

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

На правах рукописи

РОЕНКО Анатолий Николаевич

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ
ШАХТ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ

Специальность 05.15.04 – "Шахтное и подземное
строительство"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск
1995

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00778170 (U)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

На правах рукописи

РОЕНКО Анатолий Николаевич

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ
ШАХТ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ

Специальность 05.15.04 - "Шахтное и подземное
строительство"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск
1995

ДВ 32, 626

Диссертация представлена в форме рукописи
Работа выполнена в Государственной горной академии
Украины

Научный консультант

академик АИН Украины, докт. техн. наук, профессор
Шашенко Александр Николаевич

Официальные оппоненты

Академик АГН Украины, докт. техн. наук, проф. Пиньковский Глеб Станиславович

Докт. техн. наук, проф. Дружко Евгений Борисович

Докт. техн. наук Косков Иван Григорьевич

Будущее предприятие

Донецкий научно-исследовательский
угольный институт (ДонУГИ)

Защита диссертации состоится "29" мая 1995 г. в 10 ч
на заседании специализированного совета Д03.06.03 в Госу-
дарственной горной академии Украины (320027, г. Днепропет-
ровск-27, пр. Карла Маркса, 19).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "29" мая 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук

Садовенко
И. А. Садовенко

ЛНБ им. В. Стефанива
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Программа широкомащтабной реконструкции действующих и строительства новых шахт в Украине, обусловленная необходимостью обеспечения добычи угля до 2000 г. на уровне 140-150 млн. т в год и доведением этой цифры к 2005 г. до 158 млн. т, ставит перед шахтостроителями и производственниками ряд сложных проблем, связанных с проведением, креплением горных выработок и обеспечением их устойчивости в процесс эксплуатации. Основной причиной, приводящей к потере устойчивости выработок, является остоянный рост глубины отработки угольных месторождений и, связанное с этим, усложнение горно-геологических условий.

Опыт строительства и эксплуатации глубоких шахт показывает, что в таких условиях не только интенсифицируются все известные проявления горного давления, но и характер их развития существенно отличается от уже известного.

Несоответствие применяемых крепей и способов обеспечения устойчивости выработок характеру развития геомеханических процессов привело к увеличению объемов ремонтных работ, связанных с необходимостью поддержания выработок в удовлетворительном состоянии: из всех поддерживаемых выработок деформировано более 50%, в том числе 20% находится в аварийном состоянии и около 5 тыс. км, т.е. 30% общей их протяженности ежегодно ремонтируется.

Изучение закономерностей деформирования и разрушения приконтурного массива пород в окрестности выработок позволило установить, что в ряде случаев на больших глубинах некоторые виды проявления горного давления происходят не в результате разупрочнения породного массива, а являются следствием потери им устойчивости равновесного состояния. Это позволило предложить новый подход к рассмотрению проблемы устойчивости массива пород в окрестности выработок и решению задач по их креплению и охране, так как поддержание выработок в рабочем состоянии во многом зависит от степени соответствия критериев, принятых при расчете параметров состояния породного массива, характеру развития в нем геомеханических процессов.

Следовательно, использование нового подхода, основанного не на понятии прочности породного массива, а на понятии устойчивости его равновесного состояния при изучении особенностей развития геомеханических процессов в окрестности выработок и разработка на этой основе критериев оценки устойчивости приконтурного массива, является важной научно-технической проблемой, решение которой позволит разрабатывать эффективные средства и способы обеспечения устойчивости горных выработок на больших глубинах.

Исследования выполнены в рамках целевой комплексной отраслевой программы РН.Ц.001 "Совершенствование технической базы топливно-энергетического комплекса и повышение эффективности использования энергоресурсов (Энергокомплекс), утвержденной Постановлением № 3 Госплана СССР от 28.01.1981 г. и Постановлением правительства СССР.

Целью работы является научное обоснование, разработка и практическое применение средств и способов обеспечения и прогнозирования устойчивости протяженных горных выработок, расположенных в неоднородном породном массиве на больших глубинах.

Основная идея работы заключается в использовании закономерностей деформирования неоднородного породного массива в окрестности выработок глубокого заложения при разработке средств и способов обеспечения их устойчивости.

Методы исследований. Поставленная в диссертационной работе цель достигнута путем применения комплексного подхода к выполнению исследования, включающего анализ и обобщение литературных данных и опыта крепления горных выработок, аналитические исследования напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород и процесса потери им устойчивости, лабораторное и натурное изучение развития геомеханических процессов в окрестности горной выработки. Аналитические исследования выполнены с привлечением методов механики подземных сооружений, механики твердого деформируемого тела, строительной механики, теории упругости и пластичности. Лабораторные исследования - с использованием положений теории подобия.

Научные положения, защищаемые в диссертации:

- затраты средств на поддержание выработок глубоких угольных шахт находятся в экспоненциальной зависимости от комплексного показателя устойчивости θ ($\theta = \gamma H / \sigma_{сж}$). при этом значения показателя $\theta < 0,14$ соответствует устойчивое состояние выработок, при $0,22 \leq \theta \leq 0,14$ - область повышенных давлений на крепь при устойчивых породах почвы и значениями показателя $\theta > 0,22$ - область потери устойчивости пород почвы;

- основным фактором, определяющим структуру и объем ремонтных работ в горных выработках, расположенных вне зоны влияния очистных работ, является нелинейно зависящий от комплексного показателя θ размер зоны неупругих деформаций (ЗНД) r_u : при $r_u < 1,2$ - практически не требуется выполнения ремонтных работ, при $1,2 \leq r_u \leq 1,6$ - необходимо выполнять ремонт и перекрепление выработок и при $r_u > 1,6$ - необходимо выполнять перекрепление и подбивку пород почвы;

- в двухслойных комбинированных крепях горных выработок наличие межслоевого контакта "породобетон-порода" приводит к существенному (до 50%) снижению тангенциальных напряжений на внутреннем кон-

туре и повышению несущей способности конструкции в 1,5-2,0 раза;

- явление вспучивания почвы горной выработки, расположенной в неоднородной, жестко деформируемой по одной среде, является результатом потери упруго-пластической устойчивости приконтурным массивом; началу процесса вспучивания соответствует критический радиус зоны неупругих деформаций (r_L^*), определяемый выражением $E_v k_0 (\alpha_{r_L^*} + \beta_{r_L^*}) \times \ln r_L^* (r_L^{*-2} - 1) + 2 = 0$, где E_v и k_0 механические константы породной среды.

- вспучивание слоистой почвы горных выработок происходит в результате потери слоями упругой устойчивости и переходом их от исходных равновесных форм к смежным; при этом критическая величина сжимающих усилий σ_k нелинейно зависит от величины начальной погнби ω_0 и коэффициента сцепления между слоями K .

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью поставленных задач, использованием апробированных методов механики подземных сооружений и механики твердых деформируемых тел, фундаментальных положений теории упругости и пластичности; удовлетворительной (до 10-15%) схожимостью результатов аналитических, лабораторных и натурных исследований; достаточной апробацией научных положений и выводов работы; успешным внедрением результатов в практику сооружения горных выработок.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- в новой постановке решена упруго-пластическая задача о размерах зоны неупругих деформаций вокруг выработки; на основе предложенной зависимости для радиуса зоны неупругих деформаций, а также анализа затрат на поддержание выработок показана возможность прогнозирования структуры и объемов ремонтных работ в горных выработках;

- впервые исследовано напряженно-деформированное состояние комбинированной крепи типа АНТ (арка+набрызгбетон+тампонаж), представляющей собой двухслойную толстостенную конструкцию некругового очертания, что позволило установить степень влияния межслоевого контакта "породобетон-порода" на несущую способность крепи;

- разработана инженерная методика расчета комбинированной крепи АНТ, работающей с использованием несущей способности приконтурного массива пород, позволяющая оперативно производить выбор рациональных параметров крепи для конкретных горно-геологических условий;

- впервые исследован процесс потери устойчивости структурно неоднородного породного массива в окрестности протяженной выработки с использованием фактических закономерностей деформирования пород за пределом прочности; полученное выражение для критического радиуса зоны неупругих деформаций позволяет на стадии проектирования выра-

ботки прогнозировать возможность вспучивания пород почвы;

- разработан новый подход к оценке возможности вспучивания слоистой почвой горной выработки, отличающийся использованием критерия, основанного не на понятии прочности слоистой почвы, а на понятии устойчивости ее равновесного состояния; полученные зависимости позволяют оценить возможность вспучивания слоистых пород почвы при различных сочетаниях провоцирующих пучение факторов.

