Группирование выработок по типам условий (табл. I) позволило укрупненно оценить указанные показатели. Наибольшая величина  $V_n$  характерна для сложных условий (I-II тип), которая в интенсивном периоде деформирования пород достигает 80-130 мм/мес, для III и IV типа условий она варьирует в пределах 18-55 мм/мес, для V типа составляет 10-15 мм/мес. Соответственно изменяется и величина  $V_S$ . В зависимости от типа условий для интенсивного периода деформирования она изменяется в пределах 12-200 см<sup>2</sup>/сут, а в период стабилизации смещений пород - 3-80 см<sup>2</sup>/сут. Наибольшая величина значений  $\xi_S$ , равная 0,40-0,59, присуща для выработок, поддерживаемых в I-II типах условий. Для III-V типа условий она составляет 0,12-0,38. Показатель  $\xi_S$  позволяет прогнозировать возможную потерю поперечного сечения выработок на стадии стабилизации процесса пучения.

На базе совокупного анализа маршейдерских данных о пучении и объемах подрывки выработок получены уравнения множественной корреляции для определения объемов ремонтных работ.

Объем подрывки определяется:

для вентиляционных штреков

$$(1) V_{\text{погр.}}^{\text{вент.}} = 1,4x_1 - 1,1 \cdot 10^{-3}x_1^2 + 0,4x_2 + 4448/x_3 + 300/x_4 - 1749 \ln x_2 - 4162$$

для транспортных штреков

$$(2) V_{\text{погр.}}^{\text{тр.}} = 0,9x_1 - 0,9 \cdot 10^{-3}x_1^2 + 0,2x_2 + 472/x_3 + 373,3/x_4 + 179 \ln x_4 - 708,$$

$$\rho = 0,7;$$

где  $X_1$  - глубина заложения выработки, м;  $X_2$  - длина выемочного участка (выработки), м;  $X_3$  - крепость пород почвы по шкале проф. М.М.Протодьяконова;  $X_4$  - мощность пород почвы, м.

Результаты оценки геомеханических особенностей пучения пород в выработках сводятся к следующему.

Длительными механическими измерениями пучения пород в выработках выявлено три характерных периода в развитии этого процесса: интенсивные деформации (до 2-3 месяцев), стабилизация перемещений с существенным уменьшением скорости пучения и развитие разрывного разрушения пород по длине выработки на удалении 0,7-1,0 м от ее боков, с формированием характерного для данных условий профиля пучающей почвы. Подрывка почвы чаще активизирует процесс смещения пород. Характерными видами пучения в слабых породах является симметричное или смещенное к боку выработки выдавливание пород; в породах средней и выше средней прочности имеет место шатрообразование и плоский надвиг слоев. Показано, что доминирующим фактором, наряду с литолого-геомеханическими условиями, поддержания выработок, определяющим механизм пучения пород почвы, является взаимодействие перемещающихся пород в боках выработки и слоев пород почвы, в значительной мере зависящее от условий их нагружения и контактирования слоев. Электрометрическими измерениями установлено, что напряженно-деформированное состояние пород почвы формируется с образованием зон повышенной нарушенности (разгрузки). Оценка параметров этих зон осуществлена по величине кажущегося электрического сопротивления пород ( $\rho_k$ ) и вычисленному коэффициенту разрыхления ( $K_p$ ). Значения  $\rho_k$  возрастают от продольной оси выработки к ее бокам в 4-8 раз, т.е. зона максимальной нарушенности смещена от центра выработки к бокам, а ее ширина на исследованных участках составила 0,2-0,3 ширины выработки (0,5-1,2 м). Величина  $K_p$  по глубине зондирования пород почвы изменяется в пределах 1,07-1,20. С увеличением глубины зондирования (до 3,5 м) снижение  $K_p$  носит типар-

болический характер, а зона расщепления пород достигает глубины 1,75-2,0 м. Эти выводы подтверждены данными ультразвукового прозвучивания пород почвы, которыми также установлено, что прочность пород в нарушенных зонах в 1,30-1,35 раза ниже, чем в сплошном массиве.

На базе полученных результатов дано геомеханическое обоснование механизма процесса пучения пород как результата совместного взаимодействия блоковоопускающихся боковых пород, нагружающих слои почвы, вызывая отрывные явления в них, развитие сдвига пород в условиях формирования различных форм их выпора в полость горной выработки.

