

На правах рукописи



Сентябов Сергей Васильевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ ШАХТНЫХ
СТВОЛОВ**

*Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»*

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук

Зубков Альберт Васильевич

Официальные оппоненты: **Рассказов Игорь Юрьевич** –

доктор технических наук, директор

«ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН» г. Хабаровск,

Аксенов Анатолий Аркадьевич –

кандидат технических наук,

директор УФ ОАО «ВНИМИ», г. Екатеринбург

Ведущая организация – ФГБОУ ВО « Уральский государственный горный университет» (УГГУ)

Защита состоится «21» декабря 2016 года в ___ час ___ мин на заседании диссертационного совета Д 004.010.02 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук по адресу: 620075, Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»: <http://diss.igduran.ru/>

Автореферат разослан ___ октября 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук

Панжин А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших задач экономики России в XXI веке является эффективное развитие горнодобывающей промышленности, направленное на сохранение и увеличение объемов добычи рудных и минеральных полезных ископаемых, что связано, в частности при подземной разработке со вскрытием месторождения через вертикальные стволы.

Напряжения в бетонной крепи вертикальных стволов, по данным Н.С.Булычева, И.В.Баклашова, Б.А.Картозии, Г.А.Крупенникова, А.Г.Протосени, А.М.Козела, В.Е.Боликова, формируются при действии постоянных во времени природных напряжений, являющихся суммой гравитационных и тектонических напряжений.

Выполненные этими учеными исследования легли в основу метода расчета крепи по схеме контактного взаимодействия с массивом. Достоинством этих методов является то, что влияние технологической схемы проходки учитывается путем введения в формулы по определению расчетных напряжений вокруг выработки корректирующего множителя α^* . Это позволяет свести расчет шахтных крепей к известным аналитическим и численным решениям плоской контактной задачи двух упругих тел (т.е. крепи и окружающего массива, контактирующих друг с другом и линейно деформирующихся).

Основным недостатком вышеуказанного метода является то, что при определении корректирующего множителя α^* не учитывается действие вертикальных напряжений σ_z , а также модуль упругости бетона E_6 , который изменяется от нуля при скоростной проходке до максимальных значений E_6 при длительных остановках крепления. Следует, однако, отметить, что действующие методы оценки влияния схем проходки на нагруженность крепи стволов являются приближенными и нуждаются в дальнейшем совершенствовании, так как при проектировании не учитываются вновь выявленные закономерности формирования напряженного состояния в массиве горных пород с учетом изменения его во времени.

В последние годы установлено, что природные напряжения в массиве горных пород, в результате которых формируются напряжения в крепи, изменяются

во времени и эти изменения могут приводить к увеличению напряжений в крепи, составляющих $\approx 30 \div 70\%$ от нормативной прочности бетона.

Изменение природных напряжений происходит с периодичностью от часов до сотен лет, и механизм формирования напряжения в крепи за счет этих напряжений неизвестен, хотя установлены случаи крупных разрушений крепи на десятках рудников в периоды, когда переменные во времени напряжения достигают своих экстремальных значений.

Вследствие этого поиск и выявление механизма формирования напряжений в крепи при действии природных напряжений с учетом их вариаций во времени является актуальной задачей современного шахтного строительства.

Целью работы является совершенствование метода расчета напряжений бетонной крепи для обеспечения устойчивости шахтных стволов на весь срок эксплуатации с учетом параметров переменного напряженного состояния массива горных пород.

Идея работы заключается в том, что расчет напряженно-деформированного состояния бетонной крепи шахтных стволов необходимо производить с учетом природных напряжений, рассматривая их вариации во времени.

Объект исследования – природно-техногенная система, бетонная крепь стволов и окружающий ее массив горных пород.

Предмет исследования – закономерности формирования напряженного состояния крепи стволов при взаимодействии с массивом горных пород.

Задачи исследований:

1. Анализ современных представлений о формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород и методов расчета напряжений в бетонной крепи шахтных стволов во времени.

2. Разработка экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния бетонной крепи вертикальных стволов на различных базах.

3. Определение первоначальных напряжений и выявление закономерности формирования напряженно-деформированного состояния природно-техногенной системы крепь – массив по всей глубине ствола.

4. Усовершенствование методов расчета напряжений в бетонной крепи стволов с обоснованием исходных параметров природных напряжений массива горных пород с учетом их вариаций во времени.

5. Обоснование технических решений по повышению несущей способности монолитной бетонной крепи.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Напряженное состояние бетонной крепи шахтных стволов формируется как функция конструктивных параметров ствола, полного тензора напряжений, включающего в себя гравитационно-тектонические и переменные во времени напряжения, действующие в массиве горных пород на момент начала исследований, с учетом физико-механических свойств породного массива, модуля упругости бетона, который зависит от скорости усадки и дополнительных напряжений, вызванных последующим изменением поля напряжений, обусловленных вне зоны влияния горных работ циклическим изменением природных напряжений, а в зоне влияния выработанного пространства – изменением вторичного поля напряжений.