Практическое значение работы:

- предложена методика определения параметров крепи типа АНТ, позволяющая учитывать влияние основных геологических и горнотехнических факторов; методика доведена до инженерного уровня и дает возможность оперативно производить выбор рациональных параметров крепи;

- при внедрении крепи АНТ в различных горно-геологических условиях отработаны рациональные конструктивные и технологические ее параметры, позволяющие обеспечить устойчивость выработок в течение всего срока их эксплуатации;

- выполнено комплексное исследование явления вспучивания пород почвы в протяженных горных выработках, расположенных на большой глубине, позволившее установить новые закономерности и особенности в развитии этого процесса;

- разработан новый подход к интерпретированию явления вспучивания, заключающийся в том, что процесс пучения рассматривался не как результат потери прочности породами почвы, а как потеря ими устойчивости равновесного состояния. Это позволило предложить новые критерии для оценки возможности вспучивания пород;

- тщательная проверка мероприятий, направленных на снижение интенсивности пучения, позволила отработать параметры предлагаемых способов, а также оценить работоспособность их в конкретных горногеологических условиях.

Реализация результатов исследований:

- на шахтах Луганской и Донецкой областей комбинированной крепью типа АНТ закреплены десятки километров горных выработок различного назначения. Это позволило обеспечить устойчивость выработок, сократить сроки их обрушения, сэкономить строительно-материальные материалы и получить существенный экономический эффект;

- методика расчета основных параметров крепи АНТ внедрена при разработке рекомендаций для замены монолитных металлобетонных крепей на комбинированную АНТ в околоствольных дворах горизонтов 700 и 900 шахты "Горская" комбината "Луганскшахтострой". Это позволило сократить сроки строительства околоствольных дворов и сэкономить более 40 тонн металлокрепи.

- на основании обобщения положительного опыта применения крепи типа АНТ были разработаны техническое задание на комбинированную крепь, проект крепей типа АНТ, а также раздел "Комбинированная крепь" к Руководству по проектированию и применению крепей капитальных горных выработок;

- на шахтах "Белозерская" и им. РККА ПО "Добропольеуголь" на участках выработок общей длиной 130 м выполнена экспериментальная проверка мероприятий по предотвращению пучения пород почвы, в результате чего отработаны параметры предлагаемых способов и диапазон горно-геологических условий, в которых целесообразно применение способов.

Основные результаты научных исследований используются в учебном процессе при изучении студентами специальности 0304 "Шахтное строительство" курса "Механика подземных сооружений, конструкции и расчет крепи".

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзных семинарах по исследованию горного давления и способов охраны капитальных и подготовительных выработок (Новосибирск, 1978, 1980, Якутск, 1982), на республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (Воронеж, 1979), на УП Всесоюзной конференции по механике горных пород (Днепропетровск, 1981), на научно-техническом совете института ВНИИОШС (Харьков, 1978, 1979, 1980), на технико-экономическом совете комбината "Воронежшахтострой" (Воронеж, 1977, 1979), на семинаре кафедры строительства шахт и подземных сооружений КГМУ (Коммунарск, 1988), на совещании ученых и специалистов по вопросу крепления и охраны горных выработок (Павлоград, 1993), на объединенном семинаре кафедры строительства шахт и подземных сооружений ГГАУ (Днепропетровск, 1983, 1991, 1994, 1995).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 31 статье.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 289 наименований и приложений. Изложена на 426 страницах машинописного текста, содержит 81 рисунок и 19 таблиц.

Работа выполнена на кафедре строительства шахт и подземных сооружений Государственной горной академии Украины.

Автор выражает искреннюю благодарность академику АИИ Украины, доктору технических наук, профессору А.Н. Машенко за постоянное внимание и многолетнюю помощь при выполнении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Постоянный рост глубины отработки угольных месторождений поставил перед производственниками ряд сложных задач, связанных с обеспечением необходимого уровня добычи угля и обусловленных значительным усложнением горно-геологических условий. Опыт строительства и эксплуатации горных предприятий в таких условиях показал, что обеспечить долговременную устойчивость выработок на больших глубинах довольно сложно.

Применение дорогих, материалоемких крепей, обладающих высокой несущей способностью, не всегда являлось эффективным мероприятием, о чем свидетельствует состояние выработок и рост затрат, связанных с их сооружением и поддержанием. Общее состояние выработок на шахтах Украины в настоящее время характеризуется следующими показателями: всего деформировано выработок — 50%, в том числе стволов — 32%, околоствольных дворов — 43%, основных горизонтальных выработок — 50%, сопряжений — 67%, подготовительных выработок различного вида и назначения — 73%. Столь неудовлетворительное положение с обеспечением устойчивости выработок привело к необходимости поиска новых, нетрадиционных решений в части крепления и охраны горных выработок.

Общезвестными являются исследования в этом направлении таких ученых, как Бахлямов Я.В., Буличев Н.С., Глушко В.Т., Друшко Е.Б., Заславский Ю.З., Картозия Б.А., Косков И.Г., Ковалев К.В., Либерман Я.М., Литвинский Г.Г., Максимов А.П., Парчевский А.Я., Пиньковский Г.С., Сонин С.А., Усаченко Б.М., Черняк И.Л., Шашенко А.Н. и др.

Многолетний опыт работы позволил накопить ученым и производственникам значительный положительный опыт в этом направлении. Так, наряду с применением различного вида подпорных крепей, широкое распространение получило использование несущей способности приконтактного породного массива, эффективные способы охраны выработок. Однако, анализируя ситуацию с состоянием и затратами на поддержание выработок, проблему обеспечения их устойчивости нельзя считать решенной.

Изучение причин такого положения показало, что, наряду с усложняющимися горно-геологическими условиями, одним из основных влияющих факторов является несоответствие применяемых средств и способов крепления и охраны выработок на больших глубинах характеру проявления горного давления, отличающегося от такового на средних и малых глубинах. Это привело к резкому росту затрат на поддержание выработок в условиях больших глубин. На рис. 1 приведен график зависимости затрат, связанных с ремонтом и поддержанием выработок, от комплек-

сного показателя устойчивости $\theta = \sigma_{сж}/\gamma H$.

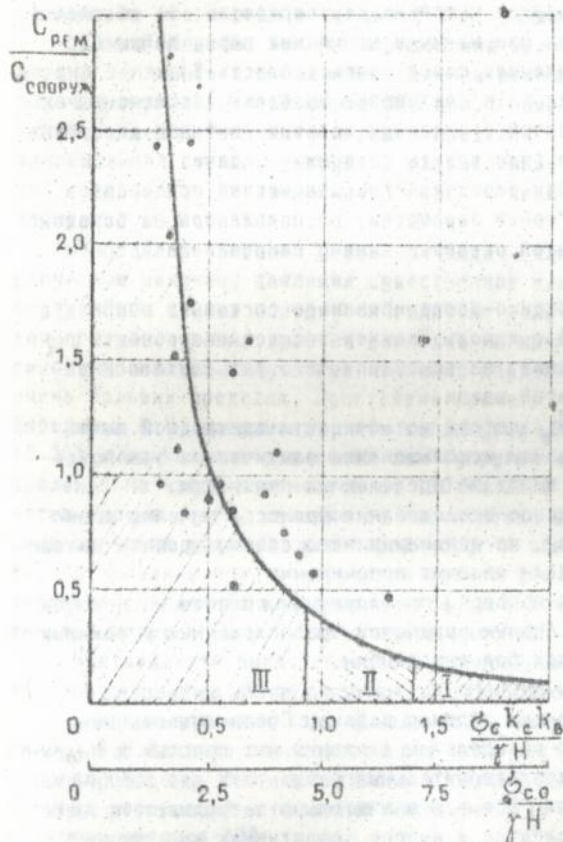


Рис. 1

Как видно из графика, есть несколько областей, в которых условия поддержания выработок существенно отличаются друг от друга;

область I, где значение параметра $\theta < 0,14$ соответствует "малым" и "средним" глубинам, для крепления применяются типовые крепи и процесс поддержания выработок заключается в выполнении профилактических мероприятий.

