

4849602

На правах рукописи

Меренкова Наталья Викторовна

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ
БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ
С ОТСТАВАНИЕМ ОТ ЗАБОЯ БОЛЬШИМИ ЗАХОДКАМИ**

Специальность

25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

9 ИЮН 2011

Новочеркасск – 2011

Работа выполнена в Шахтинском институте (филиале) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)» на кафедре «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Страданченко Сергей Георгиевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
Савин Игорь Ильич

кандидат технических наук
Нечасенко Виктор Иванович

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Защита состоится «17» июня 2011 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.304.07 при Южно-Российском государственном техническом университете (Новочеркасском политехническом институте) по адресу: 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), аудитория 107, тел./факс: (863-52) 2-84-63, email: ngtu@novoch.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЮРГТУ (НПИ) (г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132).

Автореферат разослан « 16 » мая 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М.С. Плешко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основными вскрывающими выработками большинства горнодобывающих предприятий являются вертикальные стволы, связывающие подземные добычные горизонты с земной поверхностью. Себестоимость строительства современных глубоких вертикальных стволов составляет сотни млн. руб., продолжительность сооружения достигает 5 - 6 лет и более, а срок эксплуатации – 60 - 80 лет. В процессе работы ствол в зависимости от назначения должен обеспечивать безаварийную выдачу полезного ископаемого и породы, спуск-подъем людей, материалов, оборудования, необходимый режим вентиляции и др. Остановка шахтного или горнорудного подъема приводит к значительным убыткам, поэтому особенную важность приобретает высокая эксплуатационная надежность конструкций ствола, основной из которых является крепь.

В настоящее время крепление стволов в нашей стране осуществляется по совмещенной технологической схеме, характеризующейся возведением монолитной бетонной крепи вслед за продвижением забоя ствола заходками высотой 3 - 4 м со спуском бетона по трубопроводам. Эта технология имеет ряд существенных недостатков: низкое качество бетона вследствие его расслаивания во время спуска по трубам; наличие «холодных» швов между заходками, через которые в ствол попадает основной объем остаточных водопритокков; воздействие на не затвердевший бетон крепи взрывных работ и интенсивного деформирования пород в призабойной зоне, приводящих к образованию в крепи систем трещин и др. Их влияние приводит к снижению работоспособности и долговечности крепи и особенно сильно проявляется в глубоких вертикальных стволах, объем строительства которых в нашей стране постоянно увеличивается.

Неслучайно, обследования глубоких стволов, выполненные научными и проектными организациями, говорят о том, что более 50% из них имеют повреждения различной тяжести, проявляющиеся как в виде систем вертикальных и горизонтальных трещин в бетоне, так и в виде вывалов и разрушений крепи на больших площадях. Количественный анализ показывает, что помимо негативного влияния горно-геологических факторов около половины нарушений и повреждений монолитной бетонной крепи обусловлено проектными и технологическими факторами, и, прежде всего, повсеместным применением совмещенной схемы проходки вертикальных стволов.

Вследствие этого дальнейшее совершенствование технологии крепления вертикальных стволов, направленное на увеличение работоспособности и сроков безремонтной работы крепи, является актуальной задачей современного шахтного строительства.

Передовой отечественный опыт монолитного строительства и зарубежный опыт проходки стволов фирмами Германии, ЮАР показывает, что значительные резервы по повышению качества и долговечности монолитной бетонной крепи возникают при применении высокопрочных бетонов на основе эффективных химических добавок и модификаторов, а также переходе на

технологии крепления стволов с отставанием возведения крепи от забоя и контейнерной доставкой бетонной смеси. Положительный эффект достигается при реализации схем непрерывного бетонирования, увеличении высоты заходок и повышения качества стыков между ними. Однако широкое внедрение этих технических и технологических решений в нашей стране сдерживается недостаточной разработанностью ряда теоретических и практических аспектов, связанных с технологией возведения и последующей работой крепи стволов.

Диссертационная работа выполнена в рамках темы НИР 17.05 «Исследование геомеханических процессов подземного пространства, влияние этих процессов на сопутствующие среды и земную поверхность», выполняемой в Шахтинском институте (ф) ЮРГТУ (НПИ) по заданию Федерального агентства по образованию, госбюджетной темы кафедры «Подземного, промышленного, гражданского строительства и строительных материалов» П53-801 «Разработать средства и способы крепления и охраны горных выработок и обеспечения безопасности труда на горных и строящихся предприятиях», а также Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт 14.740.11.0427).

Цель работы: обоснование технологии возведения бетонной крепи вертикальных стволов с отставанием от забоя большими заходками, направленной на повышение ее эксплуатационных свойств и сроков безремонтной работы.

Идея работы: повышение эксплуатационных свойств и сроков безремонтной работы бетонной крепи вертикальных стволов достигается переходом на технологию крепления с отставанием возведения крепи от забоя ствола заходками 8 - 12 м при обоснованных параметрах бетонирования и учете на стадии проектирования негативных процессов, развивающихся в системе «постоянная крепь – временная крепь – породный массив» во время эксплуатации.

