

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

На правах рукописи

ДРУЦКО Виталий Павлович

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМБИНИРОВАННЫХ
СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В СЛОЖНЫХ ГОРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Специальности

05.15.04 - "Шахтное и подземное строительство"

05.15.11 - "Физические процессы горного производства"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск
1996

Диссертация является рукописью.
Работа выполнена в Научно-исследовательском институте
низации и механизации шахтного строительства (НИИОМШС)

Научные консультанты:

академик АГН Украины, докт.техн.наук, профессор
Усаченко Борис Миронович

академик АС Украины, докт.техн.наук
Косков Иван Григорьевич

Официальные оппоненты:

Академик АГН Украины,
докт.техн.наук

Пиньковский Глеб Станиславович

Докт.техн.наук, проф.

Парчевский Леонид Яковлевич

Докт.техн.наук, проф.

Кучер Валентин Михайлович

Ведущее предприятие

Государственный проектный институт
Южгипрошахт (г.Харьков)

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан " 6 " мая 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук

И.А.Садовенко



ЛННБ України ім.В.Стефаника



00754630 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Добыча угля на шахтах Украины ведется в условиях роста глубины залегания пластов и усложнения горно-геологических условий. При строительстве новых шахт и подготовке горизонтов ежегодно сооружается более 80 км капитальных горных выработок. Геомеханическая обстановка на достигнутых глубинах потребовала использования более материалоемких и трудоемких способов охраны выработок. Так, за последние 20-25 лет несущая способность крепи возросла в 2-2,5 раза, на крепление одного метра выработки расход металла достиг 0,5-1,2 т, бетона - 0,5 м³ при металлической крепи и до 3,0-3,5 м³ при металлобетонной, трудоемкость крепления увеличилась в 1,7-2,4 раза.

Вместе с тем анализ результатов обследования состояния выработок на глубоких горизонтах показал, что применение более сложных и тяжелых конструкций крепи не обеспечивает должной сохранности выработок. Так, на шахтах Донецкого бассейна более 40% выработок деформированы в той или иной степени, а около 20% находятся в аварийном состоянии. При строительстве новых шахт и горизонтов 40-50% выработок ремонтируют еще до сдачи их в эксплуатацию. В целом объем деформированных выработок ежегодно возрастает на 2-3%.

В соответствии с Программой развития угольной промышленности и социальной сферы шахтерских регионов на период до 2005 г (Постановление Кабинета Министров Украины № 141 от 02.03.94 г.) предстоит довести объем добычи угля в 2005 г. до 155-158 млн. тонн, для чего с целью улучшения технического состояния действующих шахт необходимо пройти 208 стволов, 258 околоствольных дворов и подготовить 409 горизонтов, построить 22 новые шахты и один разрез с общей годовой проектной мощностью 33250 тыс. т. Из общего количества новостроек в Донецкой, Луганской и Днепропетровской областях намечено построить 17 шахт. Эти шахты будут вести горные работы и отрабатывать пласты преимущественно на больших глубинах.

С увеличением глубины разработки напряжения в массиве вблизи выработки достигают предельно допустимых. Временные изменения прочностных и деформационных свойств вмещающих пород, увлажнение и прочие факторы влияния на предельно напряженные породы вызывают потерю ими несущей способности и постепенный переход от ненарушенного к связнонарушенному состоянию. Исследования ИГТМ НАН Украины (открытие № 1, Украина) показали, что эффект использования остаточной несущей способности реализуется за счет изменения условий дальнейшего развития разрушения нарушенных пород при изменении вида их

напряженного состояния. Этот эффект в наибольшей мере дает результаты при комбинировании различных воздействий (анкерование, тампонаж закрепного пространства, упрочнение вмещающих пород и др.).

Сложившееся положение в значительной степени обусловлено тем, что обеспечение устойчивости выработок с длительным сроком службы решается главным образом за счет несущей способности конструкций крепи, более 85% которых из металла. Сопротивление применяемых для крепи прокатных профилей часто не обеспечивает эксплуатационного состояния горных выработок. Недостаточно изучены вопросы повышения устойчивости породного массива вокруг выработок при упрочнении скрепляющими растворами и анкерами, увеличении несущей способности металлической, сборной железобетонной крепи, комплексной оценки составляющих системы "крепь-тампонажный слой", выбора и создания эффективных материалов для крепи. Их решение невозможно без исследования деформационных процессов в массиве, применения современных методов механики твердых деформируемых тел, математического моделирования, проведения натурных испытаний, а также установления технологических параметров работ по изменению состояния породного массива.

С учетом этого проблема создания физико-технических основ комбинированных способов крепления капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях весьма актуальна. Работа выполнена в соответствии с отраслевыми планами и приказами Минуглепрома СССР, Минуглепрома Украины и планами строительства подземных объектов в городских условиях.

Целью работы является создание физико-технических основ комбинированных способов крепления капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях.

Основная идея работы заключается в использовании особенностей взаимодействия крепи капитальных горных выработок и окружающих пород для повышения их устойчивости путем комбинированного применения системы последовательно или параллельно осуществляемых воздействий, при которых учитывается геомеханическое состояние массива и деформационно-силовые характеристики крепи.

Методы исследований. Поставленная цель диссертационной работы достигнута применением комплексного подхода к выполнению исследований, включающего системный анализ и обобщение современных научно-технических достижений в области крепления и поддержания горных выработок, прогнозирования проявлений горного давления, привлечения аналитических методов исследования с использованием положений механики подземных сооружений, строительной механики, твердого деформи-

руемого тела, математического моделирования, а также комплекса исследований в лабораторных и шахтных условиях с разработкой нового оборудования и средств измерений.

Основные научные положения, защищаемые в диссертации.

1. Отпор крепи в основных выработках возрастает пропорционально общему смещению окружающих пород, включающему ранее реализованные смещения породного контура, конечная величина которых определяется размерами зоны неупругих деформаций, формирующейся вокруг выработок, в свою очередь нелинейно связанными с параметрами крепи и показателями включения ее в работу.

2. Работоспособность породоанкерной охранной оболочки на базе анкеров с точечным и непрерывным по длине закреплением определяется режимом их взаимодействия с массивом, характеризующимся для первого случая - переходом потенциальной энергии натяжения анкера в кинетическую движения с трансформацией коэффициента статического трения замка о стенки скважины в меньший по значению коэффициент динамического трения, вызывающие ухудшение его несущей способности, и для второго случая - сохранением постоянного взаимодействия с массивом и натяжения, что в конечном итоге обеспечивает повышение на 65-70% грузонесущей способности породоанкерной оболочки с анкерами при их полном закреплении в скважине; эффект упрочнения пород скрепляющими растворами на основе цемента повышается при увеличении их подвижности за счет химических добавок, механической активации и предварительной гидрообработке трещиноватого массива.

3. Работоспособность комбинированной металлобетонной охранной системы зависит как от работы отдельных ее элементов, так и всей конструкции и определяется такими деформационно-силовыми показателями:

- несущая способность спецпрофиля снижается нелинейно при повороте его сечения до 45° , при подкреплении бимоментными связями она нелинейно возрастает с уменьшением шага подкрепления, при этом пластический момент сопротивления в 1,31 раза более статического, что в совокупности обеспечивает увеличение несущей способности рамной крепи в 1,5-1,7 раза;

- эффективность работы комбинированной металлобетонной охранной системы на базе рамной крепи и монолитной забутовки достигается за счет разделения последней на блоки с формированием многослойной конструкции, связно работающей в единой системе с металлической крепью, обеспечивая нарастание сопротивления смещающимся в выработку породам на 30-50%.

4. Несущая способность сборной железобетонной многослойной

ной крепи определяется такими качественными и количественными показателями: с уменьшением числа элементов в крепи разрушающая нагрузка снижается, причем более интенсивно в условиях асимметрии нагружения; разрушающая нагрузка на отдельно расположенный элемент крепи почти на порядок ниже, чем при работе его в конструкции крепи.

Управляемое повышение несущей способности железобетонной шарнирной крепи обеспечивается разделением под нагрузкой крупных блоков на большее число уменьшенных элементов путем закладки в процессе производства в первые элементы податливости, что обеспечивает включение в работу дополнительных шарнирно-податливых соединений.