С переходом горных работ на большие глубины ситуация с обеспечением устойчивости выработок резко меняется в худшую сторону и условия их поддержания могут формироваться по двум направлениям. В первом случае окружающие выработку породы после их обнажения склонны к интенсивному расслоению в кровле и боках выработки, создании повышенного давления на крепь, частичному или полному ее разрушению.

Почва выработки при этом остается устойчивой. Процесс поддержания связан с необходимостью выполнения ремонтов крепи, частичным или полным перекреплением участков выработки. Этому состоянию соответствует область II на рис. 1 и значения комплексного показателя $0,22 \leq \theta \leq 0,14$. Наличие области III свидетельствует о значительном ухудшении условий поддержания выработок глубоких угольных шахт. Причиной столь существенного роста затрат является резкая интенсификация всех видов проявлений горного давления и, особенно, пучения пород почвы. Этому состоянию массива пород соответствует значение параметра $\theta > 0,22$.

Анализируя зависимость, приведенную на рис. 1, можно заключить, что с переходом горных работ на большие глубины возникает две проблемы, связанные с обеспечением устойчивости выработок: 1- обеспечение устойчивости выработок при наличии непучащих пород почвы (область II) и 2- борьба с пучением пород почвы (область III).

Исходя из такого подхода к постановке проблемы обеспечения устойчивости горных выработок в условиях больших глубин в диссертационной работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить особенности развития геомеханических процессов в окрестности протяженной горной выработки, расположенной на большой глубине, и определить на этой основе величину нагрузки на крепь и ее податливость.

2. Исследовать напряженно-деформированное состояние комбинированной крепи, работающей с использованием несущей способности приконтурного породного массива, на основании чего разработать инженерную методику расчета этой крепи.

3. Исследовать процесс потери устойчивости однородной почвы горных выработок на основании использования фактических закономерностей разрушения горных пород за пределом их прочности.

4. Выполнить комплексное исследование процесса пучения слоистой почвы горных выработок, на основании чего сформулировать математические и физические модели явления вспучивания.

5. Выполнить тщательную проверку предложенных средств и способов обеспечения устойчивости горных выработок, расположенных в тяжелых горно-геологических условиях больших глубин.

Определение величины горного давления на крепь выработки - чрезвычайно важная и довольно сложная задача. Среди существующих в настоящее время методов определения давления нет простых и надежных, которые давали бы удовлетворительные результаты для различных горно-геологических условий. Все это значительно затрудняет процесс проектирования горных выработок и выбора эффективных конструкций крепей.

Анализ наиболее распространенных гипотез по определению величины горного давления показал, что подавляющее большинство из них предполагает связь величины давления с размерами зоны неупругих деформаций, образующейся вокруг выработки. Такой подход является наиболее правдоподобным, поскольку он учитывает характер развития геомеханических процессов в окрестности выработок, сопровождающийся образованием ЗНД и формирования нагрузки на крепь.

Исходя из такой предпосылки были выполнены сбор, обобщение и анализ имеющихся в научно-технической литературе сведений о фактических размерах ЗНД вокруг выработок и величине давления на крепь.

Несоответствие вес пород в пределах ЗНД фактической величине нагрузки на крепь позволило сделать вывод, что давление на крепь создают не все породы в пределах ЗНД, а лишь какая-то их часть.

Таким образом, задача определения величины давления на крепь должна заключаться в последовательном решении двух взаимосвязанных задач - определения размеров ЗНД вокруг выработки, а также установления размеров той части пород в пределах этой зоны, где массив в максимальной степени разрушен, разрыхленные породы потеряли сцепление, отделились от вышележащих пород и своим весом создают давление на крепь.

В процессе решения указанных задач было установлено, что на расчетную величину давления существенное влияние оказывает угол внутреннего трения пород ρ и если его величина принята без достаточного обоснования, расчет давления на крепь практически теряет смысл, поскольку получаемые значения давлений могут изменяться в очень больших пределах. Простейшие расчеты с использованием формул Либермана Ю.М. показывают, что когда угол ρ принят в интервале $18-30^\circ$ и одинаковым для обеих зон (упругой и неупругой), величина давления на крепь изменяется от 190 до 2190 кН/м². Выполнение расчетов, кроме этого, связано со сложностями в установлении фактических значений угла ρ для пород упругой области, в отличие от которого значение угла внутреннего трения для пород разрушенных, потерявших сцепление, характеризуется стабильностью и он для большинства пород и сыпучих материалов равен $35-40^\circ$.

Учитывая это, представляется целесообразным исключить из расчетов значение угла ρ для пород упругой области.

С использованием такого подхода, а также полученной А.Я.Парчевским и А.Н.Чаженко зависимости для угла внутреннего трения пород упругой области, была поставлена и решена задача о размерах зоны неупругих деформаций и получено выражение для определения безразмерной величины радиуса ЗНД:

$$r_0 = \left[\frac{2\gamma H - \sqrt{2\gamma H \sigma_{сж.м.}}}{2P_{от}} \right]^{1/\alpha}, \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{2\sin\rho}{1-\sin\rho}$; ρ - угол внутреннего трения пород разрушенной зоны; $\sigma_{сж.м.}$ - предел прочности пород на сжатие в массиве; $P_{от}$ - отпор крепи.

Основываясь на исходной предпосылке о том, что давление на крепь выработки создают не все породы в пределах ЗНД, а лишь какая-то их часть, были собраны и проанализированы данные, полученные многочисленными учеными при исследовании структуры и состояния пород по глубине зоны неупругих деформаций. Характер изменения изучаемых параметров (коэффициент разрыхления пород, их смещение, модуль Вига,

скорость распространения продольных ультразвуковых волн и др.) по глубине зоны позволил сделать вывод, что в пределах ЗНД существует две области, свойства пород в которых резко отличаются друг от друга. В первой области значения измеряемых параметров резко меняются с удалением от контура выработки, а во второй они претерпевают незначительные изменения по мере удаления от контура, приближаясь к значениям параметров неразрушенного массива. Естественно предположить, что такое резкое изменение значений измеряемых параметров в 1-й области обусловлено агрегатным состоянием разрушенных пород, которые в максимальной степени разрыхлены, потеряли сцепление и, подобно сыпучей среде, своим весом создают давление на крепь. Размер этой области составляет 25-30% от размера всей ЗНД, что позволило предложить для определения величины давления на крепь выработки в условиях больших глубин следующую зависимость:

$$P = 0,3 \gamma r_0 \left[\left(\frac{2 \gamma H - \sqrt{2 \gamma H G_{сж.м}}}{2 P_{от}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (2)$$

где r_0 - радиус выработки.

Выполненные расчеты показали, что величины давлений, полученные с использованием зависимости (2), имеют хорошую сходимость с данными о фактических его значениях, полученных путем шахтных измерений и имеющихся в научно-технической литературе.

Решение первой задачи исследований, выполняемых в настоящей работе, позволило установить еще одну интересную закономерность. Анализ графика зависимости $r_b = f(\theta)$, где θ - комплексный показатель устойчивости, построенного с использованием формулы (1), показал, что размер ЗНД и затраты на поддержание выработок (см. рис.1) имеют одинаковый характер зависимости от параметра θ . Это позволило сделать вывод о том, что размер ЗНД может быть принят в качестве основного фактора при прогнозировании объема и структуры ремонтных работ, связанных с поддержанием выработок на больших глубинах: при $r_b < 1,2$, что соответствует области I на рис.1, ремонтные работы практически выполнять нет необходимости; при $1,2 \leq r_b \leq 1,6$ необходимо выполнение ремонтных работ с частичным или полным перекреплением участков выработок (область II на рис.1) и при $r_b > 1,6$ - кроме отмеченных выше работ необходимо выполнять подрывку пород почвы (область III).

