

Министерство образования Украины  
Государственная горная академия Украины

На правах рукописи

ТУЛУБ Сергей Борисович

Прогнозирование и повышение устойчивости  
выработок в условиях пучения пород почвы

Специальности: 05.15.04 – Шахтное и подземное  
строительство  
05.15.11 – Физические процессы  
горного производства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1996

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00759886 (0)

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ЛННБ України ім.В.Стефаника

Министерство образования Украины  
Государственная горная академия Украины

На правах рукописи

ТУЛУБ Сергей Борисович

Прогнозирование и повышение устойчивости  
выработок в условиях пучения пород почвы

Специальности: 05.15.04 – Шахтное и подземное  
строительство  
05.15.11 – Физические процессы  
горного производства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1996

AB 34.740

Диссертация является рукописью.  
Работа выполнена в Государственной горной академии Украины

Научные руководители: академик АИН Украины, доктор технических наук, профессор  
Шашенко Александр Николаевич;  
кандидат технических наук  
Радченко Владимир Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Максимов Александр Павлович;  
кандидат технических наук  
Выгодин Михаил Александрович

Ведущее предприятие

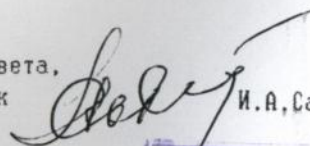
Донецкий научно-исследовательский угольный институт (ДонУГИ)

Защита диссертации состоится " 7 " июня 1996 г. в 10 час.  
на заседании специализированного совета Д.03.06.03  
в Государственной горной академии Украины (320027, г. Днепропетровск-27, пр. К.Маркса,19).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан " 7 " мая 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор технических наук

 И. А. Садовенко

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стабилизация экономики Украины зависит во многом от устойчивой работы предприятий топливно-энергетического комплекса и прежде всего от работы предприятий угольной промышленности – шахт и разрезов.

Для успешного решения проблемы повышения эффективности угледобычи в Украине необходима ритмичная безотказная работа угольных шахт, особым структурным элементом которых является отдельно взятая горная выработка.

Обеспечение надежного функционирования капитальных горных выработок при относительно небольших затратах на их сооружение и поддержание представляет собой сложную научно-техническую задачу.

В настоящее время на угольных шахтах Украины неудовлетворительное состояние горных выработок приводит к высоким затратам на их ремонт и восстановление, при этом существенно усложняются работы по всей технологической цепи действующего горного предприятия.

Породный массив, вмещающий выработки, отличается очень высоким уровнем структурной неоднородности и изменчивостью физико-механических свойств. Поэтому при обосновании устойчивости протяженных горных выработок и их проектировании необходимо учитывать высокий уровень изменчивости в оценке геомеханических параметров на уровне физических и математических моделей.

Цель работы заключается в исследовании закономерностей, определяющих устойчивость капитальных горных выработок, проводимых и поддерживаемых в пучащих породах, и в разработке технологии повышения их устойчивости с обоснованием технологических параметров ее реализации.

Идея работы связана с применением методов случайных функций к прогнозированию устойчивости выработок в пучащих породах и в использовании тонких "пленочных" покрытий для сохранения естественной влажности приконтурного породного массива и предупреждения снижения его прочности.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- влчсучивание пород почвы в горных выработках является случайным процессом потери упругопластической устойчивости статистически неоднородного приконтурного породного массива;
- количественной мерой оценки устойчивости выработок в пучащих породах является случайно изменяющийся по длине коэффициент устойчивости, определяемый как отношение критического радиуса зоны неупругих деформаций к текущему ее радиусу и зависящий от

геомеханических параметров породного массива и горнотехнических условий эксплуатации выработки.

Научные значения и новизна работы:

- впервые использована вероятностная модель пучения пород почвы в количественном анализе устойчивости выработок в условиях пучащих пород с учетом случайной изменчивости горногеомеханических характеристик вмещающих пород, что позволяет прогнозировать устойчивость выработки и оценивать возможные технологии и мероприятия по ее повышению;
- доказано, что применение полимерцементных покрытий позволяет существенно сохранить прочность вмещающих пород, уровень падения прочности пород снижается более чем в три раза и после 2-3 месяцев процесс пучения практически прекращается, не достигнув опасных значений; применение герметизирующих покрытий следует считать эффективной мерой борьбы с пучением почвы в выработках.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается значительным объемом шахтных исследований, сходимостью теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и натуральных условиях, (расхождение до 10%), положительными результатами промышленных испытаний и оценками их эффективности.

Практическое значение работы состоит в решении задачи прогнозирования и оценки устойчивости выработок при их проектировании и эксплуатации, в возможности проведения анализа влияния различных факторов на устойчивость, в разработке технологии применения изолирующих полимерцементных покрытий в качестве эффективной меры борьбы с пучением.