Методы исследования. В работе использован комплексный метод исследований, включающий определение фактической прочности крепи стволов в шахтных условиях методом ударного импульса, численное моделирование методом конечных элементов объемной задачи взаимодействия крепи с массивом пород, аналитические методы механики подземных сооружений, лабораторные испытания бетона, статистическую обработку результатов лабораторных испытаний и шахтных исследований, корреляционный анализ, технико-экономический анализ.

Защищаемые научные положения:

1. При строительстве и эксплуатации ствола во внешних слоях монолитной бетонной крепи и на стыках заходок возникают ослабленные участки, приводящие к развитию в крепи растягивающих радиальных напряжений, нелинейно возрастающих от средней части к краю заходки, а также к снижению до 20% несущей способности крепи.

2. Увеличение высоты заходки высокопрочной бетонной крепи в 2 - 3 раза при обоснованных сроках бетонирования и распалубки, учитывающих

глубину ствола, производительность проходческого подъема, температуру бетонной смеси и пород в месте крепления, позволяет уменьшить количество ослабленных участков в крепи и максимальные величины отклонений ее прочности от проектной.

3. При возведении монолитной бетонной крепи с отставанием от забоя ствола заходками высотой 8 - 12 м наиболее опасными являются срезающие напряжения в опорном слое бетона, величина которых определяется величиной давления свежеуложенного бетона и нелинейно зависит от высоты опорного слоя и отношения модулей сдвига бетона и вмещающего массива.

4. После исчерпания несущей способности временной анкерной крепи ствола на постоянную крепь передаются дополнительные нагрузки, которые определяются в зависимости от деформационных характеристик крепи и пород, длины и плотности установки анкеров, величины отставания возведения крепи от забоя и должны учитываться на стадии проектирования для обеспечения необходимого запаса прочности конструкции при длительной эксплуатации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Произведена количественная оценка отклонений прочности бетона крепи стволов от проектной во внешних слоях и на стыках заходок, с учетом которой установлены закономерности фактического распределения напряжений в крепи по высоте заходки и изменения ее несущей способности.

2. Обоснованы параметры высокопрочной бетонной крепи стволов и эффективной технологии ее возведения, позволяющие определить необходимые сроки бетонирования и распулочки, учитывающие изменение температурного режима бетона в процессе крепления.

3. Получены расчетные зависимости по определению максимальных напряжений среза в бетоне опорного слоя монолитной бетонной крепи для различных диаметров стволов, учитывающие давление свежеуложенного бетона, высоту опорного слоя, соотношение модулей сдвига бетона и окружающих пород.

4. Разработана методика предварительной оценки величин дополнительных нагрузок на постоянную крепь стволов и запаса ее прочности на стадии исчерпания несущей способности временной крепи в процессе длительной эксплуатации.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: статистически значимым объемом шахтных и лабораторных исследований (выполнено 1200 замеров фактической прочности монолитной бетонной крепи стволов в 40 заходках, исследовано около 200 образцов бетона); высокими значениями коэффициентов корреляции полученных автором корреляционных зависимостей (не менее 0,91); сочетанием теоретических и экспериментальных исследований с использованием апробированных методик и фундаментальных положений механики сплошной среды, механики подземных сооружений, математической статистики; инженерно-техническими проработками и внедрением.

Научное значение работы. Полученные в работе результаты развивают и дополняют теоретические положения известных методов обоснования парамет-

ров монолитной бетонной крепи, возводимой с отставанием от забоя ствола, с учетом влияния технологии работ и негативных процессов длительной эксплуатации.

Практическое значение работы:

– обоснованы модифицированные составы бетона крепи вертикальных стволов с высокими эксплуатационными свойствами и разработаны рекомендации по определению необходимых сроков доставки бетонной смеси к стволу и распалубки крепи;

– разработана методика обоснования параметров бетонной крепи стволов, возводимой с отставанием от забоя, с учетом стадии истощения несущей способности временной крепи при длительной эксплуатации;

– предложены технологические схемы крепления стволов большими заходками, обеспечивающие высокую работоспособность крепи при длительной эксплуатации.

Реализация работы. Основные результаты работы использованы ОАО «Ростовшахтострой» при разработке проекта строительства Северного вентиляционного ствола № 2 ОАО «Гайский ГОК».

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены на международных научных симпозиумах и конференциях: «Неделя горняка» (Москва, 2006 - 2010 гг.); «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений», (ДонНТУ, 2006, 2009 г.); 53 - 59 научные конференции Шахтинского института (филиала) ЮРГТУ (НПИ) (г. Шахты, 2004 - 2010 гг.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 11 научных работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 160 наименований и 2 приложений. Содержит 176 страниц машинописного текста, 60 рисунков и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основополагающие результаты по геомеханике массивов горных пород и проектированию параметров крепи вертикальных стволов получены К.А. Ардашевым, Б.З. Амусиным, И.В. Баклашевым, Ф.А. Белаенко, В.А. Борисовцом, Н.С. Булычевым, Ю.З. Заславским, В.Н. Каретниковым, Б.А. Картозия, А.М. Козелом, Г.А. Крупенниковым, А.П. Максимовым, Н.М. Покровским, А.Г. Протосеня, А.А. Репко, К.В. Рушпeneйтом, Н.Н. Фотиевой, и многими другими учеными.