5. Управляемое изменение несущей способности бетонной крепи достигается путем регулирования содержания металлической стержневой арматуры, металлофибры и спецдобавок: при одинаковом армировании по массе прочность на изгиб со стержневой арматурой на 60% выше, чем с металлофibrой; применение разжижителей типа суперпластификаторов позволяет сократить расход вяжущего до 5% при сохранении прочности бетона; в зависимости от содержания химдобавок прочность бетона возрастает нелинейно, а подвижность бетонной смеси линейно. При армировании бетона металлофibrой несущая способность бетонной крепи повышается на 20-22%, при этом отношение несущей способности бетонной крепи к прочности бетона на изгиб в два раза выше аналогичного показателя для крепи из фибробетона.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается взаимосвязью экспериментальных и теоретических исследований, теоретическими предпосылками, базирующимися на фундаментальных положениях механики твердых деформируемых тел; сходимостью результатов лабораторных и шахтных наблюдений за работоспособностью конструкций крепи и состоянием породного массива при его физическом упрочнении, не превышающей 20%, результатами сравнительных испытаний объектов с разными параметрами и характеристиками; представительным объемом натурных стендовых испытаний, удовлетворительно учитывающих многофакторность воздействий и особенности эксплуатации крепи в естественных условиях; применением приборов и средств, обеспечивающих точность съема информации в процессе исследований в пределах 10-15%; положительными результатами приемочных испытаний крепи и регистрацией госстандартом разрешительной документации на ее изготовление; опытно-промышленной проверкой разработок и их внедрением.

Научная новизна работы

1. Выявлены закономерности деформационных процессов в породном массиве вокруг капитальной горной выработки с учетом управляемого

изменения отпора крепи и особенностей ввода ее в работу, что дало возможность разработать научно-технические положения обоснования комбинированных систем высокой несущей способности с использованием породного массива как их конструктивного элемента для поддержания выработок.

2. Установлены механизм и количественные показатели инерционного проскальзывания анкеров с точечным закреплением и выявлены причины выключения их из работы, в сравнении оценены преимущества железобетонных анкеров со сплошным закреплением по всей длине скважины, что принято для обоснования конструкции и параметров армопородных систем крепления выработок.

3. Установлено влияние прочности и толщины твердеющего забутовочного материала на несущую способность системы "металлическая крепь-забутовочный слой" в условиях сохранения грузонесущей системы из металлической податливой крепи и блочно разрушенного забутовочного слоя, при этом скорректирован метод определения несущей способности рамной крепи, учитывающий эффект их совместной работы. Полученные результаты приняты для обоснования параметров комбинированных металлобетонных охранных систем и технологии их возведения.

4. Аналитически установлена несущая способность спецпрофиля от угла его закручивания, параметров подкрепляющих пластин и шага подкрепления с учетом полученного значения пластического момента сопротивления спецпрофиля, который на 31% больше статического момента сопротивления и использование которого при расчетах дает увеличение несущей способности крепи. Показано, что подкрепления в виде бимоментных связей повышают сопротивление взаимозаменяемого профиля на величину до 25-27%.

5. Установлено, что с уменьшением числа элементов в многоярусной железобетонной конструкции крепи разрушающая нагрузка изменяется по линейному закону при неравномерности загрузки до 0,5 и нелинейно при неравномерности более 0,5; разрушающая нагрузка для одиночного элемента отличается почти на порядок от разрушающей нагрузки на элемент в конструкции крепи; повышение несущей способности крепи под критической нагрузкой обеспечивается включением в работу заранее предусмотренных шарниров и организованным увеличением числа элементов в крепи.

6. Обоснован критерий определения эффективной области применения фибробетона для крепления горных выработок, с использованием которого показано, что при одинаковом армировании по массе сопротивление фибробетона изгибу в 1,8 раза меньше, чем у железобетона, а армирование бетона стальной фиброй повышает несущую способность

крепи по сравнению с бетонной на 22%.

7. Разработаны методики исследования работоспособности конструкций крепи и их элементов, базирующиеся на системах созданных натурных стендов, способов и средств измерений, позволяющих при схемах нагружения, характерных для подземных условий, проследить в заданных режимах весь процесс деформирования крепи и ее элементов до полного разрушения, что предопределило высокое качество результатов и надежность информации для анализа, аналитических оценок и технических разработок.

Практическое значение работы состоит: в разработке методики определения зоны неупругих деформаций; установлении параметров технологии упрочнения породного массива скрепляющими растворами и анкерованием; в количественном определении несущей способности совместно работающих металлической крепи и забутовочного монолитного слоя; установлении оптимальных технико-технологических параметров сборной железобетонной крепи; разработке способов повышения сопротивления металлической крепи подкреплениями и бетонной крепи посредством введения усиливающих элементов и изменения качественного состава и соотношения составляющих компонентов; изготовлении опытных партий крепи, проведении их приемочных испытаний; совершенствовании индустриальной технологии и освоении серийного производства крепи; разработке методических (РД) и проектных материалов по применению крепей и проектированию горных выработок; разработке технических решений по креплению горных выработок в сложных горно-геологических условиях угольных шахт, а также при строительстве подземных объектов в городских условиях.

Реализация результатов исследований. Основные научные положения, разработанные способы повышения устойчивости горных выработок реализованы в научно-технических рекомендациях, методиках, типовых проектах, технических условиях, конструктивных и технологических решениях. Технические разработки использованы в конкретных конструкциях крепи, а апробированные параметры крепи и технологии вошли в исходные технические требования и технические задания на крепь и технологию. Нормативно-методические и проектные документы и технические задания утверждены Минуглепромом СССР, технические условия зарегистрированы Госстандартом. В производство внедрены технологические схемы упрочнения породного массива, сборная железобетонная крупноблочная крепь, металлическая крепь с закрепным тампонажным слоем заданной прочности, быстросхватывающиеся бетонные смеси для крепи шахтных стволов и облегченных видов крепи на основе анкеров (комбинаты Донецкшахтострой, Луганскшахтострой, Днепробахтострой,

Мосбассшахтострой, ПО "Луганскуголь", "Краснодонуголь", "Антрацит", подземное строительство в г.Томске). Фактический экономический эффект (доля НИИОМШС) составляет 4600 тыс.руб.(в ценах 1984-90 г.). Нормативно-методические документы применяют в проектных, научно-исследовательских и производственных организациях.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзных и республиканских совещаниях, конференциях и семинарах по вопросам развития научно-технического прогресса в шахтном строительстве, проведению и креплению горных выработок в условиях глубоких шахт, неустойчивых горных пород, применению ресурсосберегающих технологий в капитальном строительстве (Донецк, 1972, 1978, 1985, 1990, Москва, 1976, Павлоград, 1977, 1995, Междуреченск, 1977, Днепропетровск, 1977, Ворошиловград, 1977, 1986, Тирнауэ, 1990), на объединенном семинаре кафедры строительства шахт и подземных сооружений ГТАУ (Днепропетровск, 1995), на НТС проектных институтов, шахтостроительных организаций и производственных объединений Украины и России в 1976-95 годах.

Результаты работы экспонировались на ВДНХ СССР, выставке в Донецке, отмечены золотой и бронзовыми медалями ВДНХ СССР, автор диссертации за личный вклад награжден золотой и бронзовыми медалями ВДНХ СССР (1984 г., 1986 г., 1988 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 монографии, 68 печатных работ (брошюры, статьи, доклады), получено 22 авторских свидетельства на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, восьми разделов, заключения, списка литературы из 154 наименований и приложений, содержит 271 страницу машинописного текста, 43 таблицы, 125 рисунков.

Работа выполнена в научно-исследовательском институте организации и механизации шахтного строительства Минуглепрома Украины.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научным консультантам доктору технических наук, профессору, академику Академии горных наук Украины Б.М.Усаченко и доктору технических наук, академику Академии строительства Украины И.Г.Коскову за ценные советы и постоянное внимание при подготовке диссертации, а также сотрудникам лаборатории проведения и крепления горизонтальных горных выработок НИИОМШС за содействие и помощь в проведении экспериментов и реализации разработок и работникам всех организаций, принявших участие в совместном освоении и внедрении выполненных работ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Значительное повышение устойчивости капитальных горных выработок достигается разработкой модели прогнозирования развития деформационных процессов в породном массиве вокруг выработки и способов повышения несущей способности массива, базирующихся на физических закономерностях, связанных с изменением его прочностных характеристик под воздействием упрочнения посредством омоноличивания и армирования; увеличением сопротивления металлической крепи бимоментными связями; созданием высоконесущих подпорных систем, включающих металлические конструкции и монолитный забутовочный слой с заданными параметрами в технологическом исполнении, снижающем расслоение массива и вовлекающим его в работу; разработкой мног шарнирных конструкций крепи, соединяющих устойчивость с оптимальным сочетанием работы конструктивов крепи, и систем с изменяющейся под нагрузкой кинематикой и возрастающей несущей способностью; разработкой составов бетонов с регулируемыми характеристиками и усилением бетонной крепи дисперсным армированием.