Разработка эффективных средств и способов обеспечения устойчивости горных выработок в условиях больших глубин при наличии непучащих пород почвы осуществлялась с учетом накопленного опыта в этом направлении. Изучение и анализ этого опыта показали, что наиболее работоспособными оказались обладающие высокой несущей способностью

ограниченно-податливые крепи. В силу особенностей своей конструкции и технологии возведения такие крепи позволяют массиву пород реализовать основную часть своих смещений, ограничить которые не в состоянии практически никакая крепь, а затем, становясь на "жесткий" режим работы и обладая высокой несущей способностью, предотвращают дальнейшее развитие ЗНД, обеспечивая равновесие системы "крепь-массив".

Оценка особенностей различных видов таких крепей позволила сделать вывод, что в условиях больших глубин необходимо ориентироваться на применение крепей, использующих несущую способность приконтурного массива пород. Одним из возможных вариантов решения проблемы крепления выработок на больших глубинах при непучащих породах почвы может быть применение комбинированной крепи АНТ, представляющей собой рациональное сочетание металлической арочной податливой крепи из СВП, набрызгбетонного покрытия по поверхности крепи и шестранного ограждения и талпонаша закрепного пространства. После завершения процесса возведения крепь АНТ можно рассматривать как 3-х-элементную конструкцию: 1-й элемент - подпорная крепь из СВП и два несущих слоя - замоноличенная в закрепном пространстве забутовка и скрепленная талпонашным раствором приконтурная трещиноватая зона.

Для достижения максимального эффекта при креплении выработок крепью АНТ необходимо иметь простую и надежную методику расчета ее параметров. Имеющиеся методики расчета многослойных крепей разработаны, в основном, для стволов или горизонтальных выработок круглого поперечного сечения, что не является характерным для горизонтальных и наклонных горных выработок. Исследование многослойной конструкции арочной формы никем не выполнялось, в связи с чем решение этой задачи имеет важное научное и практическое значение.

Для исследования напряженно-деформированного состояния крепи АНТ была выбрана ее расчетная схема. При этом учитывались особенности развития геомеханических процессов в окрестности выработки, особенности конструкции и технологии возведения крепи. В результате крепь АНТ рассматривалась как 2-х-слойный толстостенный полуцилиндр, лежащий на жестком основании и загруженный по наружному и внутреннему контурам нормальной и касательной нагрузками. В местах опирания полуцилиндра на основание действуют опорные реакции и изгибающий момент.

Учитывая сложность расчетной схемы для решения задачи был использован принцип суперпозиции, позволивший разделить основную схему на три подсхемы с соответствующими группами нагрузок.

С использованием такого подхода впервые было выполнено исследо-

вание напряженно-деформированного состояния 2-х-слойной крепи нечеткого очертания, в результате чего получены зависимости для напряжений и перемещений в любой точке конструкции. Полученные зависимости, вместе с результатами лабораторных и шахтных исследований, послужили основой для расчета крепи АНТ на ЗВМ. Результаты расчета, а также формула (2) позволили построить номограмму, с использованием которой можно определять рациональные параметры комбинированной крепи АНТ применительно к различным условиям ее применения.

Многолетний положительный опыт внедрения крепи АНТ в выработках различного назначения позволял заключить, что проблема обеспечения устойчивости горных выработок в условиях больших глубин и пучащих пород почвы может быть решена путем применения крепи АНТ или других крепей, сходных с указанной по конструкции и принципу работы.

Гораздо более сложной оказалась проблема борьбы с пучением пород почв в горных выработках. Несмотря на то, что это один из самых распространенных видов проявления горного давления, эффект вспучивания пород в подземных выработках до сих пор наименее изучен. Сложность проблемы пучения не позволяла до сих пор найти эффективных инженерных решений, которые бы удовлетворяли требованиям горнодобывающей отрасли.

Современные способы борьбы с пучением пород весьма разнообразны, но, к сожалению, нередко малоэффективны, что является следствием противоречивого, а иногда и неправильного трактования механизма этого явления. Изучением проблемы пучения пород почв занимались многие ученые, среди которых следует отметить работы Белова В.И., Белозовича И.М., Бондаренко А.П., Глазко В.Т., Городничева В.М., Гурдуса А.В., Давыдова С.С., Заславского Ю.З., Комелева К.В., Литвинского Г.Г., Литкина В.А., Максимова А.П., Руппенейта К.В., Сироватко И.В., Цимбаревича П.М., Черняка И.А., Шейхета И.Н. и др. Исследования указанных ученых позволили глубоко изучить механизм явления пучения, оценить влияние различных факторов на развитие этого процесса, предложить ряд конкретных мер борьбы с ним. Однако, несмотря на это, говорить о полной ясности в трактовке явления вспучивания пород нельзя, что подтверждается наличием многочисленных взглядов на физическую сущность явления, неоднозначной оценкой степени влияния различных факторов, а главное, отсутствием надежных инженерных решений по борьбе с пучением. Поэтому дальнейшее исследование механизма пучения и разработка на этой основе мероприятий по повышению устойчивости выработок в условиях пучащих пород представляет собой важную научно-техническую проблему.

Серьезные аналитические исследования по рассматриваемому вопросу в последнее время выполнял А.Н. Машенко, который процесс вспучива-

ния пород почвы считал результатом потери устойчивости упругопластического равновесия приконтурного массива. Несмотря на то, что предложенный подход является новым в изучении явления пучения, он требует дальнейшего развития, поскольку массив рассматривался структурно однородным, что не характерно для углекислых горных пород. В реальных условиях породный массив не является изотропной, однородной средой, в связи с чем совершенствование предложенного подхода к интерпретации механизма вспучивания для структурно неоднородных, слоистых пород является важной задачей.

Исходя из основной предпосылки, что породная среда в окрестности выработки деформируется жестко и является структурно неоднородной, более реальной будет модель пучения, отражающая особенности такого деформирования: разупрочнение и функционально связанное с ним разрыхление в пластической области. Задачей исследований, выполненных в настоящей работе, было определение такого критического значения глубины H^* и соответствующих ей критических значений радиуса области пластических деформаций r^* и смещений на контуре выработки U^* , при которых начинается процесс выдавливания.

Принимая в качестве основного условия то положение, что поле напряжений и перемещений вокруг выработки характеризуется наличием основного невозмущенного поля и дополнительного, возникающего вследствие выдавливания пород почвы, и которое наложится на основное, решение задачи сводилось к определению всех составляющих напряженно-деформированного состояния и последующего суммирования их для упругой и пластической областей.

Компоненты невозмущенного напряженно-деформированного состояния в упругой и пластической областях определялись известными зависимостями.

Получение выражений для напряжений и перемещений возмущенного состояния осуществлялось с использованием функции снижения прочности породной среды в окрестности выработки, имеющей вид:

$$\sigma/\sigma_0 = f(r) = A(1 - r^{-2}), \quad (3)$$

где $A = r_L^2(r_L^2 - 1)^{-1}$; σ - изменяющаяся в пластической области прочность на одноосное сжатие, а также зависимости между функцией разупрочнения (3) и функцией разрыхления:

$$\sigma/\sigma_0 = 1 - \epsilon_v/\epsilon_v^{\max}, \quad (4)$$

где $\epsilon_v^{\max}$ - максимальное увеличение объема в условиях одноосного сжатия; ϵ_v - текущее значение этой величины.

В результате решения поставленной задачи получено выражение для определения критического радиуса области пластических деформаций r_L^* :

$$e_v k_0 (\alpha + \beta) \ln r_L^* (r_L^{*2} - 1) + 2 = 0, \quad (5)_a$$

где $\alpha = 1,1 + 0,85 (\ln r_L^*)^2$; $\beta = \frac{r_L^{*2} + 2}{(r_L^{*2} + 1)^2} + \frac{1}{4} \ln \frac{r_L^{*2}}{r_L^{*2} + 1}$; k_0 - коэффициент, учитывающий остаточную прочность на контуре выработки.