Вопросам совершенствования технологии проходки и крепления стволов посвящены работы А.Г. Гузеева, О.С. Докунина, И.Г. Коскова, В.В. Левита, Н.М. Покровского, А.А. Пшеничного, С.В. Сергеева, И.С. Стосва, П.С. Сыркина, Р.А. Тюркяна, И.Г. Шинкаря, Ф.И. Ягодкина и др.

На основании выполненных фундаментальных работ был создан комплекс нормативных документов в области проектирования и строительства

стволов, разработаны технологические схемы проходки и способы крепления вертикальных выработок. Рассмотрим их основные особенности.

В настоящее время в России повсеместное распространение независимо от горно-геологических условий строительства получила совмещенная схема проходки с возведением крепи вслед за продвижением забоя ствола. При расчете крепи в основном применяется схема контактного взаимодействия крепи и породного массива в рамках плоской задачи. Следует отметить, что ее решение представляет собой частный случай оценки напряженно-деформированного состояния элементов с заданными проектными параметрами (толщина, прочность, модуль деформации бетона крепи; прочность, модуль деформации пород и др.) в конкретных условиях. При этом не учитывается полностью влияние на работоспособность крепи технологии крепления и возможных ее нарушений, несоблюдения проектных параметров конструкций, ухудшение качества материала крепи и снижение ее несущей способности в процессе эксплуатации и др.

Пренебрежение этими факторами может привести к уменьшению сроков безремонтной работы крепи и необходимости проведения дорогостоящего ремонта.

Так в работах М.В. Прокоповой и О.Г. Быковой установлено, что определение параметров монолитной бетонной (железобетонной) крепи должно производиться с учетом радиальных отклонений стенок крепи ствола от проектного положения, изменения формы ее сечения и толщины, связанных с особенностями технологии ведения работ, диаметром и глубиной ствола. Максимальные напряжения в крепи, вызванные данными отклонениями, могут превышать средние значения на 10 - 20% и более.

На наш взгляд не менее существенное значение имеет учет возможной вариативности прочностных свойств материала крепи и возникающих в ней зон ослаблений, в частности «холодных» швов. Закономерности их влияния на несущую способность крепи нуждаются в дальнейшем изучении.

Проф. Н.С. Булычевым было предложено при совмещенной схеме проходки стволов рассматривать в качестве отдельной стадии взаимодействие твердеющей монолитной бетонной крепи с деформирующимся массивом пород в призабойной зоне. Установлено, что наиболее интенсивному воздействию подвергается ближайшая к забою заходка крепи в момент снятия опалубки. Это необходимо учитывать при проектировании для предотвращения образования нарушений и ухудшения качества бетона.

В то же время при схемах проходки с отставанием возведения постоянной крепи от забоя ствола, широко применяемых в зарубежной практике и по ряду параметров существенно более эффективных чем совмещенные технологии, реализуется несколько иной механизм взаимодействия крепи и породного массива в призабойной зоне, нуждающийся в дальнейшем изучении.

Кроме того, возникает задача обеспечения устойчивости обнаженных пород до возведения постоянной крепи, которая может быть решена применением временной крепи или предварительным упрочнением пород. Обоснование параметров упрочнения окружающих горные выработки пород и вре-

менной крепи выполнено в работах И.В. Баклашова, А.А. Борисова, Н.С. Булычева, Ю.В. Буркова, Б.А. Каргозия, Э.Я. Кипко, А.М. Козела, Г.И. Кравченко, Г.Г. Литвинского, Ю.А. Полозова, М.С. Плешко, С.П. Сыркина, Н.Н. Фотиевой, Ф.И. Ягодкина и др. Однако в них остались нерассмотренными вопросы длительного взаимодействия постоянной крепи, возведенной с отставанием от забоя ствола, с временной крепью и упрочненным породным массивом при эксплуатации вертикальной выработки с учетом возможных изменений свойств взаимодействующих элементов.

Не менее важным аспектом является обоснование высокоэффективных составов бетона крепи. Исследования в этой области выполнены в работах С.В. Борщевского, О.С. Докунина, И.Г. Коскова, В.В. Левита, С.П. Сыркина, Ф.И. Ягодкина, М.С. Плешко и др. ученых. В то же время ряд разработок устарел, а также не предусматривал обоснование оптимальных параметров технологии крепления, в частности высоты заходки, способов и сроков транспортирования бетона, распалубки и др.