Изучение процессов деформирования породного массива, взаимодействия его с крепью, разработку конструкций крепи, технологии и средств крепления ведут ИГТМ НАН Украины, Горная академия Украины, ДонУТИ, ВНИИИ, НИИОМПС, ДГТУ, ДГМИ, Днепрогипрошахт и др. Решению задачи выбора и обоснованию способов повышения устойчивости горных выработок посвящены разработки в области геомеханики и крепления горных выработок ученых Н.С.Будычева, В.В.Виноградова, В.Т.Глушко, Е.Б.Дружко, Ю.З.Заславского, А.Н.Зорина, В.Н.Каретникова, Б.А.Картозия, И.Г.Коскова, К.В.Кошелева, Г.Г.Литвинского, А.П.Максимова, Л.Я.Парчевского, Г.С.Пиньковского, Г.А.Симановича, Б.М.Усаченко, Н.Н.Фотиевой, А.Н.Шашенко и др. Их усилиями решены многие проблемы прогнозирования и оценки устойчивости, крепления и поддержания выработок, разработаны нормативно-методические документы по выбору крепи и способов охраны капитальных выработок.

Вместе с тем анализ состояния капитальных горных выработок, проводимых и эксплуатируемых в условиях слабых неустойчивых пород и на больших глубинах, показал, что проблема повышения устойчивости выработок продолжает оставаться актуальной и требует комплексного подхода, обуславливающего постановку и решение следующих задач:

1. Исследовать закономерности развития геомеханических процессов в породном массиве и на их базе разработать физико-технические основы выбора способов и технологии повышения устойчивости породного массива анкерованием и упрочнением скрепляющими растворами.

2. Разработать теоретические основы повышения устойчивости комбинированной системы "крепь - монолитный забутовочный слой" и методику оценки ее несущей способности.

3. Исследовать работоспособность и обосновать способы повышения несущей способности металлической крепи из спецпрофиля и сборной железобетонной крепи на базе улучшения совместной работы бетона с арматурой и изменения шарнирности и кинематики конструкции.

4. Создать способы повышения несущей способности монолитной бетонной крепи посредством введения усиливающих элементов и разработать составы бетонов на основе ресурсосберегающих технических решений и технологий.

5. Разработать и внедрить нормативно-методическое обеспечение для использования предложенных комбинированных способов крепления горных выработок.

Аналитическое определение размеров зоны неупругих деформаций

Прогнозирование устойчивости горной выработки должно базироваться на оценке взаимодействия крепи и приконтурных пород. С увеличением глубины заложения выработки решение задачи усложняется необходимостью учета особенностей поведения пород в предельно напряженном состоянии. В известных решениях, учитывающих эти особенности, принято, что возведенная крепь создает постоянный отпор смещающимся в выработку породам. Такое допущение в определенной мере справедливо для конструкций крепи, имеющих постоянное сопротивление при работе в податливом режиме. Для бетонных, железобетонных, многослойных конструкций, упрочненных оболочек приконтурного породного массива, оболочек, являющихся высоконесущими системами, характерно возрастание отпора пропорционально величине смещения пород.

Аналитическое исследование процесса совместного деформирования крепи и пород проведено при следующих предположениях: массив однородный и изотропный, начальное напряженное состояние до проведения выработки - гидростатическое, для пород справедливо условие прочности Кулона-Мора; выработка кругового очертания; в массиве пород под действием дополнительных напряжений, вызванных проведением выработки, в некоторой зоне возникают неупругие деформации, которые обуславливают перемещение породного контура в выработку. В связи с тем, что перемещения породного контура являются основным фактором, влияющим на устойчивость выработки, задача свелась к установлению размеров зоны неупругих деформаций (ЗНД). При этом учтены отпор крепи и смещения пород до и после ее установки.

В результате решения задачи получено уравнение для определения радиуса z_L ЗНД

$$\beta \frac{\gamma_H}{2G} \left(\frac{z_L}{z_H} \right)^A z_H (1-K) L_K + \frac{\sigma_{сжс}^{ост}}{A-1} \left(\frac{z_L}{z_H} \right)^{A-1} = P_L - \frac{\sigma_{сжс}^{ост}}{A-1}, \quad (1)$$

где $P_L = \frac{2\gamma_H - \sigma_{сжс}^0}{A+1}$; $\beta = 1 - P_L$; $K = \frac{U_z^0}{U_z^M}$; $A = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$;

$$L_K = \frac{E_K (z_H^2 - 1)}{z_H^2 \left[1 + \frac{1}{z_H^2} (1 + M_K) - M_K (1 + 2 M_K) \right]};$$

$\sigma_{сжс}^0$ - предел прочности на одноосное сжатие; $\sigma_{сжс}^{ост}$ - остаточная прочность на сжатие; z_H - наружный радиус крепи; U_z^0 - перемещение породного контура до возведения крепи; U_z^M - общие перемещения породного контура; E_K - модуль упругости крепи; G - модуль сдвига породы; ρ - угол внутреннего трения породы; γ_H - нагружение, вызванное весом вышележащих пород.

Наибольший размер зоны неупругих деформаций определяется при $K=1$, то есть для случая позднего ввода крепи в работу.

$$z_L = \left[\frac{P_L - \sigma_{сжс}^{ост} / (A-1)}{\sigma_{сжс}^{ост} / (A-1)} \right]^{\frac{1}{A-1}}. \quad (2)$$

Максимальное влияние крепи оказывается при $K=0$, в этом случае радиус ЗНД минимален и приближенно оценивается выражением

$$z_L = \left[\frac{P_L - \sigma_{сжс}^{ост} / (A-1)}{\beta \gamma_H L_K z_H / 2G} \right]^{\frac{1}{A}} z_H. \quad (3)$$

Промежуточные значения z_L определяются численно по стандартным методикам.

Из анализа зависимостей между данными, входящими в формулу (1), вытекают следующие подходы к креплению капитальных выработок и повышению их устойчивости: для снижения развития ЗНД следует сразу за

подвиганием забоя вводить в работу крепи с высоким сопротивлением и устанавливать анкерную крепь, работающую совместно с деформируемым массивом; в начальный период крепь должна иметь максимальное сопротивление при работе в режиме податливости, позволяющей реализовать часть смещений пород и тем самым снизить в дальнейшем нагрузку на крепь; при переходе на жесткий режим работы несущая способность крепи должна возрасти и препятствовать увеличению ЗНД; на стадии развития трещиноватости в массиве в период работы крепи в податливом режиме следует упрочнять нарушенные породы инъектированием скрепляющих растворов для повышения $\sigma_{сж}^{ост}$.

Типовые податливые и жесткие крепи не оказывают достаточного влияния на снижение деформационных процессов в массиве вокруг выработок, поэтому управление деформированием породного массива должно осуществляться увеличением сопротивления как самих конструкций крепи, так и созданием комбинированных систем с высокой грузонесущей способностью на базе вовлечения в работу твердеющего слоя в закрепном пространстве, улучшения прочностных показателей пород и повышения несущей способности породного массива. Отмеченные направления являются объектом исследования и поиска инженерных решений настоящей работы.

Исследование влияния анкеров на устойчивость породного массива

Рассмотрено взаимодействие с породным массивом анкера распорного типа с точечным закреплением и железобетонного, закрепленного по всей длине в скважине. Эти типы анкеров являются наиболее представительными в горнодобывающей промышленности.