Реализация работы осуществлена в условиях шахт ПО "Шахтерскуголь", выполнены решения прикладных задач для выработок, эксплуатируемых в условиях пучения пород почвы.

Применение герметизирующих полимерцементных покрытий в условиях шахты им. Постникова позволило в 2,5-3 раза сократить уровень падения прочности вмещающих пород, относительная длина устойчивой части выработки уменьшилась в 3,5 раза.

Апробация работы. Работа в целом и основные ее разделы докладывались на техническом совете ПО "Шахтерскуголь" (1993 г., 1994 г., 1995 г.), на 1-м Межгосударственном семинаре по проблемам комплексного освоения недр (ГГАУ, 1995 г.), на научных конференциях профессорско-преподавательского состава ГГАУ (1993 г., 1994 г.), на заседании кафедры строительства шахт и подземных сооружений (1994 г., 1995 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные

работы.

Объем работы. Работа состоит из четырех глав с введением и заключением представленных на 119 страницах машинописного текста, содержит 9 таблиц, 20 рисунков и список литературы из 99 наименований.

Автор благодарит сотрудников кафедры строительства шахт и подземных сооружений государственной горной академии Украины и инженерные службы ПО "Шахтерскуголь" и шахтоуправления "Постниковское" за помощь, оказанную при выполнении диссертационной работы.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ состояния капитальных, основных магистральных и подготовительных выработок угольных шахт Украины, а также затрат, связанных с их поддержанием и ремонтом, показывает, что большую трудность при поддержании выработок в эксплуатационном состоянии представляет борьба с пучением пород почвы. На угольных шахтах Украины ежегодно ремонтируется около 5000 км выработок, в том числе с подрывкой вспученных пород почвы до 2500 км.

Несмотря на актуальность проблемы эффект вспучивания пород в подземных горных выработках является до настоящего времени наименее изученным, невзирая на выполненные многочисленные исследования.

Первое упоминание о пучении пород в горных выработках появилось в 1927 г. в работе М.И.Евдокимова-Ростовского. В последующие годы процессы пучения пород почвы изучались в ИГД им. А.А.Скочинского (Весков М.Н., Либерман Ю.М.), ДонУГИ (Заславский Ю.З., Комиссаров М.М., Киндур В.П.), ДГИ (Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н.) ДПИ (Кожелев К.В., Зборщик М.П.) ВНИМИ (Ардашев К.А., Бажин Н.П.), МГИ (Цымбаревич П.М., Черняк И.Л., Сонин С.Д., Шейхет М.Н.), ИГТМ АН Украины (Усаченко Б.М., Глушко В.Т.), КузПИ (Штумпф Г.Г., Западинский Л.А.), КарПИ (Векслер Ю.А.), КГМИ (Литвинский Г.Г.), ЛГИ (Смирняков В.В.), ВНИИОМШС (Друцко В.П., Чугай Н.И.) и другими исследователями.

Однако изучение различных форм проявления пучения пород, анализ имеющихся представлений о механизме вспучивания и разработка на этой основе конкретных мер борьбы с этим явлением остается важной технической задачей, связанной со снижением стоимости поддержания горных выработок угольных шахт, себестоимости добываемого угля.

Эффективность тех или иных мер борьбы с явлением выдавлива-

ния пород во многом зависит от того, насколько соответствуют принятые представления реальной природе процесса.

После проведения выработки в результате концентрации напряжений в окружающем массиве образуется зона нарушенных пород (зона неупругих деформаций), от размеров которой зависит устойчивость. Под влиянием воды и влаги воздуха прочность вмещающих пород существенно падает, опасность потери устойчивости выработки возрастает.

Необходимо сохранить прочностные свойства пород созданием изолирующих покрытий породных обнажений непосредственно после проведения выработки.

Цель работы заключается в исследованиях закономерностей потери устойчивости выработок в пучащих породах, в разработке технологии нанесения изолирующих покрытий для сохранения прочности пород.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие задачи:

- обследование состояния горных выработок, обобщение опыта их поддержания в пучащих породах;
- теоретические исследования потери устойчивости выработок в условиях пучащих пород под влиянием действующих сил;
- исследование устойчивости протяженных выработок с использованием вероятностно-статистических моделей на основе методов теории случайных функций;
- исследования и отработка технологии применения способа герметизации породного обнажения приконтурного массива в выработке действующей шахты.

Важное значение имеют исследования процесса разрушения пород в результате концентрации напряжений вокруг выработки.

При современных глубинах разработки угольных месторождений разрушение горных пород в окрестности проводимой выработки происходит как результат воздействия энергии гравитационного сжатия массива. Разгрузка породного массива в сторону образующейся полости протекает достаточно медленно и очень "жестко", то-есть, деформирование массива вблизи выработки происходит в условиях объемного неравнокомпонентного напряженного состояния.

Особенности "жесткого" деформирования породного массива относятся к основным механическим свойствам в описании исследуемого процесса. На таких представлениях основывается решение задачи об упругопластическом равновесии породного массива, ослабленного длинной горной выработкой.