В целом недостаточная разработанность отмеченных выше теоретических и практических аспектов сдерживает широкое внедрение в нашей стране прогрессивных схем крепления стволов с отставанием возведения постоянной крепи от забоя, позволяющих обеспечить высокое качество и долговечность крепи, одновременность выполнения основных проходческих процессов, снижение затрат и повышение безопасности эксплуатации стволов. Исходя из этого, и в соответствии с поставленной целью, в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить оценку фактической прочности монолитной бетонной крепи вертикальных стволов с учетом влияния технологических и эксплуатационных факторов.

2. Разработать высокоэффективные составы бетонов для крепления вертикальных стволов и обосновать параметры бетонирования с учетом комплекса влияющих технологических, горно-геологических и природно-климатических факторов.

3. Выполнить анализ геомеханического взаимодействия крепи, возведенной с отставанием от забоя ствола большими заходками, с породным массивом в период строительства и эксплуатации вертикальной выработки с учетом возможных изменений и отклонений свойств взаимодействующих элементов.

4. Разработать технологические схемы возведения монолитной бетонной крепи стволов с высокими эксплуатационными свойствами и выполнять технико-экономическую оценку предлагаемых решений.

Для оценки фактической прочности монолитной бетонной крепи и анализа влияющих факторов выполнены шахтные исследования во вспомогательном вертикальном стволе рудника «Айхал» АК «Алроса». С учетом технологии работ измерения прочности методом ударного импульса в пределах каждой заходки проводились с проходческого полка в двух зонах: 1 – в средней части заходки; 2 – вблизи границы заходки на расстоянии до 10 - 15 см от «холодного» шва.

На основании статистической обработки данных по 1200 замерам в 40 заходках крепи установлено, что фактическая прочность бетона на сжатие значительно ниже прочности образцов, определенной в лабораторных условиях. Среднее отклонение составило 28,9%. В зоне «холодного» шва наблюдается еще большее снижение прочности бетона по сравнению с обычным участком, составившее в среднем 37,6%, а по отношению к средней части прочность бетона меньше в среднем на 12,3% (рис. 1).

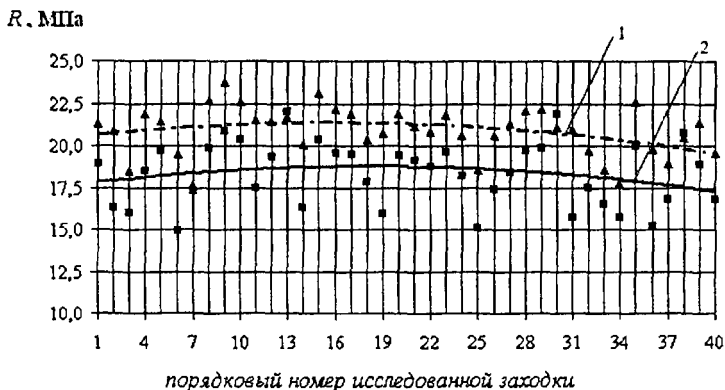


Рис. 1. Фактическая прочность монолитной бетонной крепи в стволе: 1 – в средней части заходки крепи; 2 – в зоне «холодного» шва

На основании полученных данных выполнен вычислительный эксперимент по моделированию взаимодействия системы «крепь – породный массив» при наличии в конструкции крепи шва между заходками и примыкающей к нему зоны сниженной прочности бетона, который показал, что наличие зоны ослабления приводит к возникновению в крепи ствола небольших изгибающих деформаций с максимумом в области контакта зон сниженной и обычной прочности. Вследствие этого в крепи возникают растягивающие радиальные напряжения, нелинейно возрастающие от центральной части к краю заходки с достижением максимума на границе контакта областей нормальной и сниженной прочности бетона (рис. 2). Они могут привести к образованию трещин и снижению долговечности крепи, что часто наблюдается на практике.

Визуальный осмотр нижней грани заходок крепи в забое ствола также выявил неоднородность бетона по толщине крепи. Вследствие вымывания цементных частиц на границе с вмещающими породами, внешний слой колец крепи толщиной до 5 - 10 см выглядит как бетон низкого качества (меньшее содержание цементного камня, наличие систем трещин, обнажение крупного заполнителя).

Для более точной количественной оценки эффекта неоднородности бетона крепи вследствие воздействия шахтных вод выполнен лабораторный

эксперимент с помощью установки для определения водонепроницаемости бетона.



Рис. 2. Изменение главных радиальных напряжений в бетонной крепи по высоте заходки при наличии зоны сниженной прочности (растягивающие напряжения приняты положительными)

Средняя прочность образцов бетона на сжатие обычного состава, подвергнутых воздействию воды в начальный период твердения, оказалась на 14,6% меньше чем у контрольных. Максимальное зафиксированное вымывание цементного камня с открытой стороны образца – 9,3 см. В то же время для исследованных быстротвердеющих высокопрочных составов бетона снижение прочности оказалось в 2,1 - 2,3 раза меньше.