2. Теоретические и экспериментальные исследования доказывают, что иерархически блочный массив магматических и метаморфических горных пород ведет себя как упругая и изотропная среда. Это установлено при определении изменения природных напряжений в массиве на базе 5–7 рангов геоблоков, в результате которого формируются напряжения в приконтурной части ствола на базе 2–3 рангов геоблоков, упруго влияющие на изменение напряженно-деформированного состояния бетонной крепи шахтных стволов.

Методы исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий: научный анализ и обобщение опыта; долгосрочный геодеформационный мониторинг деформации бетонной крепи стволов в шахтных условиях; статистическую обработку результатов; аналитические методы ис-

следований и промышленные эксперименты по исследованию напряженно-деформированного состояния массива и бетонной крепи стволов.

Достоверность научных положений обеспечивается надежностью и представительностью исходных данных, представительным объемом лабораторных исследований, теоретическим обобщением выявленных закономерностей, сопоставимостью результатов исследований с практическими данными, полученными в процессе длительных шахтных экспериментов, сходимостью аналитических результатов с результатами ранее проведенных опытно-промышленных исследований лабораторией геодинамики и горного давления Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН).

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. В дополнение к природным напряжениям в массиве, сформировавшимся в результате суммирования гравитационных γH и статических тектонических σ_m напряжений по гипотезам А.Гейма, А.Н.Динника и Н.Хаста, необходимо учитывать переменную во времени составляющую $\sigma_{A\Phi}$.

$$\sigma_z^n = -\gamma H + \sigma_{zm} + \sigma_{A\Phi},$$

$$\sigma_x^n = -\lambda \gamma H + \sigma_{xm} + \sigma_{A\Phi},$$

$$\sigma_y^n = -\lambda \gamma H + \sigma_{ym} + \sigma_{A\Phi},$$

2. Массив магматических и метаморфических горных пород ведет себя как упругая и изотропная среда.

3. В соответствии с предложенной методикой установлено, что изменяющиеся природные напряжения в массиве горных пород вызывают повышение напряжения в крепи, достигающего $\approx 30 \div 70\%$ от нормативной прочности бетона.

Личный вклад автора состоит:

1. В анализе литературных источников и научно-технической документации.

2. В постановке цели и задач работы.

3. В разработке метода расчета напряженного состояния бетонной крепи с учетом природных напряжений, изменяющихся во времени.

4. В разработке оборудования, методик постановки натуральных экспериментов, обработке опытных данных и обобщении их результатов.

5. В обосновании мероприятий по обеспечению устойчивости крепи стволов.

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния монолитной бетонной крепи при действии природных напряжений, рассмотрении их вариации во времени. Результаты длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала, проводимого лабораторией геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН в течение последних 18 лет, и анализ данных измерения за 50 лет в основных горнодобывающих регионах мира дали основание предложить новую, более современное представление о структуре поля природных напряжений с привязкой их изменения ко времени.

Практическое значение работы:

1. Разработан, в том числе защищенный патентом, способ определения природных напряжений в массиве горных пород с учетом переменной составляющей.

2. Усовершенствованы методы расчета напряженного состояния бетонной крепи при действии переменных во времени напряжений, которые необходимо учитывать при проектных работах.

3. Обосновано, что для эффективного и безопасного ведения горных работ на каждом месторождении необходимо произвести измерение напряжений именно на этом месторождении и определить тренд изменения переменных во времени напряжений $\sigma_{A\phi}$ на ближайшие 10–20 лет.

4. В процессе выполнения работы определено первоначальное напряженное состояние бетонной крепи вертикальных стволов на глубоких горизонтах месторождения.

5. Представлен обоснованный подход к определению вида и параметров крепи и ее устойчивости на весь срок эксплуатации горного предприятия.

Реализация работы. Основные результаты исследований рекомендованы к использованию ПАО «Гайский ГОК» для расчетного прогноза напряженного состояния бетонной крепи вертикальных стволов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены на международных научных симпозиумах и конференциях: «VII- X Всероссийская молодежная научно-практическая конференция по проблемам недропользования» (г. Екатеринбург, 2013 – 2016гг.); «V Уральский горнопромышленный форум» (г. Екатеринбург, 2013г.); Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геомеханика в горном деле», посвященная 90-летию Влоха Н.П. (г. Екатеринбург, 2014г.); «VI Уральский горнопромышленный форум» (г. Екатеринбург, 2015г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также получен 1 патент.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 105 наименований. Содержит 135 страниц машинописного текста, 46 рисунков и 17 таблиц.

Во введении рассмотрена актуальность исследования, сформулированы цель, идея и основные задачи, методы исследований, научная новизна работы, основные положения, выносимые на защиту, достоверность и обоснованность научных положений. Приведена информация о практической значимости исследований, апробации, публикациях, объеме и структуре работы.