Выражение (5) позволяет оценить возможность вспучивания пород почвы в горных выработках на стадии их проектирования.

Важным этапом в развитии моделей, описывающих явление пучения, стало исследование устойчивости слоистой почвы горной выработки. Впервые при математическом моделировании процесса был использован критерий, основанный не на понятии прочности слоистой почвы, а на понятии устойчивости ее равновесного состояния. Такой подход был принят исходя из следующих соображений.

Свод выработки является конструкцией самоподдерживающейся, поскольку его форма такова, что напряжения в нем в процессе деформирования всегда остаются сжимающими. Почва же ведет себя иначе. С течением времени наблюдается ее искривление в сторону выработки, сопровождающееся выдавливанием породных слоев, что может привести к появлению зон растягивающих напряжений. Слоистая структура пород почвы может служить причиной отрыва верхнего слоя от массива и интенсивного его изгиба в сторону выработки. Способствуют отрыву верхнего слоя сжимающие усилия со стороны боковых пород, а также выдавливающее действие нижележащих слоев почвы. Препятствует отрыву только сцепление с нижележащими слоями, которое не может быть больше, чем сопротивление пород разрыву и оно многократно отличается от прочности на сжатие в меньшую сторону.

Итак, если отрыв верхнего слоя возможен, за ним следует лавинообразное возрастание прогибов, возникновение значительных растягивающих напряжений в центральной части слоя и разрушение его как конструкции. Вопрос в том, что первично в процессе разрушения? Если при плавном монолитном деформировании почвы в ее центральной части из-за изгиба возникают значительные растягивающие напряжения, достигающие величины предела прочности пород на разрыв и приводящие к излому, то оправданным следует считать классический прочностной подход к исследованию проблемы пучения. Если же допустить, что в начале происходит отрыв верхнего слоя основания с последующим затем изломом, то возникает необходимость разработки нового подхода, основанного на исследовании устойчивости слоя как конструкции.

Принципиально важным является то обстоятельство, что в момент потери устойчивости слоя напряжения в нем могут не достигать предельных прочностных значений. С точки зрения прочности напряженное

состояние среды может считаться еще безопасным.

В настоящей работе для математического моделирования пучения было предложено две расчетные схемы, с использованием которых исследовался процесс потери устойчивости верхнего слоя пород почвы выработки.

Согласно первой расчетной схеме рассматривался процесс плавного (в общем случае неупругого) деформирования под нагрузкой верхнего слоя почвы, который имеет как начальные несовершенства формы, так и приобретенный в процессе нагружения изгиб. В роли внешних нагрузок выступают сжимающие усилия с боков выработки и усилия взаимодействия со стороны ниже-лежащих слоев, т.е. речь идет о продольно-поперечном изгибе слоя. В процессе деформирования в слое создается напряженно-деформированное состояние, характеризующееся существенной неоднородностью. Для подобного рода неупругих объектов типичной является следующая зависимость максимальных перемещений (в центре слоя) от обобщенного параметра нагрузки (рис.2).

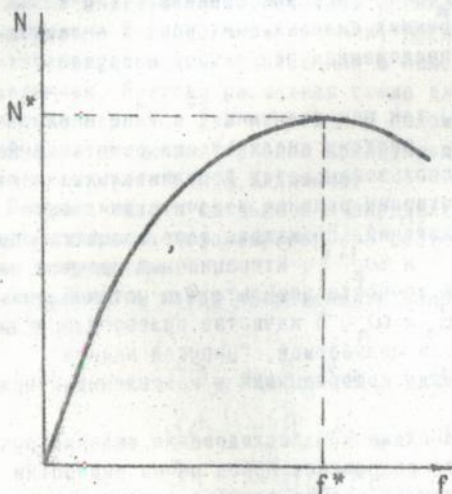


Рис. 2

На представленной диаграмме выделяется критическая точка (N^* , f^*). Она соответствует моменту истощения несущей способности слоя. Внешняя нагрузка не может превысить значения N^* . При достижении критической точки происходит отрыв верхнего слоя основания, интенсивное "складывание" слоя с появлением трещин. Завершается процесс полного разрушения слоя, как конструкции.

Таким образом, целью расчета является построение диаграммы деформирования пород почвы и нахождение критической точки.

Для исследований выделялась полоса слоя единичной ширины и толщиной h , имеющая начальный прогиб $\omega_n(x)$, обусловленный исходными несовершенствами поверхности основания.

В процессе деформирования слой получает дополнительный прогиб $\omega_d(x)$. Полное перемещение складывается из ω_n и ω_d . Связь верхнего

слоя основания с лежащими ниже слоями моделировалась упругими Винклеровскими связями. Погонная реакция принималась пропорциональной дополнительному прогибу $K\omega_d$ (где K - коэффициент жесткости).

Основными величинами, подлежащими определению при решении задачи, выбраны $\omega_d(x)$ и деформация срединной поверхности в направлении оси x $\epsilon_0(x)$, необходимость учета которой связана с существенной ролью продольных сжимающих усилий, вызывающих укорочение слоя, а также наличием зон пластических деформаций, служащих причиной неравномерности осевой усадки.

В результате решения была получена следующая разрешающая система задачи:

$$\begin{cases} E h \epsilon_0 + T^* = -T ; \\ E \frac{h^3}{12} \frac{d^4 \omega_d}{dx^4} + \frac{d^2 M^*}{dx^2} + T \frac{d^2 (\omega_n + \omega_d)}{dx^2} - g + k \omega_d = 0 . \end{cases} \quad (6)$$

В этой системе $\epsilon_0(x)$ и $\omega_d(x)$ - искомые функции; T^* и M^* - пластические составляющие внутренних силовых факторов; T - сжимающее продольное усилие; g - распределенная поперечная нагрузка; E - модуль Юнга.

Система (6)-(7) нелинейна, так как величины T^* и M^* нелинейным образом связаны с ϵ_0 и ω_d , поэтому аналитически решить ее невозможно. В связи с этим был использован метод дополнительных нагрузок А.А.Ильина, согласно которому решение задачи строилось в процессе последовательных приближений. На каждом шаге процесса определялись искомые функции ϵ_0^{j+1} и ω_d^{j+1} . Итерационный процесс продолжался до получения требуемой точности результата и установления критических значений величин ϵ_0 и ω_d . В качестве нулевого приближения использовалось решение, так называемой, "упругой задачи", т.е. задачи, в которой связь между деформациями и напряжениями принимается линейной.

Вторая возможная расчетная схема для исследования явления пучения пород заключается в том, что разрушение пород почвы выработки представлялось как результат резкого отрыва слоя от основного массива. Для изучения этого вида разрушения использована бифуркационная модель. Суть ее в следующем.

С начального момента в течение длительного времени (вплоть до наступления критического состояния равновесия) наблюдается процесс плавного деформирования массива пород вокруг выработки, сопровождающийся монотонным нарастанием деформаций и, в частности, перемещений центральной части основания внутрь выработки. Процесс характеризует-

ся однозначной зависимостью деформаций от обобщенного параметра нагрузки. В критический момент обнаруживается возможность существования наряду с исходными и других смежных форм равновесия при том же уровне нагрузки. Процесс плавного докритического деформирования разветвляется, перестает быть однозначным. Слой приобретает способность скачкообразно перейти к искривленной форме равновесия без дополнительных внешних воздействий. Такой переход провоцируется различными факторами: несовершенством формы, структурной анизотропией пород, малыми динамическими воздействиями, одновременно высокой прочностью (хрупкостью) пород и высоким уровнем напряжений и т.д. Скачкообразный переход к смежным формам равновесия определяет бифуркацию. При бифуркации остается неизменным только общий уровень внешней нагрузки. Все внутренние силовые факторы и деформации приобретают дополнительные приращения.

Существенным отличием предлагаемой постановки задачи устойчивости от общепринятой в механике классической постановки является учет неоднородности докритического состояния равновесия.