Анализ влияния неоднородности крепи по ее сечению показал, что при образовании в монолитной бетонной крепи внешнего ослабленного слоя ее несущая способность уменьшается до 20%. Величина снижения несущей способности крепи линейно возрастает при увеличении толщины ослабленного слоя и уменьшении прочности бетона в нем. Для учета этого эффекта при проектировании крепи может использоваться при отсутствии точных данных дополнительный коэффициент к расчетной прочности бетона, равный 1,2 ($R_p/1,2$).

По результатам данных исследований сформулировано первое научное положение и сделан вывод о сложности обеспечения высоких эксплуатационных свойств крепи стволов при применении совмещенной схемы проходки и обычных составов бетона.

Проблема «холодных» швов может быть решена при переходе на схемы возведения крепи большими заходками с отставанием от забоя ствола. Даже при неизменном качестве стыков между заходками увеличение их высоты до 8 м позволяет уменьшить относительную протяженность зон растягивающих напряжений в крепи по высоте ствола с 17,5% до 7,5%, а при высоте заходки 12 м – до 5%. Эффект возникновения неоднородности материала крепи по ее

сечению уменьшается при использовании высокопрочных бетонов ускоренного твердения.

Для обоснования параметров бетона крепи, возводимой с отставанием от забоя ствола, выполнен комплекс лабораторных исследований, в результате которых разработаны эффективные составы бетона классов В30, В35, В40 с включением модификаторов полифункционального действия для крепления вертикальных стволов со спуском бетона в контейнерах. Испытания показали, что они обладают высокими эксплуатационными свойствами: прочностью на сжатие до 56,1 МПа, на растяжение при изгибе – до 3,1 МПа; быстрым набором прочности (до 20 МПа в возрасте 1 сут.); высокой водонепроницаемостью (марки W10 - W14), коррозионной стойкостью и долговечностью.

Получены корреляционные зависимости по определению прочности модифицированного бетона на растяжение при изгибе и начального модуля упругости в зависимости от прочности на сжатие:

$$R_p = 0,2253 \cdot R_c^{0,653}; E = 6,0544 \cdot R_c^{0,45} \quad (1)$$

Коэффициенты корреляции составляют соответственно 0,94 и 0,93.

В тоже время существенное влияние на проектные параметры высокопрочного бетона крепи при строительстве ствола оказывают горно-геологические, природно-климатические и технологические факторы.

Установлено, что модифицированная бетонная смесь в диапазоне температур 10 - 30 °С сохраняет подвижность в течение 1,5 - 2,5 часов, после чего происходит резкое снижение величины осадки конуса с последующим началом схватывания. Интенсивность снижения подвижности в этот период увеличивается при уменьшении отношения массы модификатора к массе цемента. На основании полученных данных определены максимальные сроки транспортирования бетонной смеси к стволу, учитывающие также глубину спуска бетона, $H_{ст}$ и вместимость контейнера, Q при средней скорости его спуска и производительности укладки бетона за опалубку (рис. 3).

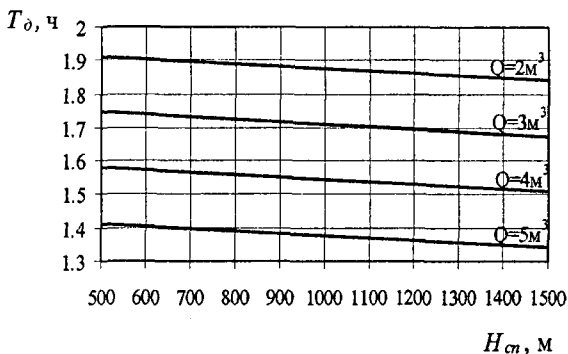


Рис. 3. Расчетная продолжительность доставки бетонной смеси к стволу при ее температуре 10°C и различной вместимости контейнеров

Отклонение температуры твердения бетона от нормальной также приводит к значительному изменению скорости набора прочности модифицированного бетона, при этом влияние температурного фактора уменьшается с возрастом бетона.

На основе уравнения теплового баланса Б.Г. Скрамтаева разработана методика определения необходимого времени распалубки монолитной бетонной крепи в вертикальных стволах. Средняя температура бетона крепи в процессе твердения за опалубкой находится из выражения:

$$t_c = t_k + \frac{t_n - t_k}{1,03 + 0,181 \cdot M_{II} + 0,006(t_n - t_k)}, \quad (2)$$

где t_n , t_k – начальная и конечная температуры бетона за время твердения, определяемые с учетом температуры воздуха в стволе, температуры пород в месте бетонирования, параметров опалубки и бетона; M_{II} – модуль поверхности заходки крепи, определяемый отношением площади ее поверхности к объему бетона.

В зависимости от температуры бетона крепи его относительная прочность, позволяющая определить необходимый срок распалубки, определяется по графикам рис. 4, полученным в результате испытаний.