Среди таких задач заслуживает интерес определение размеров упругопластической зоны в решении, полученном А.Н.Шашенко, в ко-

тором определялись компоненты напряжений, деформаций и перемещений в упругой и неупругой областях, а также размеры и форма контура, разделяющего эти области.

Одна из предпосылок состоит в том, что в пределах верхнего слоя литосферы, где, собственно, и ведутся горные работы, в горизонтально залегающих осадочных породах для широкого диапазона горногеологических условий распределение напряжений в нетронутом породном массиве принимается гидростатическим.

Получена формула, связывающая безразмерный радиус зоны неупругих деформаций  $r_L$  с параметром  $\theta = \frac{\gamma H - P_0}{R_c K_c}$ , который определяет горногеологические условия разработки и структурно-механические (прочностные) свойства массива горных пород

$$\frac{r_L \ln r_L}{r_L^2 - 1} = \sqrt{\frac{1}{2} \theta}. \quad (1)$$

Большие объемы измерений величины зоны неупругих деформаций выполнены Ю.З.Заславским, Н.Е.Костомаровым, Е.В.Стрельцовым. Сравнение обработанных результатов этих измерений со значениями, полученными по выражению (1), в 75% случаев дает отклонения не более 10%.

При значении  $\theta = 0,5$   $r_L = 1$ , то-есть, зона упругопластических деформаций образуется при  $\theta > 0,5$ .

Формула (1) неудобна тем, что радиус  $r_L$  не выражается в явном виде. Вместе с тем эта зависимость хорошо аппроксимируется выражением

$$r = a \exp b\theta = a \exp \frac{\gamma H - P_0}{R_c K_c} \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  получены при обработке натуральных данных, они равны  $a = 0,8$  и  $b = 0,5$ .

Размер зоны неупругих деформаций непосредственно связан с интенсивностью действующих на выработку сил горного давления: чем выше действие этих сил, тем больше радиус  $r_L$ , тем ниже устойчивость эксплуатируемой в данных условиях выработки.

Важной проблемой в решении прикладных задач, связанных с пучением почвы выработок, является установление критериев, определяющих начало возникновения процесса пучения в конкретных рассматриваемых условиях.

Общая закономерность, присущая явлению пучения - это наличие энергетических областей, характеризующихся различной интенсивностью протекания механических процессов, наиболее существенным из которых является упругопластическая потеря устойчивости равнове-

сия породного массива как явление перехода механической системы из одного энергетического состояния в другое, более низкого уровня, отличающееся наличием больших перемещений на контуре выработки.

Такой переход сопровождается пластическим течением среды и формулируется как задача о потере устойчивости упругопластического равновесия.

Необходимо оценить устойчивость породного массива в реальных условиях воздействия сил горного давления; при каких значениях этих сил, а, следовательно, при каких значениях размеров зоны неупругих деформаций  $r_L$  реализуется процесс выдавливания пород почвы выработки (процесс пучения).

В результате решения получено выражение, связывающее критический радиус зоны неупругих деформаций  $r_L^*$  с показателем объемного разрыхления вмещающих пород  $\bar{\epsilon}_v$  на контуре выработки.

$$\bar{\epsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* - 2 = 0. \quad (3)$$

Физическая суть соотношения (3) состоит в следующем. В процессе неупругого расширения пород в замкнутом объеме с жестким отпором крепи происходит перемещение внутреннего контура неупругой зоны  $r_L$ . До тех пор пока эти перемещения не достигнут определенной критической величины ( $r_L = r_L^*$ ), внутренний контур сохраняет первоначальную форму. При достижении критического значения возникает новое условие, сопровождающееся уменьшением уровня потенциальной энергии и большими перемещениями контура почвы (потеря устойчивости - пучение).

Это новое условие позволяет оценить устойчивость выработки в данном ее сечении  $\mathcal{J}$  в виде отношения

$$K_v(\mathcal{J}) = \frac{r_L^*}{r_L} \quad (4)$$

которое является коэффициентом устойчивости выработки. Предельное состояние наступает при  $K_v(\mathcal{J}) = 1$ . При  $K_v(\mathcal{J}) > 1$  - выработка устойчива, при  $K_v(\mathcal{J}) < 1$  - неустойчива, возникает опасность пучения.

Коэффициент устойчивости (4) отнесен к конкретному (одному) сечению  $\mathcal{J}$  выработки. Если выработка проходит в одних и тех же горногеологических условиях, то выражение (4) относится ко всем сечениям выработки. Однако, из-за сложности окружающей среды и самой задачи, из-за неоднозначности основных влияющих параметров, определяющих входящие в формулу (4) величины, значения коэффициента устойчивости будут меняться от сечения к сечению и эти изменения носят случайный характер. Тогда, если в данном сечении  $K_v(\mathcal{J}) > 1$ , предельное состояние не наступает и чем выше его значение тем с большей надежностью обеспечивается устойчивость. При

$K_y(\beta) < 1$  выработка теряет устойчивость и интенсивность этой потери зависит от уровня понижения коэффициента ниже единицы.