В первой главе представлен анализ гипотез формирования напряженного состояния массива горных пород, дана оценка физико-механических свойств массива. Выполнен обзор публикаций, посвященных различным способам крепления вертикальных стволов. Проанализированы методики расчета напряжений в массиве горных пород и бетонной крепи шахтных стволов. Представлен обзор состояния проблемы, сравнение основных отечественных и зарубежных характеристик напряженного состояния массива, обоснованы задачи и методы исследования.

Во второй главе проанализированы закономерности формирования природных напряжений в различных регионах мира. Представлено прогнозируемое построение тренда изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Показаны результаты исследования формирования переменных напряжений в земной коре. Для практического использования получена зависимость изменения напряжений во времени, на основании этого разработан новый способ определения природных напряжений в массиве горных пород. Приведены величины первоначальных природных напряжений, действующих в массиве горных пород на Гайском медноколчеданном месторождении.

В третьей главе показано фактическое состояние массива и бетонной крепи шахтных стволов подземного рудника Гайского ГОКа. Представлены усовершенствованные методы расчета напряженного состояния бетонной крепи стволов при совмещенном способе проходки. Получены результаты измерения напряжений в бетонной крепи стволов. Для практического использования определены закономерности изменения природных напряжений во времени, полученные в результате длительного геодеформационного мониторинга бетонной крепи шахтных стволов.

В четвертой главе представлены закономерности повышения несущей способности монолитной бетонной крепи за счет анкерования приконтурного массива при экстремальных значениях переменных во времени напряжений. Проведена сопоставительная оценка эффективности комбинированного крепления.

В заключении приведены основные выводы диссертационного исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При расчете напряженного состояния горных конструкций на ранних стадиях становления геомеханики в качестве граничных условий использовали природные напряжения при формировании их в соответствии с гипотезами А.Гейма (1878 г.), А.Н.Динника (1926 г.) и Н.Хаста (1960 г.).

Основополагающие результаты по геомеханике массивов горных пород и проектированию параметров крепи вертикальных стволов получены

Н.С.Булычевым, И.В.Баклашовым, Б.А.Картозией, Г.А.Крупенниковым, А.Г.Протосеней, А.М.Козелом и многими другими учеными.

Выполненные этими исследователями работы легли в основу метода расчета крепи по схеме контактного взаимодействия с массивом. Сущность метода заключается в рассмотрении единой системы крепь – порода, функционирование которой во времени подразделяется на два периода.

Первый характеризуется интенсивным ростом смещений пород, второй – их медленным увеличением. При этом после обнажении пород в процессе проведения выработки происходит смещение обнаженной поверхности еще до возведения крепи. Смещения пород, продолжающиеся после возведения крепи, встречают ее сопротивление, вызывают взаимодействие крепи с массивом и обуславливают величину установившихся напряжений в крепи.

При расчёте параметров устойчивости крепи учитывается множество технологических, технических и природных факторов.

С приближением к забою конвергенция стенок ствола уменьшается, составляя на расстоянии от забоя $2D - 100\%$; $D - 97\%$; $0,5 - 80\%$; $0,25D - 70\%$ и у забоя 50% .

$$U_{D(x)} = \frac{(1 - \mu^2)D}{E_n} (\sigma_x K_{x(x)} + \sigma_y K_{x(y)} + \sigma_z K_{x(z)}),$$

$$U_{D(y)} = \frac{(1 - \mu^2)D}{E_n} (\sigma_x K_{y(x)} + \sigma_y K_{y(y)} + \sigma_z K_{y(z)}),$$

где U_D – конвергенция стенок ствола по диаметру, мм;

$K_{x(x)}$, $K_{y(x)}$... – условные коэффициенты концентрации напряжений (σ_x), (σ_y), (σ_z) по осям X и Y ;

σ_x ; σ_y ; σ_z – составляющие главных напряжений, МПа.

В качестве примера произведен расчет для Гайского подземного рудника на горизонте -1075 м, где природные напряжения измеряли методом щелевой разгрузки в 2008 году. Величины первоначальных напряжений, действующих в массиве пород месторождения, составляют: $\sigma_x = -32$ МПа; $\sigma_y = -49$ МПа; $\sigma_z = -33$ МПа.

Рассмотрим деформации $U_{D(x)}$ и $U_{D(y)}$ на разных расстояниях от забоя L/D вычисленные по выше приведенным формулам. Графики $U_{D(x)}$ и $U_{D(y)}$ представлены на рисунке 1 и рисунке 2 с учетом условных коэффициентов концентрации в зависимости от отношения $L/D = 0,1; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4$ (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Условные коэффициенты концентрации на различном удалении от забоя

L/D	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$K_{x(x)}$	1,68	2,02	2,38	2,64	2,84	2,9	3,0
$K_{x(y)}$	-0,6	-0,62	-0,8	-0,88	-0,92	-0,98	-1,0
$K_{x(z)}$	-0,32	-0,29	-0,24	-0,15	-0,08	-0,025	0

Условные коэффициенты концентрации вычислены для круглой выработки, выполненной в объёмной модели из пенопласта, при приложении одноосных нагрузок и измерении конвергенции стенок выработки U_I при известных значениях E и μ для пенопласта.