В состоянии покоя и натяжения анкер с точечным закреплением обладает потенциальной энергией и удерживается за счет распорного замка при статическом коэффициенте трения (f_0). При сдвиге пород вокруг выработки перемещения контура превышают перемещения на удалении от него, натяжение анкера достигает критического значения, происходит сдвиг замка и потенциальная энергия переходит в кинетическую, а статический коэффициент трения переходит в динамический (f). Для одних и тех же условий и материалов $f < f_0$, благодаря чему при скольжении требуется меньшая сила на перемещение распорного узла, чем на удержание его в состоянии покоя. Проскальзывание происходит с инерционным эффектом, перемещение замка превышает смещение контура. Путь, пройденный анкером в этом случае,

$$L = \frac{F}{f} \sqrt{\frac{m\ell}{SE}} \quad (4)$$

где F - конечное значение натяжения анкера; ℓ - начальная длина анкера; m - масса анкера; S - площадь сечения анкера; E - модуль упругости при растяжении; f - коэффициент динамического трения.

С проскальзыванием замка натяжение анкера прекращается и он выключается из работы. Этим объясняется то обстоятельство, что на шахтах анкера распорного типа со временем оказываются свободно подвешенными и не выполняют своего назначения.

При взаимодействии железобетонного анкера с породным массивом, перемещения в котором снижаются с удалением от контура выработки, возникающие растягивающие усилия в стержне в сечении X

$$F(x) = F_0 - A\pi Dx \quad (5)$$

где F_0 - растягивающее усилие от смещения пород; A - сила сцепления; D - диаметр стержня; X - координата сечения.

Удлинение анкера

$$\delta = \frac{2A}{E_a} \left(\ell + \frac{F_p}{\pi DA} \right)^2 - \left(\frac{F_p}{\pi DA} \right)^2 \quad (6)$$

где ℓ - длина анкера; F_p - начальное натяжение анкера; E_a - модуль упругости стержня.

Из полученного результата следует, что при вытяжении железобетонного анкера сила сцепления продолжает его удерживать в скважине по всей длине, благодаря чему сохраняется его взаимодействие с массивом. Это свойство железобетонного анкера делает его наиболее предпочтительным для крепления выработок с длительным сроком службы.

Исходя из основной функции анкерной крепи - усиления породного массива, экспериментально на крупномасштабной модели получена зависимость несущей способности массива вокруг выработки с радиальным сводом от характера закрепления анкера. Сравнительными испытаниями установлено, что анкера с точечным закреплением повышают несущую способность массива на 30%, а с полным заполнением скважины закрепителем более чем на 90%, что также подтверждает эффективность та-

кого типа анкеров.

В результате проведенных исследований получены составы для закрепления анкеров на основе быстротвердеющего расширяющегося цемента (БРЦ) и напрягающего цемента (НЦ) с добавкой едкого натра (NaOH), позволившие получить лучшие прочностные показатели и сроки схватывания. Линейное расширение этих составов составило для БРЦ и НЦ соответственно 0,42% и 1,2%.

Для инъекционного упрочнения породного массива скрепляющими растворами на специально разработанном для этого стенде, имитирующем породный массив с различным раскрытием трещин, исследованы растворы на основе пластифицированного цемента, который является наиболее распространенным и наименее дефицитным вяжущим.

Изучение влияния различных добавок на проникающую способность цементного раствора в условиях невозможности предварительной промывки трещин, показало, что повышение седиментационной устойчивости и зоны распространения растворной смеси без увеличения давления нагнетания наиболее эффективно достигается применением комплексной добавки - суперпластификатора С-3 и смолы нейтрализованной воздухововлекающей (СНВ).

Упрочненная цементным камнем разрушенная горная порода имеет сопротивление сжатию до 50% и более прочностной неразрушенной породы, то есть повышается значение $\sigma_{\text{сж.}}^{\text{ост.}}$ и тем самым сдерживается развитие ЗНД вокруг выработок.

Результаты исследований по повышению устойчивости породного массива положены в основу разработки параметров технологии работ по креплению анкерами и упрочнению пород скрепляющими растворами.

Исследование способа повышения несущей способности металлической крепи из спецпрофиля

При загрузке крепи из специального взаимозаменяемого профиля, являющегося основным видом стального проката, применяемого в шахтных условиях, часто происходит отклонение его положения от расчетного. Это приводит к уменьшению несущей способности крепи и как следствие - к снижению устойчивости горных выработок.

Одной из характерных деформаций металлической арочной крепи является кручение ее элементов. Рассмотрено влияние такого поворота на несущую способность спецпрофиля. Аналитически установлена связь между моментами инерции и координатами точки сечения спецпрофиля при его повороте на угол φ . Несущая способность спецпрофиля определена из условия течения металла в наиболее удаленной точке А повернутого сечения с учетом изменения координаты этой

точки. Получено отношение несущей способности профиля с сечением, повернутым на угол φ , к его несущей способности с сечением в исходном положении ($\varphi = 0$).

$$NS(\varphi) = \frac{\left[\frac{J_{z'} + J_{y'}}{2} + \frac{J_{z'} + J_{y'}}{2} \cos(2\varphi) \right] |y_A|}{(z' \sin \varphi + y' \cos \varphi) J_z(0)}, \quad (7)$$

где $J_{z'}$, $J_{y'}$ - моменты инерции в главных осях; y_A - ордината точки в исходной системе; z' , y' - координаты точки в повернутой системе.

Расчеты показали, что в диапазоне $\varphi = 0^\circ \dots 40^\circ$ несущая способность спецпрофиля снижается на 20%...30% в зависимости от его типоразмера.

Корытообразный профиль при нагружении деформируется с образованием пластических шарниров. Наклон боковых стенок профиля обуславливает их выпучивание в направлении, поперечном изгибу. При высоком уровне нагрузки боковое пучение может привести к потере формы сечения, происходящего в виде раскрытия профиля, что снижает его несущую способность. Проведены исследования, с целью установления степени повышения сопротивления самого спецпрофиля введением подкреплений посредством периодического жесткого соединения фланцев и придания сечению спецпрофиля замкнутого очертания, что препятствует выходу элементов крепежных рам из плоскости, в которой формируются нагрузки на крепь.

Расчетная схема стенки корытообразного профиля принята в виде пластины с шарнирным закреплением по трем сторонам и соединенной со стержнем вдоль четвертой стороны. Изгиб профиля вызывает сжатие утолщения на свободном краю. Математическая модель представляет собой продольно сжатый стержень, соединенный с шарнирно опертой тонкой пластинкой.

С использованием метода конечных элементов определены целесообразная ширина и толщина подкрепления, выход за пределы которых приводит к существенному снижению эффективности подкреплений, либо к перерасходу металла без повышения эффективности.

Установлено, что в окрестностях границы подкрепления напряжения возрастают в 1,6-1,7 раза и не влияют на несущую способность, если нагружение не носит динамического характера. Наиболее существен-

венными факторами, влияющими на деформирование профиля в поперечном направлении, является шаг и ширина подкрепления.

Критическая сжимающая сила, соответствующая первой форме устойчивости, получена с использованием принципа виртуальной работы

$$P_{кр} = EJ \left(\frac{\pi}{l_1} \right)^2 + D \frac{a}{2} \left(\frac{\pi}{l_1} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{l_1}{2a} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где

$$J = \frac{1}{12} a_1 (a_{19} - 0,5 a_2);$$

$$a = \sqrt{(a_7 - a_1 - a_{11})^2 + \left(\frac{a_4}{2} - \frac{a_{18}}{2} \right)^2};$$

$$D = \frac{E}{12(1-\nu^2)} \left[\frac{a_2 (a_7 - a_1 - a_{11})}{a} \right]^3;$$

l_1 - расстояние между подкреплениями ($l_1 = 2l$);

a_i - размеры спецпрофиля.

Допустимый изгибающий момент для подкрепленного профиля

$$M_{п} = \frac{P_{кр} W_x}{a_1 (a_{19} - 0,5 a_2)}. \quad (9)$$

Допустимый изгибающий момент $M_{нп}$ для неподкрепленного профиля определяется постановкой $P_{кр}$ при $l \rightarrow \infty$.

Относительная несущая способность подкрепленного профиля

$$NS(l) = \frac{M_{п}}{M_{нп}}. \quad (10)$$

Получены значения пластических моментов сопротивления для

ЛНБ им. В. Стефаника

АН УССР

СВП-17,22,27 и 33. Определен показатель увеличения запаса прочности $W_{пл}/W = 1,3$, с точностью до первого знака одинаковый для всех профилей. Использование этого показателя позволяет избежать влияния отклонений из-за начального несовершенства (отличие формы спецпрофиля от проектной, остаточные деформации пластичности при прокате и гнутье, наличие податливости в заделке и др.).