В третьей главе дано решение второй и третьей задач. На основании результатов шахтных наблюдений, сформулированы геомеханические предпосылки постановки аналитических задач. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива и процесса физико-химического воздействия на горные породы подчинены обоснованию параметров полимерной обработки пород с учетом особенностей их деформирования вблизи выработок.

Исследование напряженно-деформированного состояния массива вокруг подготовительной выработки с детальным его анализом в породах почвы проведено с использованием метода конечных элементов, базируясь на теоретических положениях механики сплошной среды и строительной механики. В рамках МЭ рассматривается задача теории упругости, учитывающая плоско-деформированное состояние линейно-деформированного (наследственного) породного массива. Принятая расчетная модель отображает прямоугольный участок исследуемой области, содержащий горную выработку, размеры которой соответствуют характерным размерам основных подготовительных выработок на шахтах Ю "Селидовуголь". Принято, что исследуемая область нагружена сверху равномерной нагрузкой от воздействия налегающих пород, распределенной симметрично относительно начала координат (оси выработки). Исследуемая область разбита на 1482 элемента и 800 узлов. Схема позволяет сгустить сетку разбиения

в местах высоких градиентов напряжений в приконтурной зоне и повысить точность решения. Для учета фактора времени принято интегральное уравнение Больцмана-Вольтерра, а в качестве ядра ползучести - ядро типа Абеля.

Для расчетов были приняты следующие показатели свойств пород: модуль упругости  $-2,5 \cdot 10^5$  и  $2,4 \cdot 10^5$  МПа соответственно для алевролита и аргиллита, коэффициент Пуассона  $-0,3$ ; плотность  $-2,6+2,8$  г/см<sup>3</sup>.

Полученное решение дает возможность определить напряжения в массиве и величину перемещений пород вокруг подготовительной выработки. Определено условие устойчивости пород вблизи выработки, в т.ч. почвы, выполнено по оценке вертикальных напряжений и перемещений в характерных сечениях. Результаты расчетов в диссертации представлены в виде графиков, характеризующих изменение напряжений и перемещений массива.

Аналитическими исследованиями установлено:

- 1) напряжения в почве выработки и на удалении 3 м ниже почвы резко возрастают от середины выработки, где они наименьшие, к ее бокам, достигая своего максимального значения на удалении двух полупролетов выработки на уровне почвы;
- 2) наибольшие смещения почвы происходят ближе к бокам выработки, с углублением в массив, уменьшаются (на глубине 2,5 м в 1,6 раза меньше, чем на поверхности почвы);
- 3) совокупный анализ результатов шахтных измерений и расчетов позволяет заключить, что процесс пучения почвы обуславливается опусканием пород, залегающих в приконтурном слое (1,5-1,7 м), и перемещением поверхностных слоев пород почвы;
- 4) сопоставление параметров зон интенсивных перемещений пород, полученных по шахтным измерениям, и вычисленных, показывает их удовлетворительную сходимость (погрешность не превышает 15-20 %).

Таким образом, выполненный теоретический анализ и шахтная оценка

напряженно-деформированного состояния пород вблизи выработок дают возможность обосновать параметры заложения шпуров для нагнетания полимерных растворов.

В целях обоснования параметров химического укрепления породного массива решена задача о распространении полимерного раствора в трещинно-пористой среде (совместно с Ю.Ф.Васючковым), учитывающая различие в скорости движения раствора по трещинам и проникновения в блочный массив, зависимость проницаемости пород от функционирующих в них напряжений, временной фактор и разность давлений жидкости в трещинах и породах.

На базе этих исследований разработана методика расчета основных параметров нагнетания полимерных растворов в массив (табл. 2)

Таблица 2

Методика расчета параметров нагнетания полимерного раствора в породы

Этапы расчетов	Расчетные уравнения
Размер эффективнообработанной зоны пород	$R_{эф} = \sqrt{\frac{2K(\sigma)P_c t_n}{\mu \cdot n}} \left(1 - \sqrt{\varrho_n \frac{W_0}{W_0 - W_t}}\right)^{\mu} \quad (3)$
Время нагнетания раствора	$t_n = \frac{\mu \cdot n \cdot R_{эф}^2}{2P_c \sqrt{K(\sigma)}} \cdot c \quad (4)$
Глубина герметизации шпуров	$\varrho_r \geq \sqrt{\frac{2P_c K(\sigma) t_n}{\mu n}} \cdot m \quad (5)$

где  $W_0$  - предельное насыщение;  $W_t$  - требуемое насыщение;  
 $\alpha$  - коэффициент проницаемости блоков пород;  $P_c$  - давление жидкости

в среде;  $\mu$  - вязкость жидкости;  $K(\sigma)$  - коэффициент проницаемости среды с учетом напряжений в массиве;  $n$  - пористость фильтрующей среды.