Таблица 2 – Изменение диаметра ствола за счет конвергенции стенок

L/D	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$U_{D(y)}$	-1,75	-3,1	-4,3	-5,1	-5,5	-5,6	-5,7
$U_{D(x)}$	-6,7	-8,8	-11,3	-12,7	-13,3	-13,6	-13,7

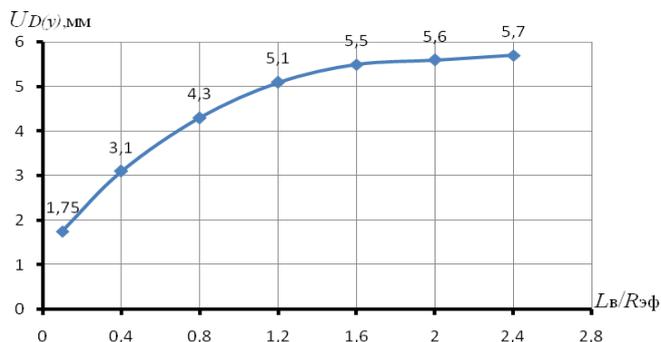


Рисунок 1 – График изменения диаметра ствола за счет конвергенции стенок $U_{D(y)}$

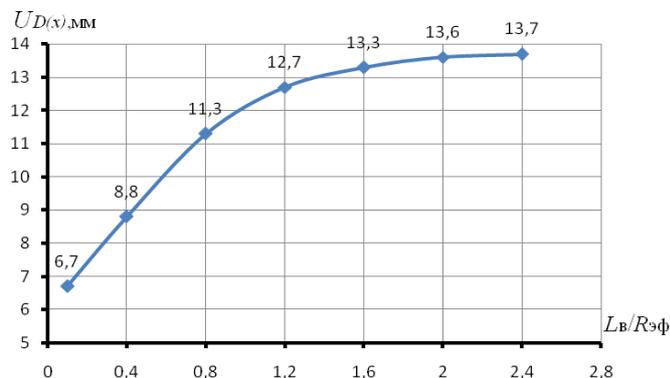


Рисунок 2 – График изменения диаметра ствола за счет конвергенции стенок $U_{D(x)}$

При совмещенном способе проходки и возведении бетонной крепи в верхней части кольца происходит конвергенция стенок ствола, когда бетон не набрал полной прочности. Во время строительства ствола возникают остановки крепления (по различным причинам: аварии, ремонтные работы, выполнение рассечек в пределах каждого горизонта и др.) на период, за который бетон набирает свою полную прочность, и при возобновлении проходки в таких участках возможно формирование значительных напряжений в крепи.

С целью оценки устойчивости крепи стволов на руднике были сделаны предварительные расчеты напряжений, действующих в крепи на горизонтах -830м, -910м и -1075м. При условии, что крепь сдерживает не более 5% деформации породных стенок ствола, предлагается упрощенная формула для определения напряжений в бетонной крепи.

$$\sigma_{\theta(x)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} [\sigma_x^n (K_{x(x)}^0 - K_{x(x)}^1) + \sigma_y^n (K_{x(y)}^0 - K_{x(y)}^1) + \sigma_z (K_{x(z)}^0 - K_{x(z)}^1)],$$

$$\sigma_{\theta(y)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} [\sigma_y^n (K_{y(x)}^0 - K_{y(x)}^1) + \sigma_x^n (K_{y(y)}^0 - K_{y(y)}^1) + \sigma_z (K_{y(z)}^0 - K_{y(z)}^1)],$$

где $K_{n(i)}^0$ — коэффициенты концентрации на удалении от забоя более $1,5 D$;

$K_{n(i)}^1$ — коэффициенты концентрации в сечениях ближе чем $1,5 D$;

$\sigma_x^n; \sigma_y^n; \sigma_z$ — главные первоначальные напряжения, МПа.

Результаты расчета напряжений, действующих в бетонной крепи, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные напряжения в бетонной крепи

Горизонт	Верх кольца		Низ кольца	
	$\sigma_{\theta(x)}$ МПа	$\sigma_{\theta(y)}$ МПа	$\sigma_{\theta(x)}$ МПа	$\sigma_{\theta(y)}$ МПа
-830м	-8,5	-0,77	-15,3	-0,6
-910м	-8,7	-0,9	-15,8	-0,8
-1075м	-8,8	-1,2	-16,6	-4,8

На основании полученных результатов представляется возможным сделать следующий предварительный вывод об устойчивости крепи стволов рудника.