Докритическое состояние слоя основания характеризуется изменением только в поперечном сечении. Послебифуркационное состояние характеризуется изменением как в поперечном, так и в продольном направлениях. Поэтому расчетная схема для описания явления потери устойчивости строится для пластины с соизмеримыми размерами.

Анализ устойчивости слоя проводился на основе деформационной теории пластичности А.А.Ильюшина.

Решение задачи сводилось к определению приращений всех составляющих напряженно-деформированного состояния слоя, появляющихся в момент выпучивания.

Зависимость между приращениями напряжений и деформаций была получена в виде:

$$\begin{aligned} \delta \sigma_x &= B_{11} \delta \epsilon_x + B_{12} \delta \epsilon_y; \\ \delta \sigma_y &= B_{21} \delta \epsilon_x + B_{22} \delta \epsilon_y; \\ \delta \tau_{xy} &= B_{33} \delta \epsilon_{xy} \end{aligned} \quad (8)$$

Так как между приращениями деформаций ϵ и приращениями перемещений ω в момент потери устойчивости слоя существует связь вида

$$\delta \epsilon_x = -z \omega''; \quad \delta \epsilon_y = -z \omega''; \quad \delta \epsilon_{xy} = -z \omega', \quad (9)$$

то подстановкой (9) в (8) получаются зависимости между приращениями напряжений и перемещений:

$$\begin{aligned}\delta \phi_x &= -B_{11} Z \omega'' - B_{12} Z \omega''; \\ \delta \phi_y &= -B_{21} Z \omega'' - B_{22} Z \omega''; \\ \delta \tau_{xy} &= -B_{33} Z \omega'',\end{aligned}\quad (10)$$

где Z - нормальная координата, отсчитываемая от срединной поверхности слоя (трих означает дифференцирование по координате X , точка - по координате Y); B_{11}, B_{12} и т.д. - параметры, учитывающие упругие свойства пород и интенсивность напряжений и деформаций в слое.

Интегрированием приращений напряжений по толщине слоя получены выражения для приращений внутренних силовых факторов:

$$\begin{aligned}\delta M_x &= -J_{11} \omega'' - J_{12} \omega''; \\ \delta M_y &= -J_{21} \omega'' - J_{22} \omega''; \\ \delta M_{xy} &= -J_{33} \omega''.\end{aligned}\quad (11)$$

$$\text{где } J_{11} = \int_{-h/2}^{h/2} Z^2 B_{11} dz; \quad J_{12} = \int_{-h/2}^{h/2} Z^2 B_{12} dz \text{ и т.д.}$$

Используя уравнения нейтрального состояния равновесия слоя

$$\delta M_x'' + 2\delta M_{xy}' + \delta M_y'' - \phi_x h \omega'' - \phi_y h \omega'' = 0, \quad (12)$$

где ϕ_x и ϕ_y - докритические напряжения, получено основное разрезающее уравнение в задаче исследования устойчивости верхнего слоя основания выработки:

$$\begin{aligned}J_{11} \omega'''' + 2J_{11}' \omega'''' + (J_{11}'' + J_{21}'' + \phi_x h) \omega'' + \\ + (J_{12} + 2J_{33}' + J_{21}) \omega'''' + 2(J_{33}'' + J_{21}') \omega'' + 2(J_{12}' + J_{33}') \omega'' + \\ + 2J_{33}' \omega'' + J_{22} \omega'''' + 2J_{22}' \omega'''' + (J_{22}'' + \phi_y h + J_{12}'') \omega'' = 0.\end{aligned}\quad (13)$$

Для получения наглядной картины о протекании процесса вспучивания пород и о степени влияния того или иного фактора на развитие этого явления было выполнено численное исследование с использованием описанной выше математической модели.

На рис. 3 и 4 приведены графики зависимости критического сжимающего усилия ϕ_k от амплитуды начальной погиби и коэффициента сцепления.

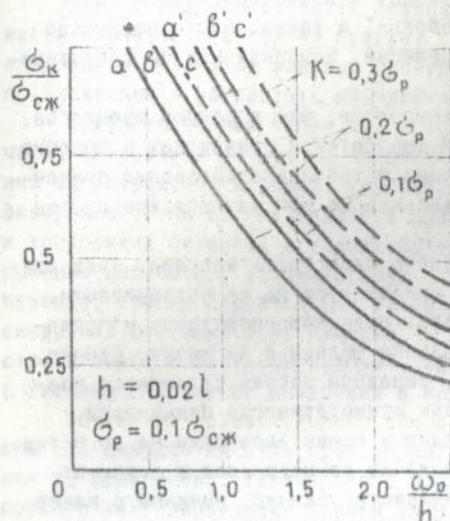


Рис. 3

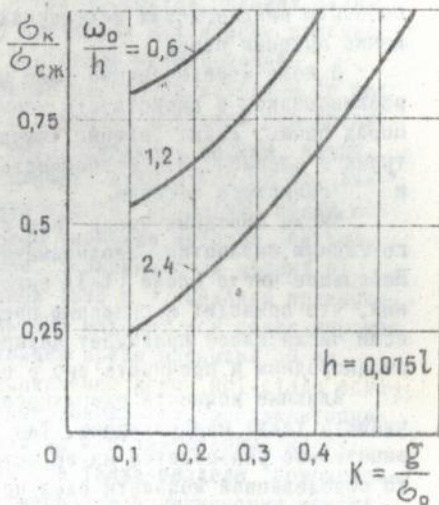


Рис. 4

Точки $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta', \gamma'$ на графиках (рис. 3, 4) соответствуют предельному состоянию слоя: эти точки являются начальными для оценки целостности породных слоев по критерию прочности и конечными для рассмотрения их с точки зрения потери упругой устойчивости в процессе деформирования.

Оценка влияния различных факторов на развитие явления вспучивания позволила сделать вывод, что математическая модель, лежащая в основе исследований, достаточно близко отражает поведение пород в процессе пучения. Установленные зависимости раскрывают физическую природу этого явления и будут полезны при разработке мероприятий по повышению устойчивости выработок.

Следующим этапом исследования явления пучения стало физическое моделирование на моделях из эквивалентных материалов. Указанный метод, в силу своих достоинств и особенностей, позволяет получить наглядную картину развития геомеханических процессов в массиве пород при различных геомеханических ситуациях, выполнить не только качественную, но и количественную оценку влияния тех или иных факторов на развитие изучаемого явления. Моделирование осуществлялось

на специально созданном для этих целей стенде. Основными задачами моделирования были: исследование влияния количества слоев в почве и их мощности на устойчивость выработки; а также оценка работоспособности предлагаемых инженерных решений, направленных на предотвращение пучения пород.

В ходе моделирования было установлено, что в основе процессов, развивающихся в окрестности горной выработки и приводящих к пучению пород почвы, лежит явление бифуркации устойчивого состояния приконтурного массива. Эта особенность характерна как для сплошного, так и слоистого массива.

Число породных слоев или степень слоистости массива, вмещающего горную выработку, неоднозначно сказывается на ее устойчивости. Небольшое число слоев (1-3) выполняет роль концентраторов напряжений, что приводит к снижению предельной условной нагрузки. Однако, если число слоев превышает четыре, породный массив становится квазиоднородным и прочность его в целом асимптотически повышается.

Влияние мощности одиночного слоя в почве выработки на ее устойчивость также неоднозначно. Так, наличие тонкого слоя в почве отрицательно сказывается на ее устойчивости, однако, начиная с какой-то определенной мощности слоя, устойчивость выработки резко повышается. Таким образом, создавая в почве выработки упрочненный слой пород достаточной мощности, можно добиться повышения устойчивости выработки в конкретных горно-геологических условиях.

В основе предложенного механизма вспучивания слоистой почвы лежит явление отрыва верхнего слоя вследствие его изгиба внутрь выработки под действием продольных сжимающих усилий. Если нарушить целостность слоев, то действие сжимающих усилий будет реализоваться в горизонтальной подстилке частей разрушенных слоев, а не вверх. В результате процесс вспучивания будет задержан на определенный промежуток времени или же, при благоприятных условиях, прекратится вообще.