Таким образом, устойчивость рассматриваемой выработки длиной  $L$  оценивается коэффициентом (4), значение которого по длине является случайным. Статистическое исследование таких объектов выполняется на основе методов теории случайных функций.

В существующей расчетной практике крепь выработки, ее устойчивость проектируются по расчетной схеме типового сечения для принятого вида крепи: все параметры схемы однозначно определены (детерминированы) и они в равной мере относятся ко всем сечениям выработки по ее длине. Следовательно, изначально принимается идеализированная расчетная схема: изотропный сплошной массив с определенными физико-механическими свойствами и контактными условиями работы крепи. В действительности же, как уже подчеркивалось выше, свойства породного массива неоднозначны по длине выработки, передача нагрузок на крепь по ее контактам с породным массивом носит случайный характер, поэтому переменными становятся и параметры зоны неупругих деформаций и показатели нагружения крепи от сечения к сечению выработки.

Функция (3) в явном виде относительно  $r_L^*$  аппроксимируется с высокой точностью в пределах реальных значений  $\bar{\epsilon}_v$  степенным выражением

$$r_L^* = 1 + \bar{\epsilon}_v^{-0.4} \quad (5)$$

Тогда коэффициент устойчивости (4) с учетом формул (2) и (5) определится выражением

$$K_y(\beta) = \frac{r_L^*}{r_L} = \frac{1 + \bar{\epsilon}_v^{-0.4}}{0,8 \exp 0,5 \left( \frac{R_H - R}{R_c k_c} \right)} \quad (6)$$

В этом выражении фигурируют параметры, определяющие условия формирования и развития процесса пучения: горногеологические па-

раметры эксплуатируемой выработки, включающие глубину залегания, прочность окружающих пород  $R_c$  с оценкой её структурных особенностей  $k_c$ , отпор крепи  $R_0$  и параметр  $\bar{\epsilon}_v$  объемное разрыхление вмещающих горных пород у контура выработки – специальная деформационная характеристика вмещающих пород, определяющая особенности физического процесса разрушения пород в объемном напряженном состоянии на основе оценок величины объемного расширения пород.

На рис. 1 показаны зависимости значений коэффициента устойчивости  $K_y(\beta)$  для реальных значений параметров  $\bar{\epsilon}_v$  и  $\theta$ .

В плане полученного детерминированного решения задачи на

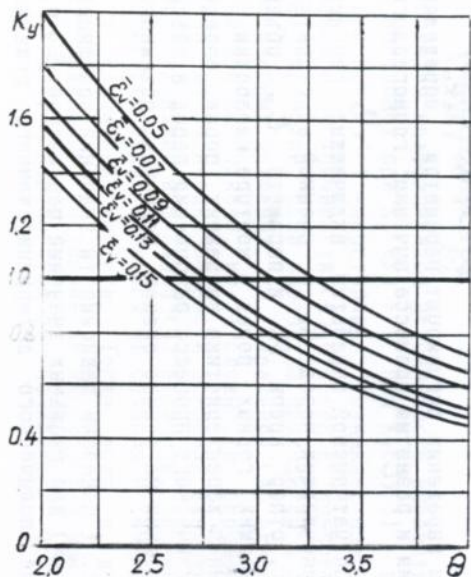


Рис. I

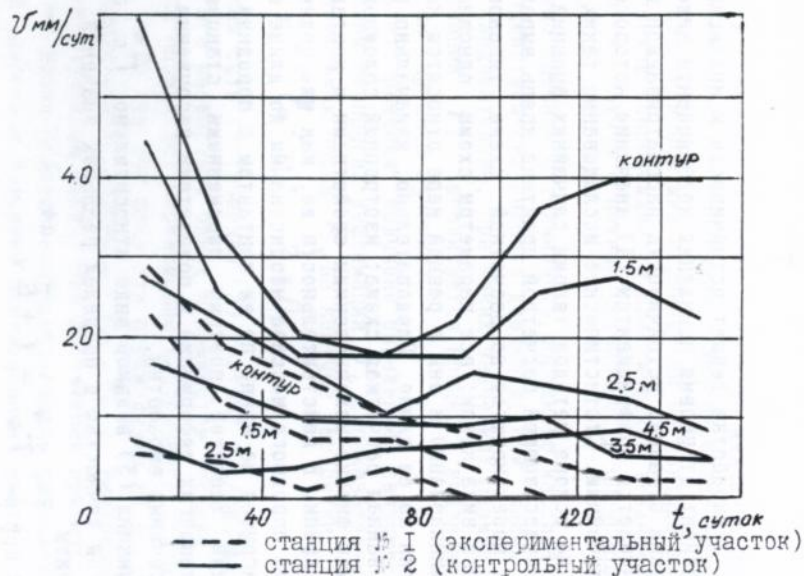


Рис. 2

этих графиках хорошо видно при каких условиях следует ожидать нарушение устойчивости выработки вследствие пучения пород. Эти условия определяются графиками ниже значения  $K_V(\beta) = 1$ . Уже это условие позволяет делать важные для практики прогнозы.

