

6585A  
622, Зап. Док

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ У С С Р**

---

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ имени АРТЕМА**

На правах рукописи

Горный инженер-шахтостроитель  
**ЕВТУШЕНКО В.В.**

**Исследование и разработка эффективных способов  
тампонажа закрепного пространства при сооруже-  
нии капитальных горных выработок на шахтах  
Западного Донбасса**

**№ 05.313 Шахтное строительство**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Днепропетровск  
1 9 7 0

23

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ У С С Р

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ имени АРТЕМА

На правах рукописи

Горный инженер-шахтостроитель  
ЕВТУШЕНКО В.В.

Исследование и разработка эффективных способов  
тампонажа закрепного пространства при сооруже-  
нии капитальных горных выработок на шахтах  
Западного Донбасса

№ 05.313 Шахтное строительство

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1970

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового  
Красного Знамени горном институте имени Артёма.

Научный руководитель -  
профессор, доктор технических наук А.П.МАКСИМОВ

Официальные оппоненты:  
профессор, доктор технических наук И.Д.НАСОНОВ,  
кандидат технических наук Е.В.ЖИХОВИЧ

Ведущее предприятие - комбинат  
"Днепрошахтострой"

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 1971 г.

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_ 1971 г.  
на заседании Совета горного и шахтостроительного факультетов  
Днепропетровского горного института.

Отзвны просим посылать в Днепропетровский горный инсти-  
тут по адресу: г.Днепропетровск, 14, пр.К.Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета ДИИ,  
профессор, доктор технических наук

(В.А.БУНЬКО)

УДК 622.257.1

## В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIII съезда КПСС предусмотрено, что добыча угля, являющегося топливной и сырьевой базой для развития многих отраслей народного хозяйства, должна постоянно увеличиваться. Для решения этой важной задачи в ближайшие годы намечено значительное расширение производственных мощностей угледобывающей промышленности Западного Донбасса.

Строительство угольных шахт и, в частности, сооружение выработок околоствольных дворов шахт Западного Донбасса сопряжено с повышенными трудностями, обусловленными спецификой горногеологических и гидрогеологических условий района.

Проектные и строительные организации не располагали в достаточной мере научно обоснованными и практически подтвержденными методами решения возникающих при строительстве и эксплуатации шахт Западного Донбасса технических задач, в числе которых важными являются вопросы устойчивости капитальных горных выработок и их водоизоляции.

Сложность решения данных задач обуславливается повсеместным распространением в пределах района слабых, легкообрушающихся пород карбона с подземными водами, агрессивными к обычным портландцемятам.

Поэтому вопросы водоизоляции и обеспечения устойчивости выработок, закрепленных бетоном, на шахтах Западного Донбасса имеют актуальное значение для развивающегося угольного района страны.

В диссертации поставлены две основные задачи:

- а) изыскание эффективных методов и средств обеспечения устойчивости горных выработок, закрепленных монолитным бетоном;
- б) изыскание эффективных средств водоизоляции капитальных выработок.

В соответствии с поставленными задачами в состав работы входит изучение горногеологических и гидрогеологических особенностей вмещающих коренных пород Западного Донбасса, изучение и исследование устойчивости выработок околоствольных дворов, изыскание средств и методов обеспечения устойчивости монолитной бетонной крепи и достижения водоизоляции горизонтальных и наклонных горных выработок, изыскание и исследование тампонажных растворов для повышения устойчивости и водоизоляции горных выработок, закрепленных бетоном.

Поставленные в работе задачи решались комплексным методом исследований, включающим анализ фактического материала, полученного автором в результате многолетней работы в бассейне, обобщение литературных данных, аналитические исследования, лабораторные и производственные эксперименты.

Реферлируемая работа состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 171 страницу машинописного текста и 52 иллюстрации. Использован библиографический материал в объеме 127 наименований.

#### Г Л А В А I. ГОРНОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЗАПАДНОГО ДОНБАССА.

Горные выработки околоствольных дворов шахт Западного Донбасса закладываются в коренных породах карбонных отложений.

Горногеологические и гидрогеологические особенности вмещающих пород карбона сводятся к следующему.

I. Отложения карбона в основном представлены слабыми, легкообрушающимися породами - аргиллитами, алевролитами и слабыми песчаниками. Характерной особенностью аргиллитов и алевролитов является их способность к быстрому расселению и самообрушению, особенно в увлажненных и мокрых местах. Песчаники - на глинистом цементе, крайне неустойчивы, склонны к самообрушению и быстро размокают в воде, распадаясь на составляющие - песок и глину.

Наличие слабых легкообрушающихся пород явилось причиной вывалов их из кровли и боков проходных выработок. По этой причине

технология возведения постоянной бетонной крепи капитальных горных выработок предусматривает оставление в теле бетона временной металлической крепи с затяжкой кровли и боков.

2. В пределах угольных месторождений Западного Донбасса вскрыто два водоносных комплекса, приуроченных к рыхлым отложениям и породам карбона.