На участках, где проходку приостанавливали на время, за которое бетон набрал свою полную прочность, в крепи ствола возникали максимальные напряжения. Величины рассчитанных напряжений на горизонте -830 метров и ниже имеют незначительный запас прочности и практически близки к нормативной прочности бетона, равной для М200 18 МПа. На этих участках есть опасность нарушения крепи стволов.

С 2013 года по настоящее время при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований лабораторией геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН были продолжены экспериментальные работы по

изучению изменения во времени напряжённо-деформированного состояния (НДС) – геодинамической активности массива горных пород. Для этого специально оборудованы наблюдательные станции в различных районах Урала; они подземные и вне зоны влияния горных работ, расположены в районе городов Красноурьинск, Нижний Тагил, Березовский, Гай на глубине от 420 до 1070 м.

Были заложены реперные линии на базах 40–50 м (5–7 рангов геоблоков) и измерения проводились 3–4 раза в год. В ходе анализа результатов натуральных исследований было установлено, что периодическое изменение НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры (Земли) происходит с временным интервалом, в среднем, 11 лет (рисунок 3).



Рисунок 3 – Изменение НДС массива на рудниках в городах Урала и Алтая

Анализ приведенных результатов показывает, что природные напряжения в земной коре изменяются во времени и не являются постоянными. В момент измерения в дополнение к ранее выдвинутым гипотезам необходимо учитывать переменную во времени составляющую $\sigma_{АФ}$.

Определенные известными способами главные напряжения делят на постоянную и переменную во времени составляющие.

$$\sigma_z^n = -\gamma H + \sigma_{zm} + \sigma_{АФ},$$

$$\sigma_x^n = -\lambda \gamma H + \sigma_{xm} + \sigma_{АФ},$$

$$\sigma_y^n = -\lambda \gamma H + \sigma_{ym} + \sigma_{АФ},$$

Получают зависимость изменения постоянных составляющих с глубиной, находят закономерность изменения переменных напряжений во времени на рас-

смаатриваемом месторождении или принимают их как средние по региону, а затем суммируют эти составляющие на требуемой глубине и в нужное время.

$$\sigma_{x(2020)}^n = \sigma_{x(1996)} - \sigma_{A\Phi(1996)} + \sigma_{A\Phi(2020)},$$

$$\sigma_{y(2020)}^n = \sigma_{y(1996)} - \sigma_{A\Phi(1996)} + \sigma_{A\Phi(2020)},$$

Если крепление ствола проводилось в период максимума $\sigma_{A\Phi}$, то уменьшение $\sigma_{A\Phi}$ в последующем приведёт к появлению в крепи растягивающих напряжений, которые частично будут компенсированы сжатием крепи в период её возведения.

В практике подобные комбинации могут быть самые разнообразные. Если учесть, что крепь возводится в промежутках между максимумом и минимумом переменных во времени напряжений $\sigma_{A\Phi}$ и неизвестен модуль упругости бетона E_b в момент проходки, то судить об НДС крепи на начало исследований не представляется возможным. Напряженно-деформированное состояние крепи можно только измерить. Решение о необходимости измерения напряжений в бетонной крепи впервые было принято на Донском ГОКе в 1986 году.

В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки. Измерения были проведены на глубине -830 м, -910 м, -990 м, -1075 м и -1390 м Гайского подземного рудника. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета напряжений в бетонной крепи методом щелевой разгрузки

1-я станция (горизонт -830м)	2-я станция (горизонт -910м)	3-я станция (горизонт -990м)	4-я станция (горизонт -1075м)	5-я станция (горизонт -1390м)	6-я станция (горизонт -1390м)
-2,9 МПа	-2,9 МПа	-0,72 МПа	-1,4 МПа	-0,72 МПа	-1,4 МПа

Полученные величины напряжений в крепи, возведенной при совмещенном способе проходки, отличаются от теоретических за счет того, что бетон не набрал полной прочности и деформировался пластично.

Следовательно, в процессе эксплуатации ствола напряженное состояние бетонной крепи формируются как сумма известных измеренных $\sigma_{кр}^{изм}$ и дополнительных $\Delta\sigma_{кр}$ напряжений, вызванных последующим изменением поля напряжений, обусловленных вне зоны влияния горных работ изменением переменной во времени составляющей, а в зоне влияния выработанного пространства – изменением вторичного поля напряжений.

Для проведения долговременных наблюдений за изменением напряженно-деформированного состояния в крепи ствола шахты «Клетевая» специально были установлены станции на глубине -830 м, -910 м, -990 м, -1075 м, и -1390 м в ходовом отделении ствола в двух положениях для определения горизонтальных и вертикальных деформаций. Изменение напряжений также фиксировалось и по реперам, установленным на базах 70 мм.