Используя результаты оценки НДС породного массива и моделирования процессов нагнетания скрепляющих растворов в породы, а также принципы статистического моделирования, выполнено обоснование параметров ФХУ пучащих пород как многофакторной линейной системы, содержащей в качестве определяющих три технологических фактора: расстояние между рядами шпуров по длине выработки ( $l$ ), глубину шпуров ( $h_{г}$ ) и количество подаваемого раствора в один шпур ( $Q$ ). При моделировании в качестве граничных условий при оценке эффекта упрочнения принята величина пучения почвы выработки. Для конкретных горно-геологических условий поддержания выработок обоснованы параметры ФХУ пород почвы.

В четвертой главе работы изложены результаты сравнительных шахтных испытаний рекомендуемой технологии и разработаны научно-технические принципы выбора ее параметров.

В работе дана характеристика участков испытания технологии ФХУ пород почвы выработок. Контрольные и экспериментальные участки, как правило, были закреплены крепью КМП-3А (АП-3) сечением 13,8-18,3 м<sup>2</sup>. Технологическая схема обработки пород почвы полимерными растворами была следующая; в симметрично расположенные по 2 или 3 шпура в ряду, с углом наклона к вертикальной плоскости 25-30°, нагнетался раствор высоконапорными установками. Полимерный раствор готовили на основе крепителя КМ-2, используя в качестве отвердителя щавелевую кислоту в такой пропорции: на 1 м<sup>3</sup> расход отвердителя 7 кг, воды 30 л; соотношение объема воды к объему полимерной смолы - 1:2. Такая рецептура состава раствора обеспечивала его отверждение в течение 4,5-5,5 часов.

На базе результатов наблюдений на обработанных и необработанных полимерными растворами участках выработок установлено:






- 1) полимерное упрочнение пород переводит их по сравнению с неупрочненными породами в геомеханическое состояние с режимом деформирования, характеризующимися менее интенсивным разрушением и расслоением, что в совокупности повышает устойчивость почвы выработок;
- 2) электрометрическими измерениями установлено смещение вглубь массива на 1,75-2,5 м зоны неупругих деформаций за границу упрочненного слоя пород;
- 3) по данным измерений интенсивности электромагнитного излучения выявлено возрастание количества импульсов на участках выработок с укрепленными почвами, что позволило сделать вывод о повышении ортотропности прочности пород после полимерной обработки, которая увеличивается с ростом интенсивности насыщения массива полимерным раствором;
- 4) физико-химическая обработка пород, в зависимости от условий поддержания выработок и параметров нагнетания полимерного раствора, обеспечивает снижение в 1,5-4,0 раза пучение почвы выработок; весьма эффективным является полимеранкерное укрепление пород почвы.

На базе обобщения теоретических и экспериментальных исследований разработаны научно-технические принципы выбора схем и технологического регламента полимерного упрочнения почвы выработок, базирующиеся на идее вовлечения в работу приконтурного массива путем его физико-химической обработки, технологическая реализация которых дана в табл. 3.

Испытания и расчеты показывают, что технико-экономические преимущества рекомендуемой технологии определяются: отказом от применения замкнутых типов крепи, снижением затрат по прямым (190-250 руб. пог.м цены 1988 г.) и трудоемкости ремонта выработок (в 1,4-1,6 раза); ФХУ пород обеспечивает экономию металла до 200 кг на 1 пог.м выработки; затраты на ФХУ в 1,5-2,0 раза ниже по сравнению с затратами на подрывку почвы при традиционной технологии крепления выработок.