Обводненность выработок околоствольных дворов связана с водоносными горизонтами карбона песчаников, известняков и пластов угля, составляющих до 10% от вскрытой мощности карбона.

Воды напорные - от 30 до 170 метров водяного столба.

Некоторое влияние на обводненность горных выработок оказывают тектонические нарушения, вскрытие которых в отдельных случаях приводит к резкому увеличению водопритока в выработки (шахты Западно-Донбасские № 1, 20/23, 27/35-5 и другие).

Водопритоки в выработки околоствольных дворов из вскрытых ими водоносных пород колеблются от нескольких м<sup>3</sup>/час до 100 и более м<sup>3</sup>/час.

Наряду с отрицательным влиянием подземных вод на механические характеристики вмещающих пород фильтрация их через бетон приводит к выщелачиванию и разрушению цементного камня.

3. Подземные воды Западного Донбасса относятся к сильноминерализованным и агрессивным ко всем бетонам и растворам на обычных портланд-цементях. Агрессивность вод - сульфатная.

Наличие сильноминерализованных агрессивных вод ставит перед строителями и проектировщиками дополнительные вопросы, связанные с выбором вида вяжущего и добавок активаторов.

#### Г Л А В А II. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ДВОРОВ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА.

Сложные горногеологические условия сооружения и эксплуатации околоствольных дворов предопределили выбор технологии и организации проведения их.

Постоянная бетонная крепь околовольных дворов - монолитная бетонная с прямыми стенками и коробовым сводом. Бетон марки - 150.

Проведение выработок производится по последовательной схеме заходками длиной до 10 м. Выемка породы, как правило, при помощи буровзрывных работ, с января 1969 года на шахте Западно-Донбасской № 29 сооружение околовольных дворов осуществлялось при помощи проходческих комбайнов ПК-Эм. Временная крепь - металлические арки податливой или жесткой конструкции со сплошным затягиванием боков и свода выработки. Укладка бетона за опалубку производится с применением бетоноукладчиков различных конструкций или вручную.

Неоднократные попытки удаления временной крепи или хотя бы затяжки приводили к обрушению пород из боков и кровли. Так, при проведении околовольных дворов шахты Западно-Донбасская № 4 по этой причине было зафиксировано II вывалов с суммарным объемом около 1250 м<sup>3</sup> породы в плотном теле. Общая длина вывалов превысила 200 п.м. Поэтому было принято решение при возведении постоянной бетонной крепи в выработках околовольных дворов оставлять металлическую временную крепь с затяжкой в бетоне.

Уложенный за опалубку бетон, являясь литым из-за большого водоцементного отношения, и, поэтому, обладая повышенной (до 7% от первоначального объема) усадкой, при твердении образует пустоты в замке свода. Кроме того, из-за наличия за опалубкой арок временной крепи, укладка бетона с образованием плотного контакта его с затяжкой практически не возможна, что увеличивает размеры усадочных пустот.

Воспринимая горное давление в пределах пустот металлические арки передают его бетону в точках замоноличивания их, что приводит к концентрации нагрузок в некоторых сечениях свода и нарушению целостности бетона.

При визуальном обследовании состояния бетонной крепи выработок околовольных дворов шахт Западного Донбасса было установлено:

1. Деформации крепи наблюдаются от волосовых трещин до отслоений, вывалов и обрушений бетона. Трещины распространяются как по периметру (в местах оставления арок временной крепи), так и по длине выработок. Ориентация трещин в последнем случае самая различная. Зафиксированы как открытые (внутри выработки), так и закрытые трещины. Деформации бетона более интенсивны на участках выработок с податливой временной крепью, хотя опасные нарушения крепи отмечены и в выработках с жесткой временной крепью.

2. Бетонная крепь на момент обследования повреждена на участках с суммарной длиной более 50%, из них в аварийном состоянии находилось до 20% всей длины выработок, закрепленных бетоном.

3. Повреждения и разрушения бетонной крепи отмечены в выработках вне зависимости от способа выемки породы и укладки бетона.

4. Площадь поперечного сечения и прочность бетона (в пределах 100-200 кг/см<sup>2</sup>) не оказывает существенного влияния на интенсивность и величину деформации крепи. Прочность бетона определялась непосредственно в конструкции эталонным молотком и по методу Вольфа.

Для изучения интенсивности и величины деформаций бетона были оборудованы простейшие замерные станции и на трещинах поставлены "маяки" из цементно-песчаного раствора. Замерные станции были установлены в различных конструктивных элементах околовольных дворов (сопряжения, прямолинейные и криволинейные выработки, ходки, камеры и т.д.).

На основании проведенных измерений деформаций крепи и наблюдений за "маяками" были сделаны следующие выводы:

1. Максимальное суммарное (подное) сближение реперов замерных станций достигало 20 и более мм за весь период наблюдений. Наблюдения проводились в течение десяти-двенадцати месяцев. Замеры снимались ежемесячно.