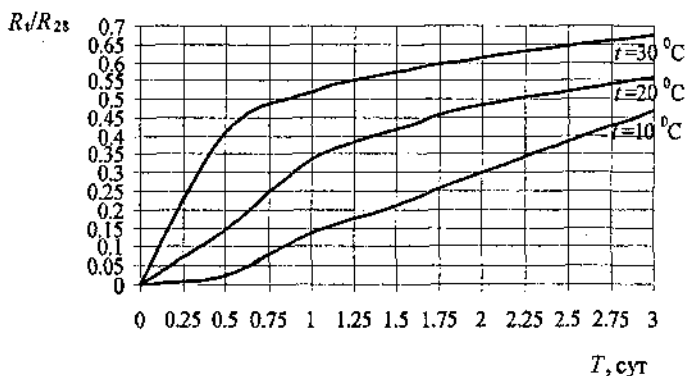


Рис. 4. График зависимости относительной прочности бетона от времени твердения при различных температурах

Полученные результаты легли в основу второго научного положения.

Процесс нагружения монолитной бетонной крепи, возводимой с отставанием от забоя ствола до 20 - 25 м заходками 8 - 12 м имеет ряд отличительных особенностей.

Установлено, что в период строительства наиболее опасными напряжениями в крепи являются напряжения среза в бетоне опорного слоя кольца крепи от давления свежееуложенного бетона основной части заходки, $\sigma_{ср}$.

Величина напряжений $\sigma_{ср}$ нелинейно зависит от отношения G_0/G_1 , где G_0 – модуль сдвига пород массива, G_1 – модуль сдвига бетона, и высоты опорного слоя, $h_{оп}$ (рис. 5 и 6).

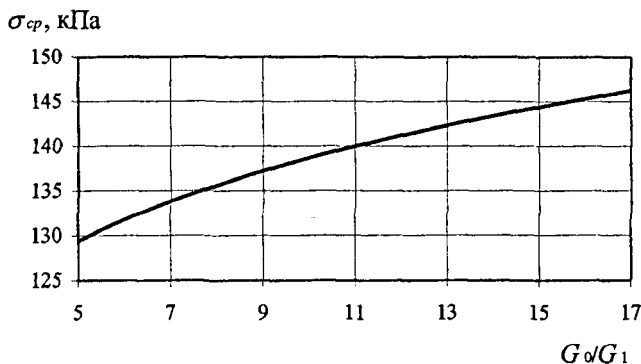


Рис. 5. Зависимость напряжений σ_{cp} от отношения G_0/G_1

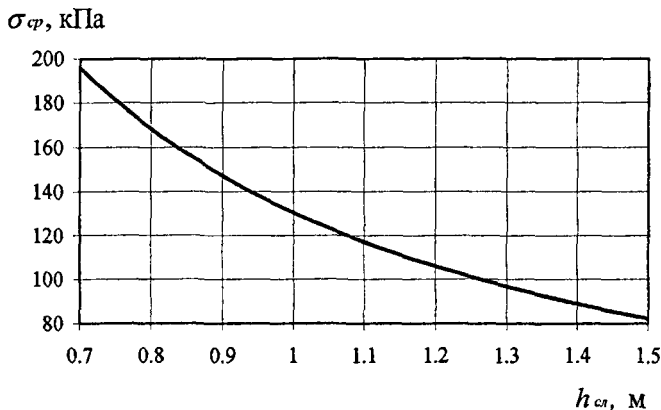


Рис. 6. Зависимость напряжений от высоты опорного слоя

На основании обработки данных математического моделирования получены корреляционные зависимости по определению напряжений среза в бетоне опорного слоя для стволов различного диаметра. Так при диаметре ствола в свету $D_{cv}=7,0$ м формула имеет вид:

$$\sigma_{cp} = \frac{(G_0 / G_1)^{0,1} (1,089 \cdot P + 1,241)}{h^{1,141}}, \quad (3)$$

где P – давление свежесуложенного бетона, кПа.

Средний коэффициент корреляции составил 0,91

Полученные результаты позволили сформулировать третье научное положение.

Наиболее высокие технико-экономические показатели проходки стволов с отставанием возведения постоянной крепи от забоя ствола обеспечиваются при применении низкозатратных конструкций временной крепи. К ним в частности относится анкерная сталеполимерная крепь с минимально рекомендованной величиной заделки стержня в скавжине. Однако в процессе длительной эксплуатации ствола возможно исчерпание несущей способности временной анкерной крепи, что приводит к изменению деформационных характеристик упрочненного слоя пород и увеличению нагрузок на основную крепь. На основании анализа взаимодействия крепи и породного массива на данной стадии эксплуатации разработана методика предварительного определения величин дополнительных нагрузок на постоянную крепь стволов и оценки запаса ее прочности. Выражение по определению величины прироста нагрузок на крепь имеет вид:

$$p = \alpha_{n.e}^* \lambda \gamma H \frac{2}{\chi_0 + 1} \cdot (K_0' \cdot K_2' - K_0 \cdot K_2), \quad (4)$$