Экспериментальные исследования элементов из спецпрофиля СВП-27 в натуральную величину проведены на специально разработанных для этого стендах. Изучено поведение элементов обычных и усиленных поперечными планками, жестко соединяющими фланцы, при загрузении их в плоскости крепи и при кручении. Усиленный профиль выдержал нагрузку, направление которой было в плоскости арки, на 21% большую, чем обычный.

На кручение испытаны стандартные стойки крепи с прямым участком и криволинейной частью. Усиленные стойки оказались более жесткими, при одних и тех же конечных нагрузках угол скручивания их был на 16% меньше, чем у обычных.

Выполненные аналитические и экспериментальные исследования показали удовлетворительную сходимость в пределах 15-20% и подтвердили эффективность мер по повышению жесткости элементов крепи из спецпрофиля.

Исследование работоспособности металлической крепи из спецпрофиля с твердеющим материалом в закрепном пространстве

Эффективным направлением обеспечения устойчивости выработок при металлической рамной крепи, снижения материалоемкости, трудоемкости крепления является вовлечение в совместную работу с крепью несущей способности породного массива посредством своевременного заполнения закрепного пространства твердеющими материалами повышенной прочности.

Аналитические исследования проведены с применением расчетных методов, в основу которых положена модель комбинированной крепи из металлической рамы с внешней оболочкой из монолитного твердеющего материала. Первоначально такая конструкция работает как жесткая. С увеличением нагрузки в монолитной оболочке появляются трещины и затем превращаются в пластические шарниры, которые развиваются вглубь тела оболочки с увеличением площадей смятия до момента хрупкого разрушения сечения. Для монолитной оболочки, работающей без металлокрепи, это состояние соответствует потере ею несущей

способности. В комбинированной крепи, частью которой является монолитная оболочка, металлокрепь в этот период остается вполне работоспособной и ее наличие позволяет разбитой трещинами оболочке сохранять очертание и продолжать работать как мног шарнирной конструкции. Благодаря разрушению материала в пластических шарнирах, протекающему в условиях, близких к компрессионному сжатию, оболочка обладает некоторой податливостью в пределах деформационных свойств подпирателей ее металлокрепей. Процесс податливости длится до момента, когда напряжения в оболочке на опорах, разбитых трещинами, превзойдут прочность материала на срез.

Статический и прочностной расчеты крепи с толщиной оболочки от 100 мм до 300 мм и прочностью материала от 5 МПа до 20 МПа показали, что использование твердеющих растворов с прочностью материала 5-7,5 МПа увеличивают несущую способность системы "крепь-оболочка" в 1,5-2 раза. Для значительного повышения несущей способности комбинированной крепи необходимо применять более прочные твердеющие материалы. Предпочтительной по условиям приготовления и использования недефицитных местных материалов является оболочка прочностью 15 МПа, позволяющая при ее толщине 200 мм довести несущую способность системы до 0,6-0,7 МПа.

Экспериментальные исследования арочной крепи из СВР-27 с $S_{св.} = 12 \text{ м}^2$ и толщиной закрепной монолитной оболочки 200 мм из бетона М150 выполнены на натурном стенде. В качестве межрамного ограждения использована стеклоткань с двойной пропиткой связующими. Проведены испытания крепи с оболочкой и отдельно самой оболочки. Также испытаны отдельно рамы металлической крепи с податливым и жестким соединением элементов. Анализ результатов испытаний показал, что предельная нагрузка для системы, в которой металлическая крепь и бетонная оболочка в закрепном пространстве работают совместно, в среднем в 1,3 раза выше суммы предельных нагрузок на металлическую и бетонную оболочку за ней, взятых отдельно. Установлено, что возрастание предельной нагрузки гораздо в большей степени зависит от прочности и толщины закрепного бетона, чем от уменьшения шага металлической крепи.

Результаты испытаний также показали, что стеклотканевое межрамное ограждение, работая на растяжение, обеспечивает удержание совместно с крепью оболочки в закрепном пространстве при возникновении в ней под нагрузкой трещин и сдвигов отдельных блоков. Кроме того, стеклоткань отфильтровывает часть воды затворения из забутовочной смеси. При этом прочность материала возрастает почти на

8-15%, что позволяет при заданной марке твердеющей забутовки снизить расход цемента, сократить время схватывания смеси и набора прочности.

Выполнение статического и прочностного расчетов комбинированной крепи даже с использованием ЭВМ в производственных условиях усложняет возможность оперативной оценки работоспособности комбинированной крепи. На основании результатов испытаний скорректированный расчет ее предельной несущей способности

$$q_{\text{пр}}^{\text{комб.}} = 1.3 \left(q_{\text{пр}}^{\text{об.}} + q_{\text{пр}}^{\text{мет.}} \right), \quad (11)$$

где $q_{\text{пр}}^{\text{об.}}$ - предельная несущая способность монолитной оболочки в закрепном пространстве; и $q_{\text{пр}}^{\text{мет.}}$ - предельная несущая способность металлической крепи, определяемые по известным формулам.

Применение в комбинированных системах крепи во все возрастающих масштабах гибких междраных ограждений (стеклотканевых, сетчатых, решетчатых, смешанных) потребовало оценки их работоспособности. В шахтных условиях при смещении породного контура, перемещении забутовочного материала, тампонаже закрепного пространства под давлением происходит прогиб и натяжение гибкого междраного ограждения. Существующие методы расчета усилий натяжения гибкой нити рассматривают ее провисание под действием постоянной равномерно распределенной нагрузки в форме параболы. В действительности заполнение максимального объема перемещаемой массой забутовки возможно при прогибе зафиксированного на крепи ограждения по дуге окружности. Для этого случая получено натяжение циркульной нити

$$T = q \frac{b^2 + f^2}{2f}, \quad (12)$$

где q - нагрузка, действующая по радиусу; b - полупролет между опорами; f - стрела провисания.

Горизонтальная составляющая силы натяжения

$$H_x = T \cos \theta. \quad (13)$$

Угол между касательной в текущей точке на нити и осью X

$$\theta = \arctg \left[\frac{b-x}{\sqrt{R^2 - (x-b)^2}} \right] \text{ при } 0 \leq x \leq b. \quad (14)$$

Экспериментальные исследования работоспособности гибкого межрамного ограждения проведены на стенде, представляющем в натуральную величину фрагмент металлической крепи с регулируемым шагом установки, затяжкой и забутовочным материалом. Испытания на прочность различных гибких и комбинированных из гибких элементов межрамных ограждений показали правомерность принятой постановки аналитической задачи и удовлетворительную сходимость расчетных и опытных результатов, не превышающую 18%.

Исследование и разработка сборной железобетонной крепи из крупноразмерных элементов

При проведении горных выработок щитовыми проходческими комплексами по слабым, легко обрушаемым породам увеличение темпов и снижение затрат на поддержание существенно зависит от конструкции крепи. Выполнены исследования, направленные на установление влияния количества элементов в кольце крепи на ее кинематику, определение прочностных параметров, оценку производительности труда при креплении.

Многошарнирная крепь после выхода из оболочки щита изменяет свое очертание. Это вызвано разницей между наружным и внутренним диаметрами оболочки и действием массы элементов, шарнирно соединенных в кольцо. Перемещения свода крепи, особенно при наличии переборов породы в боках за щитом, могут достигнуть величин, когда три шарнира двух смежных элементов выйдут на прямую линию. Система станет мгновенно изменяемой и теряет свою устойчивость даже без разрушения элементов крепи.

Исследование кинематики сборной многошарнирной крепи кругового очертания проведено на специально разработанном стенде, представляющем движущуюся модель оболочки щита в масштабе 1:5 в массиве, с целью качественной и количественной оценки деформаций многошарнирной крепи непосредственно в оболочке щита и при сходе с нее.

Установлены критерии образования мгновенно изменяемой системы при суммарных перемещениях ΔU шарниров двух элементов в закрепленном пространстве

$$\Delta U = 4R(tg\alpha - \sin\alpha), \quad (15)$$

где R - радиус кривизны элементов;

$\alpha = 180/n$, n - число элементов в кольце.

Графоаналитические исследования показали, что деформацию крепи можно снизить посредством временного изменения ее очертания перед сходом с оболочки щита таким образом, чтобы после установки в проектное положение крепь имела форму кольца. Требование сохранения проектной кольцевой формы обусловлено необходимостью обеспечить ее расчетную несущую способность, которая может существенно снижаться при появлении эксцентриситетов и увеличении их значений.