Таблица 3

Рекомендуемые параметры и регламент повышения устойчивости пород почвы

Тип условий	Схема ФУ	Параметры расположения шпуров					Параметры нагнетания			Дополнительные меры	
		$h, м$	$l, м$	$\alpha^\circ$	$B, м$	$h_{y/B}$	$Q_{N шп}$	$P, МПа$	$t_n, мин$	факторы	параметры
I		2,5	2,0	30	0,8	0,6I-0,70	450	I2	10	Интенсивное опирание кровли	Приконтурный тампонаж Ц:П:В = 1:3:2 Отставание тампонажа I-5 сут
II		2,5	3,0	30	0,8	0,6I-0,70	450	I2	10	Интенсивное боковое перемещение	Припочвенный тампонаж Ц:П:В = 1:4:1,75 Отставание тампонажа 10 сут.
III		2,5	2,5	25	0,5	0,6I-0,70	350	10	8		
IV		2,2	2,5	25	0,5	0,5I-0,60	250	10	8		
V		2,2	2,0	25	1,0	0,50-0,60	150	7	8		

С использованием разработанной автором технологии закреплено около 1000 пог.м выработок. Определен объем применения технологии ЗХУ пород на шахтах объединения "Селидовуголь": при проходке выработок - 20 %, при ремонте - 20-25 %.

Таким образом, комплекс выполненных исследований показал, что технология физико-химического укрепления почвы выработок геомеханически обоснована, технически обеспечена и экономически целесообразна.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научная задача, заключающаяся в обосновании параметров и технологии физико-химического укрепления почвы горных выработок, обеспечивающих повышение их устойчивости и снижения затрат на поддержание.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем:

I. Доказано, что применяемые в широком диапазоне горно-геологических условий шахт ПО "Селидовуголь" арочные податливые крепи не обеспечивают долговременное эксплуатационное состояние выработок, так как протекание геомеханических процессов вблизи них в значительной мере связано с интенсивным расслоением пород и пучением почвы. Показано, что в таких условиях поддержание выработок может быть обеспечено комплексированием способов с обязательным управлением состоянием породного массива. На базе фундаментальных достижений механики породного массива дано обоснование выбора технологий полимерного укрепления как перспективного способа управления состоянием приконтурных пород.

Разработана типизация условий поддержания горных выработок в пучащих породах по комплексу литологических, геомеханических признаков и величине пучения почв, которая использована для прогностических целей при исследованиях оценке состояния массива и горных выработок,

обоснования технологических решений повышения их устойчивости.

2. Выявленные особенности геомеханических процессов вблизи выработок сводятся к следующему:

- установлены стадийность и количественные показатели пучения пород почвы в различных условиях при различных видах их деформирования;

- выявлено формирование зон повышенной нарушенности пород почвы, располагающихся по ширине на удалении 0,5-1,2 м от боков выработки и прослеживающихся на глубину 1,75-2,5 м, определяемых по величине коэффициентов рахрыхания пород (1,07-1,20), значения которых гиперболически понижаются с удалением от почвы выработки;

- установлены прочностная неоднородность пород по мощности пучащих слоев и снижение прочности пород в 1,30-1,35 раза в нарушенных зонах;

- установлено, что формирование зоны максимальных вертикальных напряжений на уровне почвы выработки происходит в приконтурном слое мощностью 1,5-1,7 м с границей на удалении двух полупролетов выработки от ее середины, к этой зоне приурочены наибольшие опускания боковых пород, которые уменьшаются вглубь массива от поверхности почвы;

На базе совокупности полученных результатов обоснован механизм процесса пучения пород в выработках с открытыми почвами как результат совместного взаимодействия блоковоопускающихся боковых пород, нагружающих слою почвы, вызывая отрывные явления, развитие смешанного сдвига в условиях прерывистого скольжения, обуславливающие формирование различных форм выбора пород в полость горной выработки.

3. На базе аналитического решения задачи о распространении полимерного раствора в трещиновато-пористой среде, учитывающей разность давлений жидкости в трещинах и породных блоках, временной фактор, получены зависимости, отражающие физические закономерности насыщения по

ного массива полимерными растворами при его нагнетании, позволившие обосновать параметры физико-химической технологии укрепления почвы выработок.

4. Шахтными исследованиями и внедрением разработок установлено, что технология полимерного укрепления пород почвы выработок обеспечивает: повышение несущей способности породного массива, снижение интенсивности его разрушения и расслоения; смещение вглубь массива на 1,75-2,5 м зоны неупругих деформаций, что позволяет в совокупности, в зависимости от условий и параметров нагнетания полимерного раствора, уменьшить в 1,5-4,6 раза нагрузку пород в выработках.