2. Наиболее интенсивное трещинообразование бетонной крепи происходит в первые два-шесть месяцев после укладки бетона за опалубку. Сближение реперов замерных станций за этот период составило 80% от суммарного сближения.

3. Деформации бетона не затухают во времени и в подавляющем большинстве случаев завершаются разрушением его. Ремонт разрушенного бетона методами замены его более прочным желаемых результатов не дал, по прошествии шести-десяти месяцев выработки нуждались в повторном перекреплении.

Сложные горногеологические условия района и принятая технология возведения бетонной крепи потребовали проведения исследований закрепного пространства с целью выяснения характера и размеров распространения пустот за бетоном и влияния их на устойчивость крепи.

Исследование пустотности проводилось контрольным бурением. Всего было пробурено 1140 разведочных шпуров, из них: в стенах 410, в пятах свода 420 и в замке свода - 310. В 251 шпуре, т.е. в 22% от всего количества пробуренных, была зафиксирована пустота за бетоном.

Пустоты за бетоном отмечены во всех конструктивных элементах крепи с различной повторяемостью: в стенах 2,45% от всех шпуров, буримых в данном конструктивном элементе, в пятах 5% и замке свода 71%. Ширина пустот колеблется от 0,5 до 3,0 и более метров, высота - от 0,05 до 0,6 метров. Пустоты ограничиваются бетоном и затяжкой временной крепи. В 82% замеров зафиксировавших пустоту отмечен зазор между нижней гранью арки и бетоном крепи. В выработках существующих шесть и более месяцев затяжка разрушена, пустоты заполнены разрыхленной породой.

В 95% от всех замеров толщина бетона равна проектной, а в стенах выработок несколько превышает ее. Наибольшее количество замеров с толщиной крепи меньше проектной зафиксировано в замке свода. Максимальное отклонение от проектной толщины достигает 10 см.

На основании проведенных исследований были разработаны типичные схемы загрузки бетонной крепи в этих условиях с учетом конструкции временной крепи. Влияние пустот в трехцентровом своде на его устойчивость было исследовано методами строительной механики и сопротивления материалов. В общем виде были определены предельные значения ширины пустот, при которых происходит деформация и разрушение бетона крепи с образованием как открытых, так

и закрытых трещин. Предельной величиной является ширина пустоты равная и более 0,15 ширины выработки в свету. Данные расчетов были убедительно подтверждены наблюдениями за состоянием бетонной крепи в выработках околоствольных дворов шахт Западного Донбасса.

Для исключения концентрации напряжений в бетоне и отрицательного воздействия арок временной крепи на бетонную крепь, для обеспечения равномерно распределенной передачи горного давления на бетон постоянной крепи, необходимо в первую очередь создание прочного и плотного заполнения пустот между бетоном постоянной крепи и затяжками временной крепи, что возможно по техническим причинам только методами последующего тампонажа с использованием дешевых тампонажных растворов высокой прочности. Тампонаж закрепного пространства обеспечит заполнение пустот за бетоном крепи тампонажным камнем высокой прочности (марки 100-200 кг/см<sup>2</sup>) и полное замоноличивание арок временной крепи по всей их высоте в теле бетона. К тому же оболочка цементированных пород закрепного пространства образует сравнительно однородный с телом бетона монолит, в котором металлические арки временной крепи будут выполнять функции жесткой арматуры, тем самым значительно повышая несущую способность и устойчивость постоянной крепи капитальных горных выработок, закрепленных монолитным бетоном.

Как следует из анализа, необходимая зона распространения тампонажного раствора в закрепном пространстве должна приниматься такой, чтобы обеспечить полное замоноличивание арок временной крепи тампонажным камнем. Для создания надежности, принимая во внимание несколько пониженную прочность верхних слоев тампонажного камня, верхний уровень распространения раствора должен быть на 5-10 см выше затяжки временной крепи в своде выработки.

Тампонаж закрепного пространства для повышения устойчивости бетонной крепи должен проводиться в первые два-три месяца после возведения постоянной крепи вне зависимости от состояния бетона на момент проведения тампонажа. Кондукторы для закладки раствора должны размещаться в верхней точке (замке) свода выработки.

### Г Л А В А Ш. ВЫБОР МЕТОДА ВОДОИЗОЛЯЦИИ ПРИСТВОЛЬНЫХ КАМЕР И ВЫРАБОТОК ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ДВОРОВ.

Водоизоляция шахтных стволов и выработок околоствольных дворов является одной из актуальных задач шахтного строительства в Западном Донбассе. Наличие на территории района двух развитых, обводненных геологических структур - рыхлые отложения и коренные породы карбона - требует разных подходов при проектировании и строительстве угольных шахт.

Гранулометрические и физико-механические характеристики водоносных пород не позволяют применить метод предварительной цементации как средства подавления водопритоков в проходимые горные выработки. Все попытки предварительной цементации - стволы шахт Западно-Донбасских № 29, 6/42 и 16/17 - водоносных пород карбона не увенчались успехом. Применение метода торпедирования пород с целью увеличения проницаемости их, также не дало желаемых результатов.