Однако, опыт показывает, что пользоваться такими графиками можно только для приближенных оценок возможных отрицательных последствий. Расчет дает точную однозначную оценку начала процесса пучения при  $K_V(\beta) = 1$ , а в реальных подземных условиях эта граница существенно "размыта" вследствие влияния случайных факторов, учет которых возможен на основе методов случайных функций с привлечением большого статистического материала, связанного с натурными и лабораторными исследованиями и измерениями.

Значения параметров  $\theta$  и  $\bar{E}_V$  неоднозначны от сечения к сечению, они являются случайными функциями координаты  $\beta$  (сечения выработки), следовательно, и коэффициент устойчивости (6) является случайной функцией  $\beta$ .

Таким образом, количественная оценка реализации процесса пучения зависит от характеристик случайной функции  $K_V(\beta)$ , которая получается в результате преобразования случайных функций  $r_L^*(\beta)$  и  $r(\beta)$  в соответствии с выражением (6). В приложении к случайным функциям это выражение является оператором, по которому осуществляются преобразования.

Для выработок, проводимых в одинаковых горногеологических условиях, рассматриваемые случайные функции являются стационарными.

Получены статистические характеристики коэффициента устойчивости:

математическое ожидание

$$m_K = \frac{m_{r^*}}{m_r}, \quad (7)$$

дисперсия

$$D = \frac{1}{m_{r^*}^2} (D_{r^*} + m_K^2 D_r), \quad (8)$$

где  $m_{r^*}, m_r; D_{r^*}, D_r$  - математические ожидания и дисперсии значений  $r_L^*$  и  $r_L$ , которые определяются выражениями

$$m_{r^*} = 1,4 m_{\bar{E}_V}^{-0,4}, \quad m_r = 0,8 \exp 0,5 \frac{m_V m_H - m_{P_0}}{m_{R_c} \cdot m_{K_c}}; \quad (9)$$

$$D_{r^*} = \left( \frac{\partial m_{r^*}}{\partial m_{\bar{E}_V}} \right)^2 D_{\bar{E}_V}, \quad D_r = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial m_r}{\partial m_i} \right)^2 D_i, \quad (10)$$

где  $m_{\bar{E}_V}, m_V, m_H, m_{P_0}, m_{R_c}, m_{K_c}$  - математические ожидания исходных геомеханических и горногеологических параметров.

В полученных решениях рассматривается устойчивость всей данной выработки длиной  $L$ . Устойчивость этой выработки в конечном решении характеризуется отношением той части ее длины  $L_y$ , на которой обеспечивается устойчивость, ко всей ее длине

$$W = \frac{L_y}{L} \quad (11)$$

Например  $W=0,9$  означает, что следует ожидать устойчивое состояние выработки на 90% ее длины, 10% длины потеряет устойчивость.

Решением методами теории случайных функций задачи о выбросах для выработки, представляемой сложной неопределенной системой, получено выражение для определения значения  $W$ -ожидаемого показателя устойчивости выработки в целом.

$$W = 1 - \Phi\left(\frac{1 - m_k}{\sqrt{D_k}}\right), \quad (12)$$

где  $\Phi\left(\frac{1 - m_k}{\sqrt{D_k}}\right)$  - функция Лапласа, ее значения табулированы.

Состояние выработки в каждом ее сечении является единичной реализацией рассматриваемой статистической задачи,

Простыми шахтными наблюдениями за состоянием выработки по всей ее длине в данных условиях ее эксплуатации определяется показатель  $W$  - это обычные статистические данные о состоянии выработок в маркшейдерском отделе шахты.

Следовательно, появляется возможность оценивать эффективность применяемых крепей и мероприятий, оценивать величины геомеханических параметров, представляющих научный или практический интерес при анализе реальных условий и т.п., то-есть, использовать шахтный производственный опыт в теоретических исследованиях и прикладных задачах при разработке конкретных мероприятий.

Эти возможности рассмотрены для конкретных условий шахт ПО "Шахтерскуголь", "Добропольеуголь" и "Укрзападуголь". Выполнены решения и анализ прикладных задач на примерах, связанных к реальным выработкам.

Анализ полученных результатов показывает прежде всего объективную оценку ожидаемого состояния устойчивости выработок. Кроме того из анализа видно в каком направлении следует обрабатывать и совершенствовать технологии изменения структурно-прочностных свойств массива горных пород, можно количественно оценивать ожидаемый эффект от применения этих технологий или мероприятий в процессе их разработки и совершенствования.