Многовариантные расчеты показали, что с увеличением количества шарниров в крепи разрушающая нагрузка на нее снижается. Но такая крепь весьма чувствительна к перемещению составляющих ее элементов.

Влияние перемещения шарниров снижается с уменьшением числа элементов в кольце крепи и увеличением их размеров. Но при этом возрастает влияние неравномерности нагружения крепи и следствием этого - уменьшение ее несущей способности.

Для придания крепи максимально возможной несущей способности при сведении к минимуму количества монтажных элементов создана конструкция крепи, состоящая из крупноразмерных элементов, каждый из которых под воздействием неравномерно распределенной нагрузки при достижении ею определенных значений разделяется на несколько блоков. В результате образуется новая крепь с увеличенным числом шарниров и блоков уменьшенного размера. Несущая способность такой системы возрастает без применения специальных усиливающих конструкций.

Исследования показали, что при постоянной толщине элементов крепи ее несущая способность также может быть увеличена за счет повышения марки бетона и большего насыщения блоков рабочей продольной арматурой до определенного предела, выше которой увеличение диаметра арматуры уменьшает рабочую высоту сечения h_0 , поэтому расход арматуры возрастает быстрее, нежели повышается несущая способность крепи.

Наблюдения за работоспособностью крепи в подземных условиях произведены на замерной станции, оснащенной реперами и силоизмерительным оборудованием (динамометрами), отличающимся большой площадью съема информации без внесения возмущений в работу крепи и в процесс сдвижения породного массива. При неравномерном формировании на крепь нагрузки ее сопоставимые величины в шахтных условиях и на натурном стенде оказывали одинаковое воздействие на крепь, что

подтвердило правомерность и вполне достаточную представительность стендовых натурных испытаний для оценки ее прочностных и деформационных характеристик.

Оперативное определение несущей способности крепи может быть произведено на основании испытания ее отдельных элементов на специально разработанном натурном стенде. Сопоставление результатов стендовых испытаний блочной крепи и ее отдельных элементов позволили получить зависимость между нагрузками, отвечающими в обоих случаях одинаковым деформациям блоков. Установлено, что при работе блока в конструкции крепи такая нагрузка, примерно, на порядок выше.

Угрупнение дуг и поперечных размеров элементов кольцевой крепи позволило снизить число сборочных единиц в кольце и уменьшить количество колец на единицу выработки. В результате сократились трудозатраты в горнопроходческом цикле на 8-10%, что в конечном итоге повредило производительность труда, темпы проведения при экономии средств и материальных ресурсов. Поскольку выработки, производимые щитовым способом, как правило, находятся на критическом пути развития горных работ, то получаемое снижение времени за счет увеличения темпов способствует снижению сроков подготовки полей, строительства шахт.

Исследование материалов для крепи направлены на улучшение прочностных и технологических показателей конструкций на основе монолитного бетона. Установлено, что прочности обычного бетона и бетонов с одинаковым армированием по массе стальной фиброй и стержневой арматурой относятся как 1:1,4:2,5 что является одним из критериев выбора материала крепи в конкретных случаях.

При проведении тоннелей с обделкой из пресбетона на участках со значительным превышением вертикальной нагрузки над боковой, вызывающим рост изгибающих моментов, эффективным средством повышения сопротивления растягивающим усилиям в бетонной обделке является ее армирование отрезками стальной проволоки. Применение в этих случаях стержневой арматуры исключается по техническим и технологическим причинам.

Проверка работоспособности монолитной фибробетонной обделки кругового очертания в масштабе 1:2 проведена на специальном стенде. Экспериментальные данные и данные расчетов с применением метода начальных параметров показали, что несущая способность крепи из дисперсно-армированного бетона на 22% выше, чем из обычного бетона, применяемого для укладки с прессованием.

Определены длина и диаметр металлической фибры, состав смеси и технологических параметров, обеспечивающих приготовление дисперсно-армированной бетонной смеси в бетоноукладчиках горизонтального типа с активатором в подземных условиях, подачу смеси по трубопроводу от места приготовления до места укладки за опалубку.

Прокачивание смеси по трубам с технологическими изгибами без закупоривания возможно при отношении диаметра трубопровода к длине фибры $K \geq 2$. Полное уплотнение смеси происходит при давлении $P \geq 0,8$ МПа на ширину заходки по креплению $l \leq 0,5$ м.

С использованием аппарата математического планирования и экспериментальных методов получены составы быстротвердеющих бетонов с добавками, регулирующими процессы структурообразования - хлористым и азотнокислым кальцием. Прочность бетона в возрасте 28 суток с увеличением расхода цемента и содержания химдобавок возрастает нелинейно. Время набора распалубочной прочности (0,8 МПа) бетоном в вертикальных стволах в зависимости от расхода цемента и содержания химдобавок при заданной подвижности бетонной смеси практически изменяется по линейному закону.

Исследования бетонов с добавкой суперпластификатора С-3 показали, что его введение в долях процента от массы цемента положительно влияет на процессы гидратации как в естественновлажностной среде, так и при тепло-влажностной обработке, улучшают прочностные показатели цементного камня. Бетоны повышают свою водонепроницаемость более, чем в три раза, что имеет существенное значение при креплении выработок в обводненных условиях. Добавка С-3 позволяет при росте подвижности бетонной смеси повысить прочность бетона на 5-15% без увеличения расхода цемента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена крупная научная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение и заключающаяся в создании физико-технических основ комбинированных способов повышения устойчивости капитальных горных выработок на базе осуществления систем воздействий, учитывающих геомеханическое состояние массива и деформационно-силовые особенности крепи.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации сводятся к следующему.

1. Установлены закономерности и особенности развития зоны не-

упругих деформаций в породном массиве вокруг горной выработки при возрастании отпора крепи пропорционально смещениям породного контура с учетом реализации их части до возведения крепи, позволившие определить направления повышения устойчивости капитальных выработок на базе создания и применения высоконесущих крепей, комбинированных систем и упрочнения пород.

2. Установлен характер влияния раскрытия трещин, давления нагнетания и подвижности скрепляющих растворов на основе цемента на их распространение. Проникание растворов возрастает при гидравлической обработке трещиноватого массива, введении химических добавок С-3 и СНВ и при механической активизации. Упрочнение нарушенного породного массива цементным раствором позволяет достигнуть 40-50% первоначальной прочности и снизить смещения породного контура на величину до 40%. Определены параметры работ по упрочнению пород инъекционным методом, реализованные в технологических схемах.

3. Установлен механизм взаимодействия анкеров с породным массивом вокруг выработки; при одинаковой плотности установки анкеров несущая способность массива повышается на 30% при точечном и на 90% при сплошном закреплении анкеров в скважине. Инерционное перемещение анкеров с точечным закреплением происходит на величину, превышающую величину смещения породного контура, при достижении натяжения анкера критического значения, переходе потенциальной энергии натяжения в кинетическую движения и коэффициента статического трения в меньший по величине коэффициент динамического трения; при смещении массива железобетонные анкера сохраняют натяжение за счет сил сцепления со стенками скважины.

4. Для комбинированной крепи из металлических рам и монолитного забутовочного слоя установлена зависимость несущей способности от прочности и толщины забутовки. Монолитная оболочка при деформировании и разделении на блоки в результате податливости металлической крепи не теряет своей несущей способности и продолжает работать совместно с крепью в условиях возрастающих нагрузок.

Несущая способность комбинированной конструкции в 1,3 раза выше суммы несущей способности отдельно взятых составляющих элементов, на основании чего скорректирована инженерная методика расчета комбинированной крепи.

5. Исследован эффект повышения сопротивления спецпрофиля, основанный на подкреплении бимоментными связями. Установлено, что основ-

ное влияние оказывает шаг установки подкрепления и в меньшей степени размеры подкрепляющих пластин. Критическая сжимающая сила для спецпрофиля с подкреплениями зависит от упругих свойств его материала, характерных размеров сечения и подкреплений. Несущая способность спецпрофиля определяется с учетом пластического момента сопротивления, который в 1,31 раза более статического момента стандартных спецпрофилей. Исследована несущая способность спецпрофиля как функция угла φ поворота его сечения. В интервале $\varphi = 0^\circ - 45^\circ$ - это монотонно убывающая функция, несущая способность спецпрофиля в зависимости от типоразмера снижается на 20-30%.