Исходя из этого при сооружении шахтных стволов была принята следующая технология возведения постоянной крепи шахтных стволов:

а) в зоне рыхлых отложений, обладающих пльвунными свойствами, крепь возводится из чугунных тубингов с заполнением затубингового пространства монолитным бетоном толщиной до 500 мм, а проходка ствола - с предварительным замораживанием водоносных пород;

б) в водоносных породах карбона постоянная крепь сооружается из чугунных тубингов с заполнением затубингового пространства бетоном, проходка ствола - обычным способом с использованием проходческого водоотлива.

При наличии остаточных водопритоков, превышающих допустимые НПОМ, производится последующий тампонаж затубингового пространства растворами повышенной водонепроницаемости.

Рассмотрение возможности применения искусственного замораживания, предварительной цементации и химизации водоносных коренных пород при сооружении приствольных камер и выработок околоствольных дворов дает основания для заключения о нецелесообразности использования этих способов проходки в широком масштабе в геологических условиях района.

Наиболее эффективно для целей водоизоляции приствольных камер и выработок околоствольных дворов в этих условиях применение последующего тампонажа закрепного пространства, который может быть выполнен нижеследующими способами:

а) если источником притоков воды в пройденные выработки являются тектонические нарушения ( шахта Западно-Донбасская № 20/23) или обводненные угольные пласты ( шахта Западно-Донбасская № 4), водоподавление осуществляется методами последующей цементации;

б) если водоприток обеспечивается водоносными нетампонируемыми песчаниками ( шахта Западно-Донбасская № 29), водоизоляция выработки достигается созданием водонепроницаемого экрана вокруг постоянной крепи путем нагнетания в закрепное пространство тампонажных растворов повышенной водонепроницаемости. Необходимая толщина водонепроницаемого экрана ( от 0,5 до 2,0 м в зависимости от величины гидростатического напора подземных вод ) достигается за счет тампонирования зоны обрушенных пород, высота которой в Западном Донбассе достигает 7,0 м.

Образование свода обрушенных пород приводит к необходимости устройства на границах обводненных участков выработки водоизоляционных торцевых завес, разобщающих обводненные и необводненные участки выработки. Сложность устройства водоизоляционных завес заключается в необходимости заполнения тампонажным раствором всех трещин и пустот по всей высоте свода обрушения. Поэтому завесы устраиваются на наиболее возвышенных участках выработок и создаются в несколько этапов нагнетанием раствора в скважины возрастающей длины. Контроль качества завес осуществляется бурением контрольных скважин длиной, равной половине высоты завесы и располагаемой на расстоянии I-I,5 м от границ ее со стороны необводненного участка выработки.

Наличие в Западном Донбассе минерализованных напорных вод, заключенных в нетампонируемых породах, поставило задачу создания тампонажных растворов повышенной водонепроницаемости для применения их в агрессивных водах района.

### Г Л А В А IY. ИЗЫСКАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ КАЧЕСТВ.

Определяющим фактором в деле успешного проведения тампонажных работ, наряду с оптимально принятой технологией производства работ, является применение тампонажных растворов с необходимыми тампонажными качествами и свойствами, в частности: повышенной водопроницаемостью, с малыми сроками схватывания в закрепном пространстве, высокой механической прочностью и т.д.

Наличие сильноминерализованных вод с сульфатной агрессивностью обусловило обязательное применение для целей водоподавления сульфатостойких портланд-цементов.

В результате предварительных исследований были отобраны следующие перспективные добавки - активаторы тампонажных растворов: химические реагенты ( хлориды, фосфаты, силикаты и карбонаты ) и минеральные добавки ( глины, суглинки ).

При исследованиях растворов за основу была принята специально разработанная методика подбора составов тампонажных растворов и исследования их качеств.

#### А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

I. Выход тампонажного камня и водоудерживающая способность цементного клинкера. В процессе лабораторных экспериментов определялось качественное и количественное влияние химических и минеральных добавок на выход тампонажного камня цементного раствора. Исследованиями установлено:

- минералогический состав цементного клинкера оказывает влияние на выход тампонажного камня. Наибольший выход камня - при использовании высокоалюминатных портланд-цементов, наименьший - сульфатостойких;

- добавки хлористого кальция и солей одновалентных металлов, за исключением добавок тринатрийфосфата и жидкого стекла, практически не влияют на выход тампонажного камня;

- количество вводимых активных добавок влияет на степень изменения выхода камня. Совместное введение в цементный раствор добавок, влияющих и не влияющих на выход камня, увеличивает его вы-

ход. В этом случае совместное влияние их практически соответствует влиянию одной лишь активной добавки.

Водоцементное отношение тампонажного камня выражает величину водоудерживающей способности цемента ( $V_{сп}$ ). Значение водоудерживающей способности цемента при 100% выходе камня ( $V_{сп. ах}$ ) определяется по формуле:

$$V_{сп. max} = 1,65 V_{нг} \quad (1)$$

где  $V_{нг}$  - водоцементное отношение цементного теста при нормальной густоте его.