Выполненные расчеты показывают большое влияние сохранения прочности вмещающих пород на устойчивость выработок в условиях пучения почвы. Особенно большие потери прочности отмечаются

вследствие воздействия на породы влаги.

Горные породы являются дисперсными системами с сильно развитой внутренней поверхностью раздела между фазами.

В дисперсных породах возникают разновидности фазовых контактов, которые в зависимости от глубины генетических изменений по-разному реагируют на воздействие свободной влаги и воды. Поэтому большое значение имеют мероприятия, которые обеспечивали бы сохранение естественной влажности горных пород вокруг выработки. Этого можно достигнуть путем применения покрытий обнажений горных пород специальными герметизирующими составами.

Способность полимерных материалов в виде водных дисперсий образовывать тонкие пленки в сочетании с высокой прилипаемостью к естественным и искусственным камням делает их весьма эффективными для создания водоизолирующих пленочных покрытий.

Полимерцементные составы представляют собой смесь водной дисперсии полимера и наполнителей в виде высокомарочных портландцементов.

Проведенные лабораторные испытания связаны с подбором составов изолирующих покрытий с целью установления наиболее оптимальных весовых соотношений компонентов и водополимерного отношения. Испытана рецептура из 11 сочетаний, из которых выбирали составы, наиболее приемлемые для данных условий по их характеристикам.

Отработан технологический процесс создания изолирующего полимерцементного покрытия, включающий три основных операций:

- приготовление состава для полимерцементного покрытия;
- подготовка поверхности породного обнажения призабойного пространства для нанесения покрытия;
- нанесение герметизирующего покрытия на подготовленную поверхность породного контура горной выработки.

Герметизирующие покрытия были применены в шахтных условиях.

Шахтные исследования и испытания были выполнены в главной вентиляционной выработке 10-го горизонта шахты "Постниковская" ПО "Шахтерскуголь".

Основной участок выработки на протяжении 260 м пройден по простиранию пород в кровле пласта  $\delta_3$ . Выработка была пройдена на глубине 1026 м, закреплена металлической податливой арочной трехзвенной крепью из спецпрофиля СВП-27, площадь поперечного сечения в свету  $12 \text{ м}^2$ , в проходке -  $15,9 \text{ м}^2$ .

На прямолинейном участке выработки было заложено две замерные станции. Станция № 1 располагалась в середине экспериментального участка длиной 50 м. На этом участке была применена технология нанесения изолирующего покрытия на породные обнажения. Стан-

ция N 2 была заложена на контрольном участке этой же выработки без применения покрытий.

Для определения величины смещений пород приконтурного массива на каждой станции в двух сечениях закладывались контурные и глубинные репера. Расстояние между сечениями 10 м. Использовались репера конструкции ДонУГИ. Глубинные репера закладывались только в почву выработки, пять реперов глубиной 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 м. Измерялись относительные и абсолютные смещения реперов. Смещения боковых пород являются источником информации о состоянии массива горных пород. Величины смещений вмещающих пород зависят от размеров зон, перешедших в состояние неупругого деформирования.

Величины смещений по отдельным реперам станции N 2 на отмеченных выше глубинах составили в среднем за первые 20 суток соответственно 120; 88; 72; 34; 16 мм. Через 80 суток эти величины достигли значений 270; 200; 140; 90; 28 мм – увеличились примерно в два раза.

На экспериментальном участке (станция N 1) отмечались смещения трех первых реперов на глубинах 0,5; 1,5; 2,5 м. Соответствующие смещения за 20 суток составили 72; 44; 18 мм, а спустя 80 суток – 172; 82; 24 мм.

По соотношению отмеченных величин видно, что во втором случае при применении герметизирующих покрытий процесс смещения пород по глубине быстро затухает. Смещений на глубинах 3,5 и 4,5 м практически не отмечено.

Таким образом, можно отметить существенное влияние герметизирующих покрытий: величины смещения контура почвы уменьшились в 2–2,5 раза, а процесс смещения пород почвы уже после 80–100 суток практически прекратился.

Положительное влияние покрытий на устойчивость выработки хорошо прослеживается на графиках скоростей смещений пород почвы на указанных станциях (рис. 2). Из графиков видно, что по станции N 2 наибольшие скорости имеют место в начальный период после проведения выработки, отмечается плавное уменьшение скоростей смещений в течение первых 60–70 суток.

По характеру изменений скоростей смещений можно судить об уровне деформирования пород, о состоянии вмещающего массива, нарушении его сплошности вследствие разрушения. Видно, что после семидесяти суток отмечается повышение скоростей смещения первых трех реперов в то время как следующие два репера продолжают перемещаться с той же скоростью и только после 120 суток отмечается уменьшение скорости, граница области неупругих деформаций находится между глубиной 3,6–4,2 м.