6. Установлены особенности работы межрамных ограждений, которые показали технические и технологические преимущества гибких затяжек по сравнению с железобетонными. Разработан метод определения усилий в гибких затяжках с учетом характера их загрузки. Применение межрамного ограждения на основе стеклоткани с тампонажем закрепного пространства жесткими смесями позволяет исключить работы по гидроизоляции поверхности крепи, а также повысить на 10-15% прочность тампонажного слоя благодаря отжиму воды из растворной смеси.

7. Исследована кинематика мног шарнирной крепи и установлены условия возникновения мгновенно изменяемой системы, что позволяет назначать предельные переборы породы, превышение которых может приводить к обрушению крепи под ее собственной массой. Получена зависимость между разрушающими нагрузками для одиночного элемента и несущей способностью мног шарнирной крепи в целом, в результате чего испытаниями отдельного элемента можно реально оценивать работоспособность крепи; установлена зависимость между силовой характеристикой мног шарнирной крепи и количеством элементов в ней, что позволило разработать принцип изменения количества шарниров в крепи для повышения ее несущей способности в процессе загрузки и конструкцию блока с шарнирно-податливым узлом.

8. Установлено, что прочность на изгиб железобетона со стержневой арматурой в два раза больше прочности железобетона с металлической фиброй при одинаковом по массе армирующем материале, что явилось основой для определения области эффективного применения сталефибробетона. Получены параметры комплексной технологии приготовления дисперсно-армированной бетонной смеси и подачи ее за опалубку по трубопроводу с технологическими изломами, определено опти-

мальное удельное усилие прессования. Для крепления шахтных стволов разработаны экспериментальными методами составы быстротвердеющих бетонов повышенной прочности с регулируемым временем достижения заданных характеристик.

9. Разработано универсальное стендовое и измерительное оборудование, позволяющее исследовать с высокой степенью достоверности работоспособность широкого круга конструкций крепи и их элементов в натурную величину и в масштабе в условиях, приближенных к реальным; разработаны средства измерения нагрузок на крепь, не вносящие возмущения в ее работу, и проведены наблюдения за проявлениями горного давления, в частности, позволившие определить в шахтных условиях характер формирования и распределения нагрузок на крепь по ее периметру.

Результаты работы внедрены в технические задания, нормативно-техническую документацию, методические руководства, проекты горных выработок, конструкции крепи, технологию их изготовления и возведения.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Докукин О.С., Косков И.Г., Друцко В.П., Бернштейн С.А. Бетоны и растворы для подземного шахтного строительства. М.: Недра, 1989.- 211 с.

2. Картозия Б.А., Пшеничный В.А., Косков И.Г., Корчак А.В., Друцко В.П., Инфантьев А.Н. Строительство горных выработок в сложных горнотехнических условиях. М.: Недра, 1992.- 320 с.

3. Инфантьев А.Н., Григорянц Э.А., Друцко В.П., Каргинов К.Г. Крепление горных выработок на рудниках Норильского горно-металлургического комбината. М.: Цветметинформация, 1976.- 36 с.

4. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи // В составе коллектива авторов ВНИМИ, ВНИИОМШС, Центрогипрошахта, ВНИИГалургии, ТулПИ, МакиСИ, КИМИ, ЛПИ. М.: Стройиздат, 1983.- 272 с.

5. Временные отраслевые указания по обследованию состояния крепи и армировки вертикальных стволов шахт // В.Я.Зинченко, В.П. Друцко, В.А. Прагер, В.Г. Коган, А.М.Козел, М.Б.Хусид, А.И.Савельев. Харьков: ВНИИОМШС, ВНИМИ, 1984.- 25 с.

6. Восстановление крепи действующих стволов шахт без прекращения их эксплуатации // Друцко В.П., Зинченко В.Я., Коган В.Г.,

Прагер В.А. М.: ЦНИЭИуголь, ЦБТИ Угледрома УССР, 1986.- 51 с.

7. Временные технические указания по проведению горных выработок штитовыми комплексами. РД // Друцко В.П., Рослов В.П., Степин А.В., Ахматов М.М., Курносое В.И. Харьков: ВНИИОМШС, 1986.- 26 с.

8. Инструкция по приготовлению и применению бетонов и растворов для горных работ угольных шахт. РД // В составе кол.авторов ВНИИОМШС, УКС Минугледрома СССР, РО Укршахтострой, МАКИСИ, НИИЖБ, треста Шахтспецстрой, треста Спецшахтобурение. Харьков: ВНИИОМШС, 1987.- 104 с.

9. Временное руководство по применению затяжек облегченных решетчатых ОРЗ для крепления горных выработок. РД // Журов Э.М., Друцко В.П., Шишов Л.Е. Харьков: ВНИИОМШС, 1988.- 17 с.

10. Унификация сечений горных выработок с облегченной крепью на основе набрызгбетона и анкерной крепи с патронированными смесями. РД // Пилыч Ю.Б., Сержников О.С., Комаров А.С., Сипотенко Л.М., Косков И.Г., Друцко В.П., Казакевич Э.В., Верхотуров В.С. М.: Центрогипрошахт. 1987.- 134 с.

11. Унифицированные сечения горных выработок с крепью из крупноблочных тубингов для штитовой проходки в сложных горно- геологических условиях с технологическими схемами и механизацией // Сержников О.С., Комаров А.С., Панченко В.А., Мещеряков О.Б., Сипотенко Л.М., Лебедева Л.Г., Грачева Т.В., Косков И.Г., Друцко В.П., Журов Э.М., Шаповал Ю.С., Шевцов А.Ю., Степин А.В. М.-Харьков: Центрогипрошахт, ВНИИОМШС, 1989.- 96 с.

12. Инструкция по расчету облегченных видов крепей с анкерами на основе патронированных быстротвердеющих вяжущих. РД // Косков И.Г., Шаповал Ю.С., Друцко В.П., Алферов Б.В., Ягодкин Ф.И., Кременецкий Г.И., Гнездилов В.Г., Чернокозинский М.Д., Нестерова Н.В., Зенцова Л.В., Ардашев К.А., Басинский Ю.М., Усаченко Б.М., Виноградов В.В., Мещеряков А.В., Булич Ю.Б., Усаченко Б.С., Мусиенко С.В. Харьков: ВНИИОМШС, ВНИИ, ИГТМ АН УССР. 1991.- 58 с.

Приложение 4.- 52 с.

13. Друцко В.П., Черетяноко В.И. Механизация возведения металлической арочной крепи и забутовки закрепного пространства // Сб. Машины и оборудование для подземных горных работ. И.: НИИИнформ-тяжмаш, 1974. № 2-74-11.- с.14-15.

14. Друцко В.П., Шевцов А.Ю., Евтушенко В.В. Возможности обеспечения устойчивости горных выработок за счет повышения несущей способности массива // Тез. докладов всесоюзного семинара "Проведение и крепление горных выработок в условиях неустойчивых горных

пород. М.: ЦНИИУголь, 1976.- с.21-23.

15. Друцко В.П., Шевцов А.Ю., Супрун А.Д., Евтушенко В.В. Повышение устойчивости выработок упрочнением породного массива // Применение быстротвердеющих и связующих компонентов для предотвращения внезапных выбросов и упрочнения боковых пород и угля. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции: Днепропетровск, 1977.- с.37-38.

16. Друцко В.П., Тетеркин С.Б., Особенности работы многослойной крепи при щитовом проведении горных выработок //Строительство предприятий угольной промышленности. М.: ЦНИИУголь, 1978, № 2.- с.9-10.

17. Друцко В.П., Супрун А.Д., Шевцов А.Ю. Исследование формирования зоны трещиноватости вокруг выработки с учетом длительной прочности пород //Межвузовский сборник. Устойчивость и крепление горных выработок. Л., 1978.- с.91-93.

18. Друцко В.П., Бернштейн С.А., Иванов Ф.М., Бурего Н.С. Бетоны с добавкой - суперпластификатором для крепления горных выработок. М.: Недра, Ш.с. 1980, № 4.- 30-32.

19. Шаповал Ю.С., Друцко В.П., Алферов Б.В., Шишов Л.Е., Тираян Р.С., Гнездилов В.Г. Исследование работоспособности крепей на натурном стенде ВНИИОМШС"а// Совершенствование организации, технологии и механизации строительства угольных предприятий. Харьков: ВНИИОМШС, 1980.- с.58-65.