Для определения величины водоудерживающей способности цемента при выходе тампонажного камня менее 100%, выведена следующая зависимость:

$$V_{сп} = \frac{V}{\gamma_c} \cdot W - \frac{1}{\gamma_c} (1-W) \quad (2)$$

где  $V/\gamma_c$  - водоцементное отношение раствора;

$W$  - выход тампонажного камня в долях единицы;

$\gamma_c$  - удельный вес цемента.

В результате проведенных исследований получены эмпирические формулы для определения выхода тампонажного камня:

$$W = \frac{1}{1 + \frac{V}{\gamma_c} \cdot \gamma_c} \left[ 1 + V_{сп. max} \cdot \gamma_c + \frac{q}{\left( \frac{V}{\gamma_c} - V_{сп. max} \right)} \right] \quad (3)$$

$$q = \frac{1 + V_{сп. max} \cdot \gamma_c}{5 - 1,65 \cdot V_{нг}} \quad (4)$$

Установленные зависимости 3 и 4 применимы в интервале от  $V/\gamma_c = V_{сп. max}$  до  $V/\gamma_c = 5,0$ .

2. Под влиянием механических воздействий, в частности: давления нагнетания, вибрации и т.д., из нагнетаемых растворов происходит отжим воды, в результате чего значительно уменьшается водоудерживающая способность цемента. В лабораторных условиях были проведены исследования по выявлению влияния давления нагнетания и длительности приложения его к раствору на степень и интенсивность водоотдачи. Исследованиями установлено, что оптимальной величиной



давления нагнетания является давление, превышающее гидростатический напор более чем на 3-4 ати. При оптимальном давлении нагнетания водоцементное отношение тампонажного камня в закрепном пространстве достигает величины, равной 0,40. Образовавшийся после нагнетания тампон свободно фильтрует через себя отжимаемую воду. Вынос цементных частиц при этом минимален.

Фильтрат (отжатая вода) представляет собой раствор химических соединений в воде. Химический состав фильтрата следующий: при введении в цементный раствор хлористых соединений в фильтрате имеются гидроксид кальция, следы хлоридов и сернокислого кальция; при введении добавки из жидкого стекла или алюмината натрия - гидроксид кальция, введенные добавки и следы сернокислого кальция; при отсутствии добавок в фильтрате имеются гидроксид кальция и следы сернокислого кальция.

3. Сроки схватывания цементных растворов. В лабораторных условиях исследовалось влияние различных добавок на сроки схватывания цементных растворов с В/Ц от 0,4 до 5,0. Экспериментами установлено, что сроки схватывания зависят от водоудерживающей способности цемента и эта зависимость выражается формулой:

$$\frac{t'_n}{t''_n} = \frac{t'_k}{t''_k} = \frac{B_{сп}}{B_{нг}} \quad (5)$$

где  $t'_n, t'_k$  - начало и конец схватывания раствора при  $B_{сп}$  (в частности,  $B_{нг}$ );

$t''_n, t''_k$  - начало и конец схватывания раствора при  $B_{сп}$ .

Добавки хлористого кальция, практически не влияющие на изменение водоудерживающей способности цемента уменьшают сроки схватывания раствора при всех значениях водоцементного отношения. Добавки хлорного железа, тринатрийфосфата и хлористого алюминия уменьшают сроки схватывания при В/Ц до 2,0, при В/Ц более 2,0 сроки схватывания растворов с этими добавками более сроков схватывания раствора без добавок. Добавки алюмината натрия и жидкого стекла уменьшают сроки схватывания раствора при всех значениях В/Ц.

При производстве тампонажных работ можно говорить о двух сроках схватывания:

а) сроки схватывания растворов после приготовления их при первоначальной концентрации;

б) сроки схватывания раствора после закачки его в тампонируемое пространство, т.е. после отжима воды.

Наиболее эффективно применение растворов, имеющих большие сроки схватывания после приготовления их и малые после закачки. Это обеспечивается введением в состав растворов комплексных добавок, состоящих из ускорителя схватывания и добавки, увеличивающей выход тампонажного камня.

4. Влияние минерализованных вод на выбор добавок. Добавки жидкого стекла и алюмината натрия, широко применяемые при тампонировании и выносимые из нагнетаемого раствора водой затворения, под влиянием минерализованных вод Западного Донбасса мгновенно коагулируют. Выпадающий в осадок продукт коагуляции перекрывает мелкие трещины и поры в тампонируемых породах, что отрицательно сказывается на результатах тампонажа.

Используемый для целей водонепроницаемости, как добавка повышающая водонепроницаемость тампонажного камня, натриевый бентонит под воздействием шахтных вод и продуктов гидратации цемента, утрачивает свою способность увеличиваться в объеме и тем самым повышать водонепроницаемость камня.