Учитывая это, на моделях оценивалась степень влияния созданной в почве вертикальной разгрузочной цели на устойчивость выработки. При этом моделировались выработки без разгрузочной цели, с полой разгрузочной целью и со целью, заполненной материалом модели.

В результате было установлено, что при испытании моделей без разгрузочной цели и с полой целью интенсивный процесс смещений массива и пучения наступает при значительно меньшем уровне напряжений, чем на модели с заполненной целью. Это дает основание предполагать, что создание разгрузочных целей в почве выработки может оказаться эффективным средством предотвращения пучения пород почвы.

Выполненные исследования на моделях из эквивалентных материалов позволили установить некоторые закономерности развития процесса

пучения, а также определить возможные направления борьбы с этим явлением.

В процессе поиска путей решения проблемы обеспечения устойчивости горных выработок на больших глубинах на шахтах Украины были внедрены и проходили шахтную проверку некоторые инженерные решения, предложенные в результате выполнения настоящих исследований.

Комбинированная крепь АНТ и основные положения методики ее расчета внедрялись на шахтах Луганской и Донецкой областей для крепления магистральных штреков, выработок околоствольных дворов, камер. Внедрение крепи АНТ позволило в ряде случаев отказаться от тяжелых и трудоемких бетонных и металлобетонных крепей, сократить сроки сооружения выработок, получить существенную экономию металла, бетона, цемента, других строительных материалов. Экономический эффект от внедрения составил 1,37 млн.крб.(в ценах 1983 г.). Обладая преимуществами перед известными крепями, крепь АНТ находит все более широкое применение. Объем ее внедрения в настоящее время превысил 50 км.

Обобщение положительного опыта применения крепи АНТ стало основой для разработки некоторых нормативных документов, регламентирующих ее применение: технического задания на комбинированные крепи, проекта комбинированных крепей типа АНТ, а также раздела "Комбинированная крепь" к Руководству по проектированию и применению крепей капитальных горных выработок.

Шахтная проверка способов предотвращения пучения пород почв осуществлялась на шахтах ПО "Добропольеуголь". В ходе экспериментов производилась взрывоцелая разгрузка приконтурного породного массива (в боках и в почве) вокруг выработки при помощи камуфлетного взрывания. Было установлено, что при наличии слоистых пород в почве создание по центру выработки в ее почве разгрузочной цели является эффективным способом предотвращения пучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой выполнено теоретическое обобщение и решение крупной научной проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение и заключающейся в научном обосновании, разработке и практическом применении средств и способов обеспечения и прогнозирования устойчивости протяженных горных выработок, расположенных на больших глубинах вне зоны влияния очистных работ, на основе учета структурно-текстурных особенностей угленежающих пород.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. Обоснован основной принцип решения проблемы обеспечения устойчивости горных выработок в условиях больших глубин, предполагающий, что в зависимости от величины комплексного показателя устойчивости Θ решение проблемы может осуществляться по двум направлениям: 1- разработка средств и способов обеспечения устойчивости выработок при непучащих породах почвы и 2- борьба с пучением пород почвы.

2. Установлено, что затраты на поддержание выработок в условиях больших глубин находятся в такой же зависимости от комплексного показателя устойчивости Θ , что и безразмерный радиус зоны неупругих деформаций. Это позволяет по величине безразмерного радиуса ЗНД, для определения которого предложено аналитическое выражение, прогнозировать объем и структуру ремонтных работ. Решение задачи о размерах ЗНД отличается от имеющихся использованием особой параболической огибающей кругов $O.M_0$, аналитическое описание которой не содержит величину угла внутреннего трения пород.

3. Разработан аналитико-эмпирический подход к определению величины горного давления на крепь выработки в условиях больших глубин. Отличительной особенностью предложенного подхода является то, что величина давления на крепь определяется с использованием полученного аналитическим путем выражения для определения размеров зон неупругих деформаций, а также фактических данных о давлении на крепи, размерах ЗНД в окрестности выработок и состоянии пород в пределах этих зон.

4. Исследовано напряженно-деформированное состояние двухслойной комбинированной крепи АНТ, рекомендованной для крепления горных выработок в условиях больших глубин при непучащих породах почвы. Получены аналитические зависимости, которые позволяют оценивать уровень действующих в конструкции напряжений, а также устанавливать степень влияния упрочненного слоя приконтурного массива пород на несущую способность крепи. Использование основных закономерностей распределения напряжений и перемещений в крепи АНТ дает возможность регулировать несущую способность конструкции в процессе проектирования крепи на основе управления ее напряженно-деформированным состоянием.

5. Разработана инженерная методика расчета комбинированной крепи АНТ, с использованием которой для различных горно-геологических условий по определенной величине давления на крепь устанавливаются ее конструктивные параметры. Методика позволяет осуществлять подбор наиболее рационального сочетания параметров путем варьирования их значений применительно к конкретным условиям внедрения крепи АНТ.

6. Выполнено комплексное изучение процесса пучения пород почвы горных выработок, включающее аналитические, лабораторные и шахтные исследования. Это позволило предложить математическую и физическую модели явления вспучивания, установить степень влияния различных факторов на развитие процесса, а также наметить возможные пути борьбы с ним.

7. На основе использования фактических закономерностей деформирования горных пород за пределом их прочности усовершенствована методика прогнозирования возможности вспучивания почвы по величине критического радиуса области пластических деформаций. Критериальное выражение для радиуса области пластических деформаций получено с учетом функциональной связи между функциями снижения прочности горных пород и их разрыхления в пластической области и позволяет оценивать возможность потери устойчивости почвы на стадии проектирования горной выработки.

8. В процессе промышленного внедрения комбинированной крепи АНТ отработаны основные ее конструктивные и технологические параметры. На базе обобщения положительного опыта применения крепи разработаны техническое задание и технический проект на комбинированную крепь, а также раздел "Комбинированная крепь" к "Руководству по проектированию и применению крепей капитальных горных выработок", регламентирующие условия применения крепи АНТ и особенности конструкции и технологии её возведения в различных горногеологических условиях.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роенко А.Н. Влияние качества забутовки на несущую способность металлической арочной крепи // Шахтное строительство. - 1987. - № 3. - С. 21-23.
2. Шашенко А.Н., Парчевский Л.Я., Роенко А.Н. Предельное равновесие горного массива вокруг горизонтальной выработки, пройденной в слабых породах // Изв. вузов. Горный журнал. - 1993. № 12.
3. Шашенко А.Н., Роенко А.Н., Каганов М.Е. Критерий устойчивости в задаче о пучении пород почвы подземной выработки // Изв. вузов. Горный журнал. - 1994. № 1.
4. Шашенко А.Н., Роенко А.Н. Устойчивость почвы горных выработок, пройденных в слоистом породном массиве // Изв. вузов. Горный журнал. - 1994, № 2. - С. 31-33.
5. Шашенко А.Н., Роенко А.Н. О физической модели процесса пучения пород почвы в горных выработках // Изв. вузов. Горный журнал. - 1994, № 7.
6. Роенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Тулуб С.Б. Вероятностная оценка ус-