5. На основе комплекса аналитических и экспериментальных исследований разработаны научно-технические принципы выбора схем и технологического регламента полимерного упрочнения пород почвы выработок, в различных горно-геологических условиях.

6. Внедрение рекомендуемой технологии позволяет снизить металлоемкость крепления (до 200 кг на 1 пог м), отказаться от применения замкнутых типов крепи, снизить затраты и трудоемкость крепления и ремонта горных выработок. По разработанной технологии закреплено около 1000 пог м выработок. Определен объем применения технологии полимерного укрепления пород почвы до 20 % при прсведении и до 20-25 % при ремонте выработок.

Основные положения и содержание диссертации опубликованы в 10 печатных работах, главными из которых являются следующие:

1. Янко С.В., Радченко В.В., Краков Е.А., Цуприна Е.С., Кузнецов В.А. Прогрессивные технологии полимерного укрепления угля и пород в шахтах. - Киев, Техника, 1993. - 176 с.
2. Васючков Ю.Ф., Краков Е.А., Янко С.В., Радченко В.В. Физико-химические способы охраны горных выработок // Труды Международного симпозиума по проблемам прикладной геологии, горной науки и производства "Механика горных пород и сооружение горных выработок". - Санкт-Петербург, 1993. - С. 45-49.

3. Радченко В.В., Чуприна Е.С. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок в Донбассе // Уголь Украины, 1991. - № II. - С. 30 - 34.
4. Юраков Е.А., Янко С.В., Калфакчиан А.П., Радченко В.В. Аналитическая оценка напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки с учетом пластичности пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., МГИ, 1992. - № I. - 6 с.
5. Радченко В.В. Физико-химические способы охраны пластовых подготовительных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., МГИ, 1992. - № I. - С. I4 - I5.
6. Васючков Ю.В., Радченко В.В., Юраков Е.А., Явруян Ю.А. Укрепление почвы наклонного ствола полимерными соединениями // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., МГИ, 1992. - № 3. - 6 с.
7. Радченко В.В. Разработка модели физико-химического укрепления почвы подготовительных выработок с использованием компьютера IBM PC-II // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., МГИ, 1993. - № 2. - 6 с.
8. Радченко В.В. Физико-химическое укрепление почвы и разработка рекомендаций по повышению устойчивости выработок с применением полимерного воздействия на массив // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., МГИ, 1993. - № 4. - 8 с.

#### АННОТАЦИЯ

Радченко В.В. Разработка технологии полимерного укрепления почвы горных выработок в условиях шахт производственного объединения "Селидовуголь", рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 - "Подземная разработка месторождений полезных ископаемых" и 05.15.11 - "Физические процессы гор-

ного производства", Государственная горная академия Украины, Днепрпетровск, 1994.

На базе установленных закономерностей протекания процесса пучения сформулированы научно-технические принципы выбора параметров физико-химической обработки пород почвы выработок, обеспечивающих повышение их устойчивости путем формирования в почве полимернопородных охранных структур повышенной несущей способности, определены область и эффективность применения разработанной технологии.

Ключові слова: вугільна шахта, гірнича виробка, стійкість порід, полімерне укріплення, технологія, параметри, ефективність.

#### Summary

Radchenko V.V. Development of a technology of the polymeric strengthening of underground openings floors in the conditions of Sedivugol coal mines.

Thesis for the candidate of technical sciences degree, speciality 05.15.02. "Underground mining" and 05.15.11 "Physical processes in mining", State mining academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1994.

On the basis of found regularities in the floor heaving processes scientific-technical principles have been formulated for choosing the parameters of physico-chemical processing of floors in such openings which increases their stability by means of a formation of rock-polymer structures with a higher supporting ability. Also there is a description of a range of possible applications of the technology with an optimal efficiency.

Key words : coal mines, underground openings, rock stability, polymeric strengthening, technology, parameters, efficiency.

Сдано в производство 9.11.84. Формат 60x90/16.  
Офс.печ. Тираж 100 Заказ 475. Уч.-изд.л. 100.  
ЦБНТИ угольной промышленности  
Цех оперативной полиграфии  
340000 г. Донецк, ул. Артема, 60

455160

AB 31.564