С целью изыскания добавки нейтрализующей воздействие минерализованных вод на способность бентонита увеличиваться в объеме было исследовано влияние хлоридов, карбонатов, сульфатов и фосфатов. На основании проведенных экспериментов установлено, что наиболее эффективной является добавка тринатрийфосфата в количестве 1% от веса цемента. В процессе лабораторных исследований была разработана очередность введения добавки: в воду затворения вводится тринатрийфосфат, а затем в полном объеме засыпается бентонит. После получения равномерной смеси вводятся остальные составляющие тампонажного раствора.

5. Предел прочности затвердевшего тампонажного раствора при сжатии. Периодичность испытаний была принята следующей: через 12 часов, сутки, трое, семь и двадцать восемь суток после укладки раствора в формы. В качестве добавок применялись хлористый кальций, натриевый бентонит и добавка, состоящая из 5% бентонита и 1%

тринатрийфосфата от веса цемента. В/Ц раствора - от 0,4 до 5,0.

В процессе исследований установлено, что хлористый кальций особенно интенсивно влияет на рост прочности в ранние сроки твердения. Комплексная добавка равномерно влияет на рост прочности камня в течение всего периода твердения. С ростом водоудерживающей способности цемента ( $V_{сп}$ ) прочность твердеющего тампонажного камня при сжатии уменьшается в соответствии с формулой:

$$\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{сж}''} = \frac{V_{сп}''}{V_{сп}} \quad (6)$$

Формула 6 применима при исследованиях образцов одного и того же срока твердения.

Исходя из исследований по отжиму воды прочность тампонажного камня в тампонируемом пространстве принимается равной прочности тампонажного раствора с В/Ц = 0,40, твердевшем в статическом состоянии.

6. Водонепроницаемость тампонажного камня определялась на приборе конструкции ВНИИОМШСа. В/Ц твердевших растворов принималось равным 0,40. Испытания проводились через 3 суток после приготовления раствора. В качестве добавок использовались хлористый кальций, хлористый алюминий, жидкое стекло и комплексная добавка (5% бентонита + 1% тринатрийфосфата от веса цемента). Критерием водонепроницаемости было принято максимальное давление, при котором образец практически водонепроницаем. В процессе экспериментов установлено, что цементный камень без добавок обладает водонепроницаемостью 6 ати, с добавкой 5% хлористого кальция - 10 ати, с добавкой 1,2% хлорного железа и 1,0% хлористого алюминия - 25 ати, 5% жидкого стекла - 10 ати, с комплексной добавкой - 40 ати.

Значительное влияние комплексной добавки на увеличение водонепроницаемости объясняется тем, что в процессе твердения цемента, увеличивающийся в объеме, бентонитовый гель обеспечивает плотное заполнение микропор структурной решетки камня.

На основании проведенных исследований для целей водоподавления в Западном Донбассе рекомендован тампонажный раствор на основе сульфатостойких портланд-цементов с комплексной добавкой, состоящей из натриевого бентонита (5% от веса цемента) и тринатрийфосфата (1% от веса цемента).

## Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ

Для приготовления растворов используются: обычный портланд-цемент (в сухих выработках) или сульфатостойкий (в свободных выработках), мелкозернистый песок и добавки активаторы.

1. Выход тампонажного камня и водоудерживающая способность твердых составляющих. На основании проведенных экспериментов установлено:

а) количество песка оказывает основное влияние на величину выхода тампонажного камня. С увеличением содержания песка при прочих равных условиях выход тампонажного камня возрастает;

б) введение в состав растворов химических добавок, за исключением жидкого стекла, в количествах до 5% от веса цемента, и минеральных добавок в количествах до 10% от веса песка не влияет на выход тампонажного камня;

в) количество вводимых добавок жидкого стекла и минеральных добавок (глин) влияет на степень увеличения выхода камня.

В результате проведенных исследований получены эмпирические формулы для определения выхода тампонажного камня цементно-песчаных растворов ( $W_n$ ), водоудерживающей способности твердых составляющих ( $V_{сп.т}$ ) и цемента ( $V_{сп.ц}$ ):

$$W_n = (1,25 + \frac{1,5B}{C+P}) \cdot \frac{P \cdot \delta_{ц} + \delta_n}{\delta_n + P \delta_{ц} + B \delta_n \delta_{ц}} \quad (7)$$

$$V_{сп.т} = \frac{B}{C} \cdot W_n - \left( \frac{P}{\delta_n} + \frac{1}{\delta_{ц}} \right) (1 - W_n) \quad (8)$$

$$V_{сп.ц} = \frac{B}{C} \cdot W_n - \left( \frac{P}{\delta_n} + \frac{1}{\delta_{ц}} \right) (1 - W_n) - P \cdot K \quad (9)$$

где C; P; B - весовое содержание цемента, песка и воды в составе раствора;

$\delta_{ц}$ ;  $\delta_n$  - удельные веса цемента и песка;

K - водопоглощение песка в весовых процентах.