20. Друцко В.П. Перспективы крепления капитальных горных выработок на глубоких горизонтах угольных шахт //Сб. Совершенствование организации и технологии проведения горизонтальных и наклонных горных выработок. М.: ЦНИИУголь, 1983.- с.21-23.

21. Косков И.Г., Друцко В.П., Бернштейн С.А. Применение фосфогипса для заполнения пустот закрепного пространства //Строительство предприятий угольной промышленности. М.: ЦНИИУголь, 1983, № 6.- с.6-7.

22. Бурего Н.С., Друцко В.П., Бернштейн С.А. Повышение темпов проходки стволов и производительности труда за счет применения быстротвердеющих бетонов //Пути ускорения сооружения вертикальных стволов и скважин большого диаметра. Тезисы докладов на Всесоюзном научно-техническом совещании. Донецк, 1984.- с.36-37.

23. Друцко В.П., Шевцов А.Ю., Бернштейн С.А., Илина Е.И. Растворы для упрочнения пород со сниженным расходом цемента //Ш.С. 1985, № 2.- с.15.

24. Савченко В.Е., Ахматов М.М., Друзко В.П. Основные направления повышения эффективности горнопроходческих работ на шахтах Мосбасса //Ш.С. 1985, № 5.- с.11-13.

25. Друзко В.П., Журов Э.М., Ахматов М.М., Смольский В.К. Новая конструкция крепи для щитового комплекса КШ-8,2Б.// Ш.С. 1985, № 5.- с.26.

26. Друзко В.П., Бернштейн С.А., Ишина Е.И., Бурма И.И. О применении быстротвердеющих бетонов при сооружении шахтных стволов //Ш.С. 1985, № 8.- с.18.

27. Бернштейн С.А., Друзко В.П., Крупченко Т.А., Ишина Е.И., Виноградов Э.И., Крапинец В.И. Применение суперпластификатора для изготовления железобетонных элементов //Ш.С. 1985, № 10.- с.25.

28. Друзко В.П., Алферов Б.В., Шаповал Ю.С., Гнездилов В.Г. Эффективная облегченная крепь с упрочнением пород для окоlostвольных дворов глубоких шахт //Ш.С. 1986, № 11.- с.26.

29. Друзко В.П., Фомин А.И., Мирошко С.Б., Бережной А.Л. Лабораторные исследования и стендовые испытания анкерной крепи //Сб. Технология, техника и организация проведения капитальных горных выработок. Харьков: ВНИИОМШС, 1989.- с.90-100.

30. Друзко В.П., Алферов Б.В., Шаповал Ю.С., Гнездилов В.Г., Мирошко С.Б. Комбинированная крепь для сложных горно-геологических условий //Ш.С. 1990, № 6.- с.24-25.

31. Друзко В.П., Алферов Б.В. Ресурсосберегающая технология крепления горных выработок //Тезисы докладов на Всесоюзной встрече специалистов. Донецк: ЦБТИ Минуглепрома СССР, 1990, с.11-14.

32. Друзко В.П., Савченко В.Е., Шаповал Ю.С., Черняк Г.Е. Исследование работоспособности крупноблочной крепи //Сб.Технология, механизация и экономика шахтного строительства. Харьков. 1990.- с.105-112.

33. Темирченко А.Х., Друзко В.П., Алферов Б.В. Комбинированная крепь капитальных выработок глубокой шахты //Уголь Украины, 1993, № 10.- с.16-19.

34. Друзко В.П. Перспективы строительства горных выработок в сложных горнотехнических условиях //Научно-технический прогресс в горном деле. Материалы научно-практической конференции. Кривой Рог: НИГРИ, 1993.- с.31-34.

35. А.с. 381779. Устройство для установки элементов шахтной крепи/ Друзко В.П., Черетянко В.И., Карпенко Б.Ф., Соломенцев М.Н. //Б.И.- 1973.- № 22.- с.90.

36. А.с. 457780. Устройство для транспортирования и активации строительных смесей /Ю.М.Страхов, В.И.Черетянко, В.П.Друцко, Б.Г.Рясный //Б.И. 1975.- № 3.- с.72.

37. А.с. 742588. Патронированный анкер / И.Ф.Пономарев, И.А.Крижановская, Н.Н.Соколова, Г.В.Должкова, С.А.Бернштейн, Я.Я.Хмельницкий, В.П.Друцко, Б.В.Алферов, И.Г.Косков, Н.С.Буре-го, В.А.Майоров //Б.И. 1980.- № 23.- с.174.

38. А.с. 796442. Устройство для возведения рамной крепи в горизонтальных выработках / Е.В.Стрельцов, В.П.Друцко, И.И.Кайдановский, А.С.Никитенко, И.П.Цимошук//Б.И. 1981.- № 2.- с.146.

39. А.с. 948683. Смеситель /И.И.Кайдановский, И.П.Цимошук, В.П.Друцко, С.А.Бернштейн, М.Г.Штеренберг, С.И.Непомнящий // Б.И. 1982.- № 29.- с.124.

40. А.с. 981617. Способ сооружения двухслойной крепи для горной выработки /Ю.М.Басинский, М.П.Морозов, И.Г.Косков, В.П.Друцко // Б.И. 1982.- № 46.- с.164.

41. А.с. 1249167. Устройство для установки анкерной крепи /Ф.И.Ягодкин, А.Д.Мяшкин, В.П.Друцко, Г.И.Кременецкий, Г.О.Вестфаль, А.И.Бабанин, А.А.Поляк //Б.И. 1986.- № 29.- с.126.

42. А.с. 1252503. Железобетонный анкер /Ф.И.Ягодкин, И.Г.Косков, В.П.Друцко, Г.О.Вестфаль //Б.И. 1986.- № 31.-с.138.

43. 1723320. Способ определения рационального сечения выработки на модели / А.Н.Воробьев, И.Г.Косков, В.Л.Попов, В.П.Друцко, М.Д.Чорнокозинский// Б.И. 1992.- № 12.- с.157.

44. А.с. 1786272. Способ крепления горной выработки /А.Н.Воробьев, И.Г.Косков, В.П.Друцко, М.Д.Чорнокозинский, В.П.Голощапов //Б.И. 1993.- № 1.- с.101.

В опубликованных работах личный вклад соискателя заключается в следующем:

(3,6,34)- анализ состояния капитальных горных выработок; (4,14,15, 20,24,28,31)- постановка задачи, идея, результаты исследований; (5,9,10,11,16,17,23,25,32) - решение задачи, анализ результатов; (1,2,7,8,12,13,18,19,21,22,26,27,30,31,33) - разработка новых подходов к повышению устойчивости горных выработок и основных позиций инженерных методов увеличения несущей способности крепи, методическая постановка и решение задачи; (35-44) - в авторских свидетельствах вклады соавторов равнозначны.

Resume

V.P.Druzko. Physical and Technical Basics of Combined Methods of Timbering of underground workings in difficult mountainous and geological conditions.

Theses for the degree Doctor of Science on Speciality 05.15.04 "Mining and underground construction" and 05.15.11 "Physical processes in mining". The State Mining University of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996.

The work presents the results of investigations of regularities of development of deformational processes in rock around underground workings in the time of interaction with timber. The work also contains the description of some possible ways of increasing the capacity of work of the frame of timber, combined bearing systems and stability of rock. Those items are reflected in 2 monographs, 68 printed articles, 22 inventions.

Experimental checking and practical employment of results, of work during the projection and building the underground workings on the coal mines and in cities were executed.

Анотація

В.П.Друцко. Фізико - технічні основи комбінованих способів кріплення капітальних гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора 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 дослідження закономірностей та особливостей розвитку деформаційних процесів у породному масиві навкруги виробок при взаємодії з кріпленням, підвищення роботоздатності конструкцій кріплення, комбінованих несучих систем та стійкості порід, відображених у двох монографіях, 68 статтях, 22 винаходах.

Розроблені та впроваджені кріплення, технологія, нормативні, методичні та проектні матеріали, проведені випробування, освоєно виробництво.

Ключові слова: гірничі виробки, зона непружних деформацій, комбінований спосіб, кріплення.

М.Друцко

Автореферат

Подписано к печати 29 апреля 1996г.
Формат 60х90 1/16. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 2,1. Заказ № 2. Тираж
100 экз.

НИИОМШС, 310180, ул.Отакара Яроша,18

AB 34.904