Изменения напряжений во времени на различных базах, разбитых по горизонтам приведены на рисунках 4 – 8. Эти графики согласуются с результатами измерений переменных во времени напряжений в массиве, проводимых лабораторией геодинамики и горного давления за последние 18 лет. Но разница в величинах напряжений объясняется разномодульностью пород и концентрацией напряжений в приконтурной части ствола.

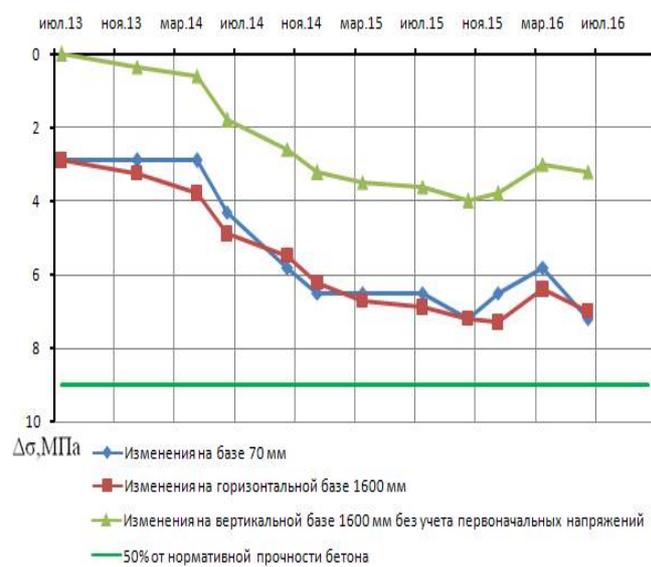


Рисунок 4 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -830м



Рисунок 5 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -910м

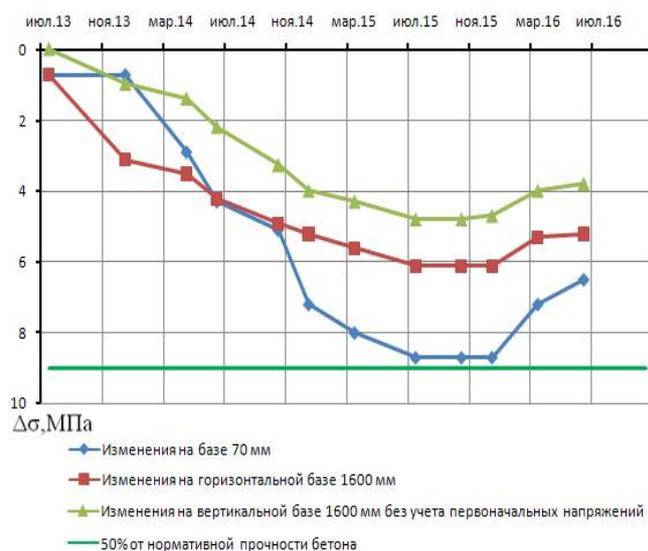


Рисунок 6 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -990м

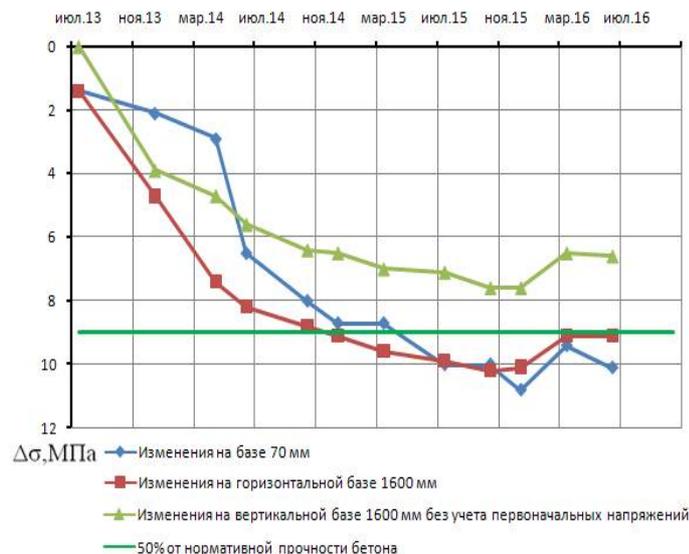


Рисунок 7 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -1075м



Рисунок 8 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -1390м

Стволы находятся в туфах андезитодацитового состава, имеющих модуль упругости в образце горной породы $E_o = 0,72 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль упругости в массиве определяется по следующей формуле

$$E_m = 0,93^n \cdot E_o, \text{ МПа,}$$

где E_o – модуль упругости образца горной породы;

n – количество рангов геоблоков.