Сроки схватывания растворов и прочность их при сжатии с достаточной степенью точности определяются по формулам 5 и 6.

2. Седиментационная устойчивость и дифференциация твердых составляющих. Цементно-песчаные растворы являясь представителями грубодисперсных суспензий, крайне неустойчивы даже при наличии тонкодисперсной фазы в составе их. Неустойчивость растворов выражается процессами оседания и фракционной дифференциации твердых составляющих. Время полного оседания твердых составляющих цементно-песчаных растворов с соотношением песка и цемента более трех равно 3-5 мин. Основная масса песка и цемента оседает в более короткий срок, что не обеспечивает нормальных условий работы тампонажного оборудования.

С целью повышения седиментационной устойчивости рекомендуется: - постоянное в процессе нагнетания механическое перемешивание тампонажного раствора в растворомешалке:

- введение в состав растворов порошковых глин в количествах до 10% от веса цемента.

Дифференциация составляющих значительно снижается с уменьшением В/Ц до предельной величины, при которой раствор насос прокачивает раствор. Применение растворов с Ц/П более 10 из-за дифференциации составляющих при всех значениях В/Ц не рекомендуется.

3. Отжим воды затворения под давлением нагнетания. При нагнетании растворов под давлением 3-10 ати В/Ц тампонажного камня равно приведенному в нижеследующей таблице:

Ц:П	I:1	I:2	I:3	I:4	I:5	I:6	I:7	I:10
В/Ц тампонажного камня	0,38	0,45	0,55	0,67	0,80	0,95	1,05	1,20

4. Предел прочности при сжатии. При производстве тампонажа для повышения устойчивости выработок основным параметром тампонажного камня является предел прочности при сжатии. Интенсивность нарастания прочности во времени не суть важна. Поэтому применение добавок ускорителей нецелесообразно. Эксперименты показали, что с ростом цементнопесчаного отношения (Ц:П) предел прочности тампонажного камня снижается с 350 кг/см<sup>2</sup> при Ц:П=I:1 до 15 кг/см<sup>2</sup> при Ц:П=I:10 (цемент марки 400, значения водоцементных отношений ра-

створа приведены в таблице). Введение глин в количестве до 10% от веса цемента не оказывает существенного влияния на прочность камня при Ц:П до I:4, при Ц:П от I:4 до I:7 конечная прочность снижается на 5-10%, при Ц:П более I:7 - на 20 и более %.

По фактору прочности для целей повышения устойчивости выработок рекомендованы цементно-песчаные растворы с Ц:П от I:4 до I:7. Цемент марок 400 и 500.

5. Водонепроницаемость тампонажного камня. При значениях В/Ц, приведенных в таблице, была определена водонепроницаемость в возрасте 3 суток цементно-песчаных растворов без добавок и с комплексной добавкой, состоящей из 5% натриевого бентонита и 1% тринатрий-фосфата от веса цемента. Водонепроницаемость растворов с Ц:П=I:4; I:5; I:6 без добавок соответственно равна 7,5 и 4 ати, с комплексной добавкой - 20, 17 и 13 ати.

#### В. МЕТОДИКА УСКОРЕННОГО ПОДБОРА И ИССЛЕДОВАНИЙ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

На основании лабораторных экспериментов и установленных зависимостей разработана методика ускоренных исследований тампонажных растворов, предусматривающая определение в лабораторных условиях:

а) для цементных растворов - удельного веса, концентрации и распыля, В/Ц теста нормальной густоты, сроков схватывания цементного теста нормальной густоты, прочности при сжатии и водонепроницаемости раствора с В/Ц = 0,40.

Пользуясь формулами 1,2,3,4,5 и 6 определяются величины выхода тампонажного камня, водоудерживающей способности, сроков схватывания и пределов прочности при сжатии цементных растворов при интересующих нас значениях В/Ц;

б) для цементно-песчаных растворов - удельного веса и распыля раствора, сроков схватывания цементного теста нормальной густоты, прочности при сжатии и водонепроницаемости цементно-песчаных растворов, водоцементное отношение которых принимается из таблицы. Пользуясь формулами 5,7,8 и 9 расчетным способом определяются величины выхода тампонажного камня, водоудерживающей способности твердых составляющих и цемента, сроков схватывания раствора при всех интересующих нас значениях В/Ц и Ц/П отношений.

## Г Л А В А У. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТАМПОНАЖА КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОННОЙ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЦЕМЕНТАЦИИ.

В течение 1968-1970 г.г. на ряде шахт Западного Донбасса было проведено промышленное внедрение тампонажа как средства повышения устойчивости горных выработок и последующей цементации. Испытаниями предусматривалась проверка в производственных условиях созданных растворов и определение эффективности тампонажа и последующей цементации в условиях Западного Донбасса.

Исследовательская часть работ на этапе промышленного внедрения содержала регулировку свойств растворов в период тампонажа, определение границ распространения раствора в закрепном пространстве, ориентировочное определение сроков схватывания закладного раствора, выбор оптимальных режимов тампонажа, регулярные наблюдения за состоянием затампонируемых выработок, а также контрольно-проверочное бурение по итогам тампонажа.