где λ – коэффициент бокового давления в нетронутом массиве;

γ – средний объемный вес вышележащий толщии пород;

H – глубина рассматриваемого сечения ствола от земной поверхности;

χ_0 – коэффициент, равный при плоской деформации:

$$\chi_0 = 3 - 4 \nu_0,$$

ν_0 – коэффициент Пуассона пород;

K_0, K_2, K_0', K_2' – соответственно коэффициенты передачи напряжений через внешний бесконечный и упрочненный анкерами слои породного массива до и после исчерпания несущей способности временной крепи, определяемые в зависимости от их деформационных и геометрических характеристик;

$\alpha_{n.e}^*$ – коэффициент, учитывающий отставание возведения временной и постоянной крепи от забоя ствола и предварительное упрочнение пород:

$$\alpha_{n.e}^* = \alpha^* - k_{анк},$$

α^* – коэффициент, определяемый по формуле Б.З. Амосина при величине отставания l_0 равной высотной отметке начала установки временной крепи относительно забоя ствола;

$k_{анк}$ – коэффициент, учитывающий влияние анкерного упрочнения пород на реализацию смещений массива в призабойной зоне до возведения постоянной крепи, определяется по полученной автором зависимости:

$$k_{анк} = \frac{0,6 \exp\left(-0,152 \frac{D}{l_0}\right)}{L^{0,136} \cdot K_{упр}^{0,942}}, \quad (5)$$

здесь D – диаметр ствола в черне, м;

l_0 – отставание постоянной бетонной крепи от забоя ствола, м;

L – ширина зоны упрочнения пород в окрестности ствола, м;

$K_{упр}$ – коэффициент упрочнения пород, определяемый в зависимости от плотности установки и несущей способности анкеров.

Выполненные по разработанному алгоритму расчеты показывают, что наибольшее влияние на динамику изменения нагрузок оказывает отношение модулей сдвига упрочненных анкерами и разупрочненных пород, особенно в случае развития процесса дальнейшего разрушения. Учет этого момента на стадии проектирования позволяет обеспечить необходимый запас прочности крепи при длительной эксплуатации, при этом установлено, что даже в рассматриваемый критический момент он больше чем у аналогичной по себестоимости конструкции, возведенной по совмещенной схеме, в среднем в 2 раза.

Полученные результаты легли в основу четвертого научного положения.

Для возведения монолитной бетонной крепи с высокими эксплуатационными свойствами разработана параллельная технологическая схема крепления стволов заходками высотой 8 м, предусматривающая совмещение работ по бурению шпуров и возведению крепи, использование многоярусного проходческого полка и опалубки, состоящей из двух секций, которая позволяет достигать скорости проходки стволов 120 м/мес. и более при высоком качестве крепи.

В рамках совмещенной схемы проходки разработана совмещено-последовательная технология, предусматривающая возведение заходки крепи высотой 12 м через каждые 3 проходческих цикла, позволяющая получить крепь с качественными стыками, с высокой прочностью и водонепроницаемостью.

В результате технико-экономического сравнения установлено, что переход с монолитной крепи из обычного бетона класса В25 на крепь из модифицированного бетона класса В30 или В40 позволяет за счет уменьшения толщины крепи уменьшить сметную себестоимость крепления 1 м ствола на 7,2 - 33,8% в рассмотренном диапазоне условий.

Внедрение обоснованных решений по креплению стволов осуществлено при разработке проекта строительства вентиляционного ствола № 2 ОАО «Гайский ГОК».

Выполненное технико-экономическое сравнение показало, что переход на параллельную схему проходки позволяет за счет снижения сроков проходки обеспечить экономический эффект в размере 48 тыс. руб. на 1 м протяженности ствола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические разработки бетонной крепи стволов с высокими эксплуатационными свойствами на основе установленных закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния крепи при ее возведении с отставанием от забоя ствола большими заходками и дальнейшей работе, внедрение которых позволяет увеличить безопасность эксплуатации стволов и имеет существенное значение для экономики страны.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основании исследования фактической прочности бетона крепи ствола неразрушающим методом установлено, что прочность бетона в заходках ниже прочности образцов, определенной в лабораторных условиях, в среднем на 30%, при этом вследствие влияния технологии работ и шахтных вод возникает неоднородность прочности бетона по высоте и сечению заходки (отклонения до 12,3% и 15% соответственно).

2. В результате вычислительного эксперимента по взаимодействию с породным массивом монолитной бетонной крепи, имеющей «холодные» швы и участки сниженной прочности установлено, что их наличие приводит к возникновению в данной области деформаций изгиба и растягивающих радиальных напряжений, нелинейно возрастающих от средней части к краю заходки, что может отрицательно повлиять на долговечность конструкции крепи.