При определении изменяющихся во времени природных напряжений σ_{Af} измеряли деформацию базисов, имеющих длину 40–50 метров (5–7 рангов гео-

блоков). В массивах со средним размером структурных блоков 0,5 метра и коэффициентом вложения $\lambda=2$ модуль упругости массива горных пород на этих базах при $n = 5$ составит

$$E_m = 0,93^n \cdot 0,72 \cdot 10^5 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

С 2013 по 2016 год в массиве было зафиксировано изменение природных напряжений $\Delta\sigma_{A\Phi}$:

$$\Delta\sigma_{A\Phi} = \Delta\varepsilon_m \cdot E_m = -6,2 \text{ МПа.}$$

Эти напряжения создадут на породном контуре ствола напряжения при их двойной концентрации, равные:

$$\Delta\sigma_\theta = \Delta\sigma_{A\Phi} \cdot K_{\text{конц}}, \text{ МПа,}$$

$$\Delta\sigma_\theta = -6,2 \cdot 2,0 = -12,4 \text{ МПа.}$$

На бетонную крепь передаются напряжения, которые рассчитываются по формуле

$$\text{при } E_m = 0,93^n \cdot E_o = 0,62 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma_{\delta(p)} = \Delta\sigma_{\text{ств}} \frac{E_\delta}{E_m}, \text{ МПа,}$$

$$\Delta\sigma_{\delta(p)} = -12,4 \frac{0,2 \cdot 10^5}{0,62 \cdot 10^5} = -4,0 \text{ МПа,}$$

где n – количество рангов геоблоков, $n=2$.

По измерениям напряжений в бетонной крепи шахтных стволов с 2013 по 2016 год, имеющих длину базисов 1600 мм, получено

$$\sigma_{\delta(u)} = \frac{\varepsilon_x + \mu\varepsilon_z}{1 - \mu^2} E_B = -4,4 \text{ МПа,}$$

т.е. измеренные и рассчитанные напряжения равны между собой $\Delta\sigma_{\delta(u)} = \Delta\sigma_{\delta(p)}$, что подтверждает второе научное положение.

По полученным результатам расчетных напряжений в бетонной крепи прогнозируемые напряжения на участках, где были установлены измерительные станции, в крепи ствола могут возникнуть максимальные напряжения. Величины расчетных напряжений близки к нормативной прочности бетона. Вследствие этого одной из основных задач является поиск конструктивных и технологических решений, направленных на повышение устойчивости крепи. Эта задача решается за счет применения упрочняющих видов крепления: анкерованием приконтурного

массива штанговыми или тросовыми анкерами, смолоинъекцией, цементацией и прочими способами повышения сцепления между структурными породными блоками.

Для вновь строящихся шахт проведенные исследования показывают, что применение бетонной крепи для поддержания стволов в условиях экстремальных значений переменных во времени напряжений не обеспечит необходимого запаса прочности, т.е. действующие напряжения в крепи могут превысить нормативную прочность бетона.

Учитывая, что стволы будут работать в сложных условиях, можно рекомендовать тубинговую крепь с тампонажем закрепного пространства цементно-песчаной смесью с последующим упрочнением массива путем цементации, что обеспечит устойчивое состояние ствола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу. В ней дано решение актуальной научной задачи, заключающейся в научном обосновании исходных параметров напряженного состояния массива горных пород для совершенствования метода расчета напряжений в монолитной бетонной крепи, что позволит обеспечить устойчивость шахтных стволов на весь срок эксплуатации, и имеющей важное значение для науки и практики горнорудной промышленности.

Основные научные результаты, практические выводы и рекомендации:

1. К главным геомеханическим факторам, влияющим на эффективность и безопасность горных работ, следует отнести физико-механические свойства массива, а не образца, природные напряжения в массиве горных пород и их концентрацию в приконтурном массиве горных выработок.

2. Предложена новая структура поля напряжений в земной коре, даны параметры переменных во времени напряжений с их хронологической привязкой.

3. Расчет напряженно-деформированного состояния бетонной крепи шахтных стволов необходимо производить с учетом природных напряжений, рассматривая их вариации во времени.

$$\begin{aligned}\sigma_z^n &= -\gamma H + \sigma_{zm} + \sigma_{A\Phi}, \\ \sigma_x^n &= -\lambda\gamma H + \sigma_{xm} + \sigma_{A\Phi}, \\ \sigma_y^n &= -\lambda\gamma H + \sigma_{ym} + \sigma_{A\Phi}.\end{aligned}$$

Необходимо получать зависимость изменения постоянных составляющих с глубиной, находят закономерность изменения переменных напряжений во времени на рассматриваемом месторождении или принимать их как средние по региону, а затем суммировать эти составляющие на требуемой глубине и в нужное время.

$$\begin{aligned}\sigma_{x(2020)}^n &= \sigma_{x(1996)} - \sigma_{A\Phi(1996)} + \sigma_{A\Phi(2020)}, \\ \sigma_{y(2020)}^n &= \sigma_{y(1996)} - \sigma_{A\Phi(1996)} + \sigma_{A\Phi(2020)}.\end{aligned}$$

В связи со сложившейся геомеханической ситуацией весьма важной задачей является продолжение измерения переменных во времени напряжений $\sigma_{A\Phi}$ на подземных рудниках Урала в районе городов Краснотурьинск, Кушва, Нижний Тагил, Березовский, Гай, а также подключение к изучению этого явления рудников запада и востока России и построение графика изменения переменных во времени напряжений до 2020 г. и далее.