Разработка инструкции и проектов производства тампонажа, техническое руководство за их осуществлением и исследовательская работа в производственных условиях выполнялись под руководством и при непосредственном участии автора.

В процессе промышленного внедрения были выполнены работы следующего характера:

- тампонаж закрепного пространства выработок околоствольных дворов шахт Западно-Донбасских № 3, 4, 20/23 и 29. Всего затампонировано свыше 7000 м выработок, закрепленных бетоном. В результате тампонажа деформации и разрушения бетона прекратились;

- последующая цементация выработок загрузочного породного комплекса гор.-160 м шахты Западно-Донбасская № 4, водоприток в который был полностью ликвидирован;

- гидроизоляция угольного бункера шахты Западно-Донбасская № 4, водоприток в бункер снижен с 9 до 0,5 м<sup>3</sup>/час;

- гидроизоляция заезда на порожняковую ветвь околоствольного двора гор.-250 м шахты Западно-Донбасской № 20/23, водоприток снижен до 0,5 м<sup>3</sup>/час;

- ликвидация вывала методами тампонажа на шахте Западно-Донбасская № 4.

Проведение тампонажа с целью повышения устойчивости выработок проектным институтом Днепрогипрошахт внесено в состав проектов строительства шахт Западного Донбасса. Способ цементации, как способ водоизоляции выработок околоствольных дворов, надежно зарекомендовал себя и принят для дальнейшего внедрения.

Тампонаж закрепного пространства для повышения устойчивости выработок экономически выгоден при тампонируании всех выработок, если нарушения бетона зафиксированы на 27 и более % всей длины их, при оценке эффективности по стоимостным показателям; при оценке эффективности по трудовым затратам - при нарушении 37 и более % выработок, закрепленных бетоном.

Фактический экономический эффект от внедрения тампонажа, составил 224,8 тыс.руб.

### ВЫВОДЫ:

На основании проведенных исследований, закончившихся промышленным внедрением на шахтах Западного Донбасса, представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Специфика горногеологических и гидрогеологических условий Западного Донбасса определяется наличием весьма слабых легкообрушающихся коренных пород, наличием в нетампонируемых породах карбона агрессивных вод, обеспечивающих значительные водопритоки в пройденные горные выработки.

2. Обусловленная сложными горногеологическими условиями Западного Донбасса технология возведения бетонной крепи выработок околоствольных дворов, предусматривающая оставление арки временной крепи в теле бетона, является основной причиной нарушения крепи.

3. Теоретически обоснована и практически подтверждена необходимость тампонажа закрепного пространства для обеспечения устойчивости выработок, закрепленных бетоном.

4. Созданы новые тампонажные растворы, обладающие высокими гидротехническими свойствами, для применения их в условиях агрессивных подземных вод Западного Донбасса.

5. Получены функциональные и корреляционные зависимости между основными параметрами цементных и цементно-песчаных растворов. Разработана методика ускоренных исследований и подбора тампонажных растворов.

6. Промышленные испытания подтвердили данные лабораторных исследований и показали техническую и экономическую эффективность последующей цементации и тампонажа закрепного пространства капитальных горных выработок. Остаточные водопитки на объектах, где применялась цементация, не превышают 5-8% от первоначальных. Деформации бетона крепи после проведения последующего тампонажа прекратились.

7. Успешное применение цементации и тампонажа на шахтах Западного Донбасса дает основания рассматривать их как основные способы повышения устойчивости и водоизоляции выработок при вскрытии месторождений в районах с аналогичными горногеологическими и гидрогеологическими условиями.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. ЕВТУШЕНКО В.В. Повышение устойчивости постоянной крепи при помощи тампонажа. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 5, 1969 г.
2. ЕВТУШЕНКО В.В. Сроки схватывания цементных растворов и водоудерживающая способность цемента. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 6, 1969 г.
3. ЕВТУШЕНКО В.В. Выход тампонажного камня при производстве цементационных работ. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 12, 1966 г.
4. МАКСИМОВ А.П., ЕВТУШЕНКО В.В. Методика ускоренных исследований и разработки тампонажных растворов. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 11-12, 1969 г.
5. БАРДУС А.М., ЕВТУШЕНКО В.В. Ликвидация вывала методами тампонажа на шахте Западно-Донбасская № 4. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", № 8, 1969 г.
6. ДИВЧУК В.Н., ЕВТУШЕНКО В.В., БУРРО Ф.Л. Влияние добавок на выход тампонажного камня и эффект уплотнения тампонажных растворов под давлением. Труды ПечоринУИ, вып. № 9, 1966 г.

7. МАКСИМОВ А.П., ЕВТУШЕНКО В.В. Тампонаж закрепного пространства капитальных выработок как средство обеспечения их устойчивости. "Уголь Украины", № 8, 1970 г.