- тойчивости выработок в условиях пучения пород пойки// Методы теории вероятностей в геомеханике. Київ: Техніка, 1994.- С.128-133.
7. Максимов А.П., Рева С.Н., Роечко А.Н. Комбинированная крепь с использованием несущей способности массива и опыт ее применения// Крепление, поддержание и охрана горных выработок// Сб.научн.тр./ ИГД СО АН СССР, Новосибирск, 1979.
 8. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Напряженно-деформированное состояние крепей, работающих с использованием несущей способности приконтурного массива// Крепление и охрана горных выработок/ Сб.научн.тр./ ИГД СО АН СССР, Новосибирск, 1981.
 9. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Технология возведения и принцип работы композиционных крепей//Сб.научн.тр. Кузбасс. политехн. ин-т, Кемерово, 1979.- С.13-16.
 10. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Влияние схемы загрузки на несущую способность арочных металлических крепей//Строительство шахт, рудников и подземных сооружений,-Свердловск.- 1982.- С. 57-62.
 11. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Комбинированная крепь АНТ и методика определения основных ее параметров//Крепление, поддержание и охрана горных выработок//Сб.научн.тр./ ИГД СО АН СССР, Новосибирск, 1983.- С.52-54
 12. Шашенко А.Н., Роечко А.Н. О физической природе пучения слоистой почвы горных выработок// Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов// Сб.тр. П-А научно-техн.конф., Москва, 30 янв.- 3 февр., 1995, изд-во Моск.госуд.
 13. Максимов А.П., Роечко А.Н., Шашенко А.Н. и др. Опыт применения композиционной крепи АНТ//Строительство предприятий угольной промышленности.-ЦНИИУголь.- 1982, N 1.
 14. Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Несущая способность металлической арочной крепи при неполном контакте ее с породным контуром//Реферат, сборник "Марганец", Тбилиси.: ГрузНИИТИ.- 1987.- N 1 (109).- С. 10-13.
 15. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Матвишин А.П. и др. Некоторые закономерности деформирования осадочных пород при жестком нагружении //Реферат, сборник "Марганец", Тбилиси.: ГрузНИИТИ.- 1987.- N 2 (110).- С.11-14.
 16. Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Напряженно-деформированное состояние и расчет композиционных крепей, работающих с использованием несущей способности прилегающего массива горных пород// Тез.докл. УП Всесоюзной конф. по механике горных пород, г.Днепропетровск, 29 сент. 1981.- ИГД им. Скочинского А.А.- М., 1981.

17. Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Расчет крепи АНТ для выработок, пройденных в слабых породах// Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1982, - 17 с.- Деп. в УкрНИИТИ 24.05.1982, N 3598-Д82.
18. Роечко А.Н. К вопросу о поддержании выработок, пройденных в слабых породах// Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1982.- 12 с.- Деп. в УкрНИИТИ, N 3809 Ук-Д82.
19. Шашенко А.Н., Роечко А.Н. Упругопластическое распределение напряжений и перемещений вокруг горизонтальной выработки кругового очертания./Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1986.- 15 с. Деп. в УкрНИИТИ 10 сент. 1986, N 2117-Ук86.
20. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Назарко В.П. > др. Исследование процесса пучения горных пород на моделях из эквивалентных материалов// Днепр. горн. ин-т.-Днепр.-петровск, 1988.- 12 с.-Деп. в УкрНИИТИ 30.05.1988, N 1330-Ук 88.
21. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Шейко А.В. и др. Экспериментально-аналитический метод определения нагрузки на крепь горизонтальных выработок//Днепр. горн. ин-т.-Днепр.-петровск, 1989.-11 с.-Деп. в УкрНИИТИ 14.03.89, N 755-Ук 89.
22. Роечко А.Н., Назарко В.П., Иванчишин С.Я. Анализ состояния протяженных горных выработок шахт ПО "Добропольеуголь"//Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1988,- 13 с. Деп. в УкрНИИТИ 15.08.89, N 1897-Ук 89.
23. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Каганов М.Е. Исследование механизма пучения пород почвы подземных выработок глубоких угольных шахт// Днепр. горн. ин-т.-Днепр.-петровск, 1992.- 12 с.- Деп. в УкрИНТЭИ 30.09.92, N 1487- Ук 92.
24. Роечко А.Н., Раценко В.И. Влияние глубины разработки угольных пластов на устойчивость капитальных горных выработок//Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1992.- 5 с.-Деп. в УкрИНТЭИ 26.10.92, N 1747 - Ук 92.
25. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Косолапов А.Ф. О влиянии слоистости массива горных пород на устойчивость почвы выработки//Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1993.- 5 с.-Деп. в УкрИНТЭИ 22.02.93, N 226- Ук 93.
26. Роечко А.Н. К вопросу об определении понятия "большие глубины"// Днепр. горн. ин-т.- Днепр.-петровск, 1993.- 14 с.-Деп. в ГНТБ Украины 01.07.933, N 1333- Ук 93.
27. Роечко А.Н. О влиянии значения угла внутреннего трения пород на расчетную величину давления на крепь//Днепр. горн. ин-т.-Днепр.-петровск, 1993.- 9 с.-Деп. в ГНТБ Украины 16.11.93, N 2265- Ук 93.
28. Роечко А.Н. К установлению значения угла внутреннего трения горных пород//Днепр. горн. ин-т.-Днепр.-петровск, 1993.- 10 с.-Деп. в

- в ГНТБ Украины 16.11.93, N 2266- Ук 94.
29. Шашенко А.Н., Робенко А.Н. Решение задачи об упруго-пластической устойчивости структурно-неоднородного породного массива в окрестности одиночной горизонтальной выработки/Госуд.горн. академия.-Днепропетровск, 1994.- 14 с.-Деп. в ГНТБ Украины 5.12.94, N 2276- Ук 94.
30. Шашенко А.Н., Робенко А.Н. Шахтные исследования работоспособности способов предотвращения пучения пород почвы горных выработок/Гос.горн.академия Украины.-Днепропетровск, 1994.-12с.-Деп.в ГНТБ Украины 25.01.95, N 216 - Ук 95.
31. Робенко А.Н. Оценка способов борьбы с пучением пород почвы подземных горных выработок на моделях из эквивалентных материалов/Гос.горн.академия Украины.-Днепропетровск, 1994.- 6 с.- Деп. в ГНТБ Украины 25.01.95, N 218- Ук 95.

В опубликованных работах личный вклад соискателя заключается в следующем:

(1,10,14) - постановка и решение задачи; (2) - решение задачи; (3,5,6,12,23,29) - решение задачи, анализ полученных зависимостей; (4,20,25) - постановка задачи, моделирование, анализ результатов; (7,9,13) - анализ состояния выработок, закрепленных крепью АНТ; (8,16) - решение задачи, обработка результатов, анализ зависимостей; (11,17) - решение задачи, анализ результатов; (15) - испытание и анализ результатов испытания горных пород на жестком прессе; (19) - решение задачи, анализ полученных соотношений; (21) - обобщение и анализ фактических данных о давлении на крепь; (22,24) - идея, обработка данных и анализ результатов экспериментов.

RESUME

A.N.Roenko. The coal mine development stability at deep operation sites.

Theses for the degree Doctor of Science on Speciality 05.15.04 "Mining and underground construction". The State Mining University of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

The work presents the results of the theoretical and field study of the rock massif under deformation in the vicinity of the deep developments. It has been established that under conditions of great depths the loss of the developments stability shall not be attributed to the loosening of the rock massif, but is the consequence of the loss of the equilibrium state thereof, and, further, the rock pressure manifestation depends on the dimensions of the non-resilient deformation zone. The result of investigations were published in 31 articles.

The results of the work have been experimentally tested and put into effect commercially at a number of coal mines.

АНОТАЦІЯ

Росенко А.М. Стійкість підготовчих виробок вугільних шахт в умовах великих глибин розробки.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.04 - шахтне та підземне будівництво, Державна гірнича академія України, Дніпропетровськ, 1995.

В роботі захищаються результати теоретичних та експериментальних досліджень деформування породного масиву навкруги виробок глибокого закладення. Встановлено, що в умовах великих глибин втрата стійкості виробок виникає не від втрати міцності породним масивом, а є наслідком втрати ним рівноважного стану, а характер прояв гірничого тиску залежить від розмірів зони непружних деформацій. Результати досліджень опубліковані в 31 статті.

Здійснені експериментальна перевірка та промислове впровадження результатів роботи на раді вугільних шахт.

Ключові слова: втрата стійкості, зона непружних деформацій, комбіноване кріплення, здимання порід підовби.



Роевко Анатолий Николаевич

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ
ШАХТ В УСЛОВИЯХ ГОЛЫХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ**

/Автореферат/

Подписано в печать 29.05.95 г. Формат 60x84/16.

Бум.тип. № 3. Офс.печ.Усп.печ.л.І,7. Уч.-изд.л.І,7

Тираж 100 экз. Заказ № 208 Бесплатно.

Ротапринт ГТА Украины, 320027,

Днепропетровск, пр.К.Маркса,19

453289

Бесплатно

Ав 32.626