3. Установлено, что при образовании в монолитной бетонной крепи внешнего ослабленного слоя ее несущая способность может уменьшиться до 20%, при этом величина снижения линейно возрастает при увеличении толщины ослабленного слоя и уменьшении прочности бетона в нем. Для учета этого эффекта при проектировании крепи целесообразно использовать дополнительный понижающий коэффициент к расчетной прочности бетона.

4. Разработаны составы модифицированного бетона с высокими эксплуатационными свойствами и получены зависимости его прочности на растяжение при изгибе и начального модуля упругости от прочности бетона на сжатие в проектном возрасте.

5. Установлено, что модифицированная бетонная смесь в диапазоне температур 10 - 30 °С сохраняет подвижность в течение 1,5 - 2,5 часов, после чего происходит резкое снижение величины осадки конуса с последующим началом схватывания. Интенсивность снижения подвижности в этот период увеличивается при уменьшении отношения массы модификатора к массе цемента. На основании полученных данных определены максимальные сроки транспортирования бетонной смеси к стволу при его различной глубине и параметрах проходческого подъема.

6. Установлено, что отклонение температуры твердения бетона от нормальной приводит к значительному изменению скорости набора прочности модифицированного бетона, при этом влияние температуры уменьшается с возрастом бетона. С учетом температурного режима в стволе разработана методика определения оптимального времени распалубки монолитной бетонной крепи в вертикальных стволах.

7. На основании математического моделирования установлено, что в период возведения монолитной бетонной крепи с отставанием от забоя ствола наиболее опасными являются срезающие напряжения в опорном слое бетона, интенсивность которых определяется величиной давления свежеуложенного бетона, высотой опорного слоя и отношением модулей сдвига бетона и вмещающего массива.

8. В результате аналитических исследований разработана методика определения дополнительных нагрузок на постоянную крепь стволов и оценки запаса ее прочности на стадии истощения несущей способности временной анкерной крепи в процессе длительной эксплуатации.

9. Разработаны две технологические схемы крепления вертикальных стволов монолитным бетоном с высокими эксплуатационными свойствами, предусматривающие использование составных опалубок для возведения заходок высотой 8 - 12 м.

10. Выполнен технико-экономический анализ разработанных решений, который показал, что переход на крепление стволов монолитным бетоном с высокими эксплуатационными свойствами позволяет за счет уменьшения толщины крепи уменьшить сметную себестоимость крепления 1 м ствола на 7,2 - 33,8% в рассмотренном диапазоне условий.

11. Выполнено внедрение обоснованных решений при разработке проекта строительства Северного вентиляционного ствола № 2 ОАО «Гайский ГОК», в результате которого получен экономический эффект в размере 48 тыс. руб. на 1 м протяженности ствола за счет сокращения сроков проходки.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Меренкова Н.В. Новые подходы к определению запаса несущей способности крепи глубоких вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 4. – С. 173 - 176.

2. Меренкова Н.В. Закономерности распределения напряжений в монолитной бетонной крепи вертикальных стволов, вызванных вертикальными нагрузками // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – №3. – С. 93 - 94.

3. Плешко М.С., Меренкова Н.В. Определение параметров анкерной крепи стволов при параллельной схеме проходки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №10. – С. 325 - 328.

4. Плешко М.С., Меренкова Н.В. Перспективы применения монолитной бетонной крепи в глубоких вертикальных стволах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – Тематическое приложение «Физика горных пород». – С. 409 - 416.

5. Меренкова Н.В. Анкерно-бетонное крепление глубоких вертикальных стволов // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – С. 214 - 222.

6. Меренкова Н.В. Исследование влияния отклонения физико-механических свойств крепи вертикальных стволов на ее напряженно-деформированное состояние // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – С. 259 - 262.

7. Меренкова Н.В. Анализ взаимодействия крепи, возводимой с отставанием от забоя, с породным массивом в период строительства ствола // Проблемы горного дела и экологии горного производства: матер. IV междунар.

науч.-практ. конф. (14-15 мая 2009 г., г. Антрацит) – Донецк: Вебер, 2009. – С. 146.

8. Меренкова Н.В. Анализ влияния технологии работ на запас прочности монолитной бетонной крепи в период строительства // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. – С. 231 - 233.

9. Меренкова Н.В. Об учете влияния величины отставания крепи от забоя ствола на интенсивность ее загрузки // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. – С. 256 - 258.

10. Меренкова Н.В. Определение запаса прочности анкерно-бетонной крепи вертикальных стволов с учетом длительной эксплуатации // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. – С. 118 - 122.

11. Меренкова Н.В. Особенности работы крепи стволов при параллельной схеме проходки // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. – С. 89 - 92.

Меренкова Наталья Викторовна

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ
БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ
С ОТСТАВНИЕМ ОТ ЗАБОЯ БОЛЬШИМИ ЗАХОДКАМИ**

Автореферат

Подписано в печать 13.05.2011.

Формат 60 × 84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Печать шрифтовая.

Усл. печ. л. 1,0. Уч-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 48-2738.

Отпечатано в ИД «Политехник»
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132