4. Представленные уточнения в методы расчета напряжений и выявленные закономерности формирования напряженного состояния в монолитной бетонной крепи вертикальных стволов являются методической основой расчета напряжений в ней на любой глубине в интересующий нас период времени и обоснования путей безопасной эксплуатации горных конструкций.

5. Теоретические и экспериментальные исследования доказывают, что иерархически блочный массив магматических и метаморфических горных пород ведет себя как упругая и изотропная среда и изменения природных напряжений в массиве $\Delta\sigma_{A\Phi}$ на базе 5–7 рангов геоблоков, на контуре ствола на базе 2–3 рангов геоблоков и в бетонной крепи шахтных стволов $\Delta\sigma_b$ подчиняются этому закону.

6. Анкерное упрочнение изменяет картину распределения нормальных и тангенциальных напряжений в бетонной крепи. В результате исследований было установлено, что эффективность анкерного упрочнения системы порода – бетон

зависит от свойств вмещающих пород и крепи. Она возрастает в слабых породах, при уменьшении модуля упругости и увеличении коэффициента Пуассона.

7. В параметрах крепи сразу должно учитываться максимально возможное прогнозируемое напряженное состояние на период работы ствола.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России:

1. Сентябов С. В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов / С. В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 415 – 419.

2. Сентябов С. В. Влияние изменяющихся горизонтальных напряжений в массиве на состояние крепи стволов / А. В. Зубков, С. В. Сентябов, И. В. Бирючев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. – 2014. – № 3(47). – С. 11 – 14.

3. Сентябов С. В. Оценка эффективности комбинированного крепления стволов / С. В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 406 – 412.

4. Сентябов С. В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части Земной коры / А. В. Зубков, К. В. Селин, С. В. Сентябов // Литосфера. – 2015. - № 6. – С. 116 - 129.

Статьи и материалы в прочих изданиях:

5. Sentyabov S. V. Forecast Stability of Mining Excavation and HPS' sDams After 2020 / A. V. Zubkov, S. V. Sentyabov // Eastern European Scientific Journal. –2014. – N 1. – P. 153 – 166.

6. Сентябов С. В. О влиянии изменения горизонтальных напряжений в массиве горных пород на состояние крепи стволов / С. В. Сентябов // Проблемы недропользования [Электронный ресурс] - № 1 : рецензируемый сборник научных статей. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2014. – С. 53 – 58. – Режим доступа: [//trud.igduran.ru](http://trud.igduran.ru)

7. Сентябов С. В. Изменения относительной деформации земной коры во времени / А. В. Зубков, К. В. Селин, И. В. Бирючев, С. В. Сентябов // Геомеханика

в горном деле: докл. Всерос. научно-техн. конф. с междунар. участием 01-03.10.13 / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2014. – С. 45 – 53. – (Исследования выполнены при поддержке программы Президиума РАН № 4 2012–2014).

8. Сентябов С. В. Исследование устойчивости крепи стволов на глубоких горизонтах Гайского рудника / А. В. Зубков, О. Ю. Смирнов, И. В. Бирючев, С. В. Сентябов // Геомеханика в горном деле: докл. Всерос. научно-техн. конф. с междунар. участием 01-03.10.13 / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2014. – С. 133 – 138. – (Исследования выполнены при поддержке программы Президиума РАН № 4 2012-2014 гг.).

9. Sentyabov S. V. Natural cataclysms as a consequence of periodic contraction and expansion of the Earth / A. V. Zubkov, S. V. Sentyabov // Bulletin of mines. – 2014. – N 1. – P. 1 – 6.

10. Сентябов С. В. Изменения относительной деформации земной коры во времени / А. В. Зубков, И. В. Бирючев, К. В. Селин, С. В. Сентябов // Уральский горнопромышленный форум, V: Горное дело. / Союз машиностроителей России, РФФИ, УрО РАН, Институт горного дела УрО РАН. - Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2013. – С. 189 – 190. - (Программа Президиума УрО РАН № 4)

11. Сентябов С. В. Исследование процесса формирования напряжений в бетонной крепи шахтных стволов Гайского ГОКа / С. В. Сентябов // Геомеханика в горном деле: докл. Всерос. научно-техн. конф. с междунар. участием 04– 05.06. 14 / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2014. – С. 115 – 120.

12. Сентябов С. В. Формирование напряжений в бетонной крепи вертикальных стволов / С. В. Сентябов // Проблемы недропользования [Электронный ресурс] - № 1:рецензируемый сб. науч. статей. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН. - 2015. - С. 71 - 78.- Режим доступа: //trud.igduran.ru