Характер смещений пород почвы на экспериментальном участке совсем другой. Графики на рис. 2 (штриховые линии) показывают затухание смещений, их величина уже на глубине 2,5 м практически незначительна, отсутствует разрушение, нарушающее сплошность массива, зона неупругих деформаций не достигает двух метров.

Смещения контурных реперов кровли и боков выработки не превышают 20–25% максимальных смещений почвы.

Таким образом, при применении герметизирующих покрытий, влияющих на прочностные характеристики горных пород, процесс выдавливания пород почвы существенно изменился: величина поднятия пород почвы по глубине уменьшилась в 2,1–2,5 раза, существенно изменился характер протекания процесса, что хорошо видно на графике скоростей сдвижения (рис. 2).

Перемещения протекают более плавно, имеют затухающий характер.

Выполненные исследования и разработанный метод расчета основных параметров устойчивости выработки позволяют по-новому оценивать исследуемый процесс, получить определенные количественные оценки влияния различных факторов.

Для условий, в которых выполнялись шахтные исследования, выполнены аналитические расчеты.

По имеющимся статистическим данным о горногеологических и геомеханических условиях определены основные показатели прогноза устойчивости в условиях пучения пород: коэффициент устойчивости  $m_k = 1,87$  и показатель устойчивости  $W = 0,94$ . Это достаточно высокие показатели.

Однако, шахтные исследования резко противоречат этим данным, в исследуемой выработке пучение почвы захватило более значительную часть выработки, по натурным оценкам  $W = 0,65$ . Объясняется это тем, что в расчетах не учтено большое влияние влаги и воды на прочностные характеристики вмещающих пород.

Выполнены расчеты с учетом имеющихся в отчетных данных шахты показателей влияния воды на прочность. Получены следующие прогнозные характеристики:  $m_k = 1,02$ ;  $W = 0,51$ . Это более реальный прогноз, хотя отрицательные оценки устойчивости выработки существенно завышены из-за того, что влияние воды на прочность пород оценено по лабораторным испытаниям на образцах. Влияние же воды на прочность пород в подземной выработке по глубине от ее контура неравномерно и это следует иметь в виду при расчетах и прогнозных анализах.

Более объективно для рассматриваемых условий с учетом шахтных данных о состоянии выработки расчетами определена реальная средняя величина потери прочности вмещающих пород без применения

герметизирующих покрытий и с их применением.

Потери прочности в первом случае составили 33,5%, а во втором — 10,6%.

Применение герметизирующих полимерных покрытий более чем в три раза сокращает уровень падения прочности пород, при этом показатель устойчивости  $W$  повышается почти на 40% (с 0,65 до 0,90).

Таким образом, появляется возможность проведения детального анализа при разработке технологий и мероприятий, связанных с повышением устойчивости выработок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором дано новое решение актуальной научно-технической задачи в установлении закономерностей, определяющих устойчивость капитальных горных выработок в условиях пучащих пород и в разработке технологий повышения их устойчивости с обоснованием технологических параметров ее реализации.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Выполненные исследования связаны с установлением закономерностей формирования зон неупругих деформаций вокруг выработок при разработке пологих угольных пластов Донбасса с количественной оценкой устойчивости выработок в условиях пучащих пород почвы и в использовании тонких полимерцементных герметизирующих покрытий для сохранения естественной влажности приконтурного породного массива с целью предупреждения снижения его прочности и, как следствие, сохранения устойчивости выработок.
2. Из известного решения упругопластической задачи получена формула для вычисления размеров зон неупругих деформаций в зависимости от горногеологических условий эксплуатации выработки и прочностных свойств вмещающего массива.

Из решения задачи предельного состояния горных пород вокруг выработки получено выражение, связывающее критический радиус неупругих деформаций с характеристикой объемного разрыхления пород.

Полученные выражения позволяют поставить проблему прогнозирования пучения как аналитическую задачу.

3. Устойчивость выработок, эксплуатируемых в склонных к пучению породах, рассчитывается по формуле коэффициента устойчивости, выражаемого отношением критического радиуса зоны к реальному ее радиусу.

Устойчивость выработки оценивается в вероятностных категориях с учетом случайной изменчивости физических и структурных

характеристик массива, а также случайного характера неравномерности нагрузок на крепь и ее несущей способности.

4. Шахтные исследования процесса пучения пород почвы выполнены для типичных условий разработки пологих пластов Донбасса. Исследования проведены с применением герметизирующих покрытий. Заложены наблюдательные станции и получены количественные данные о смещениях горных пород и устойчивости выработки.

Сохранение прочности вмещающих пород путем применения герметизирующих покрытий является мерой борьбы с пучением. Выполнены лабораторные исследования и испытания, подбор рецептуры, разработаны технологические этапы (стадии) процесса создания изолирующего полимерцементного покрытия.

5. Разработанный метод расчета устойчивости выработок позволяет для конкретных условий проводить детальный прогнозный анализ при разработке технологии и мероприятий, связанных с повышением устойчивости выработок.

На конкретных примерах, привязанных к реальным условиям разработки, выполнено решение ряда прикладных задач для выработок, эксплуатируемых в условиях пучащих пород почвы:

- оценка устойчивости выработок в заданных горногеологических условиях;
- прогноз устойчивости выработок в связи с увеличением глубины горных работ;
- установление необходимого значения коэффициента устойчивости для обеспечения заданного показателя устойчивости выработки;
- оценка необходимого уровня изменения прочностных и структурных характеристик вмещающего массива для обеспечения заданного уровня устойчивости выработки.

Проведен количественный анализ эффективности применения герметизирующих полимерцементных покрытий: более чем в три раза сокращается уровень падения прочности вмещающих пород (с 33,5 до 10,6%). При этом показатель устойчивости выработки ( $W$ ) повышается почти на 40% (с 0,65 до 0,90).

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Шашенко А.Н., Парчевский Л.Я., Роечко А.Н., Тулуб С.Б. Оценка устойчивости выработок в условиях пучения почвы // Днепроп. горн. ин-т. - Днепропетровск, 1993. - 19 с. - Деп. в ГНТБ Украины 20.12.93, N 2481-Ук 93.

2. Роечко А.Н., Сдвижкова Е.А., Тулуб С.Б. Вероятностная оценка устойчивости выработок в условиях пучения пород почвы // Методы теории вероятностей в геомеханике. Киев: Техніка, 1994. -

с. 128-133.

3. Шашенко А.Н., Парчевский Л.Я., Тулуб С.Б. Количественный метод прогноза пучения углевещающих пород шахт Донбасса//Материалы I межгосударственного семинара по проблемам комплексного освоения недр (ГГАУ, 1995 г.) - Днепропетровск, 1996. - С.61-56

4. Парчевский Л.Я., Жолоб А.А., Тулуб С.Б. Исследование процесса пучения пород в условиях шахт ПО "Шахтерскуголь"//Материалы I межгосударственного семинара по проблемам комплексного освоения недр (ГГАУ, 1995 г.) - Днепропетровск, 1996.- С. 63-68.

В опубликованных работах личный вклад соискателя заключается в следующем:

[1,2,3] -решение задачи и анализ полученных зависимостей;

[4] -постановка,решение задачи и анализ полученных зависимостей.

## RESUME

S.B.Tulub. Forecasting and underground workings stability increase under swelling rock conditions.

Theses for the Candidate of Sciences Degree on speciality 05.15.04 - Mining and underground construction and 05.15.11 - Physic processis in mining. The State Mining Academy of the Ukraine. Dnepropetrovsk, 1996.

The work presents the results of theoretical and field study of the process of rock swelling in underground workings. The technigue of forecasting and quantitative estimation of underground workings stability has been worked out on the basis of methods of the random functions theory.

The location study of underground workings conditions with flat seams extraction in Donbass has been carried out using the technigue of sealing coating application.

The influence of the coatings on the swelling rock stability is estimated on the basis of analytical forecasting and using the results of mine investigations and adoptions.

A number of applied tasks of the underground workings conditions forecasting under the swelling rocks has been solved.

The results of investigations havt been reveiled in the mono-graph and 3 articles.

## АНОТАЦІЯ

Тулуб С.Б. Прогнозування та підвищення стійкості виробок в умовах здимання порід підшви.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальностями 05.15.04 - Шахтне та підземне будівництво та 05.15.11 - Фізичні процеси гірничого виробництва. Державна гірнича академія України, Дніпропетровськ, 1996.

В роботі захищаються результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу здимання порід підшови в гірничих виробках. Розроблена і застосована методика прогнозування та кількісної оцінки стійкості виробок на основі методів випадкових функцій.

Для типових умов виїмання пологих пластів Донбасу виконані натурні дослідження стану виробок з використанням методу нанесення герметизуючого покриття на породне відслонення. Вплив покриття на здимання порід підшови оцінено на основі аналітичного прогнозу і результатів шахтних спостережень та впровадження.

На конкретних прикладах знайдено рішення прикладних задач прогнозування стану виробок при їх проектуванні. Результати досліджень опубліковані в монографії та трьох статтях.

Ключові слова: коефіцієнт стійкості виробок, здимання порід підшови, статистичні параметри стійкості, ізолююче покриття.



Тулуб Сергей Борисович

Прогнозирование и повышение устойчивости выработок в условиях пучения пород почвы

/Автореферат/

Подписано в печать 27.03.96 г. Формат 60x84/16  
Бум.тип. N 3. Офс.печ. Усл.печ. л. 1,0. Уч.-изд.л.1,0  
Тираж 100 экз. Заказ N 26 Бесплатно.

Ротапринт ИВЦ ПО "Октябрьуголь", 343700,  
г.Харцызск, ул.Адамца, 50.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України



AB3H.LHO

446152

AB 34.740

**AB 34.740**