



На правах рукописи

**Харисов Тимур Фаритович**

**Обоснование несущей способности крепи вертикальных  
стволов при совмещенной схеме проходки**

Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород  
взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург, 2017

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор

**Боликов Владимир Егорович**

Официальные оппоненты: **Саммаль Андрей Сергеевич** – доктор  
технических наук, профессор кафедры  
механики материалов Тульского  
государственного университета г. Тула;  
**Дик Юрий Абрамович** – кандидат  
технических наук, начальник отдела горной  
науки ОАО «Уралмеханобр», г.  
Екатеринбург.

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

Защита состоится «20» июня 2017 г. в 14:00 часов на заседании  
Диссертационного совета Д 004.010.01 в Федеральном государственном  
бюджетном учреждении науки Институте горного дела Уральского  
отделения Российской академии наук по адресу: 620219 г. Екатеринбург,  
ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
горного дела Уральского отделения Российской академии наук:

<http://diss.igduran.ru/>

Автореферат диссертации разослан «    » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета,

кандидат технических наук



А. А. Панжин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы**

Вертикальные шахтные стволы являются одними из наиболее значимых капитальных горных выработок, которые имеют непосредственный выход на земную поверхность и предназначены для обслуживания подземных горных выработок шахт, а их проходка – одним из самых ответственных, дорогостоящих и трудозатратных этапов строительства рудника. Таким образом проблема обеспечения устойчивости стволов решением которой занимались такие ученые как Н. С. Булычев, Б. З. Амусин, А. Д. Сашурин, В. Е. Боликов, А. В. Зубков, А. С. Саммаль, Н. И. Синкевич, Ю. Г. Феклистов, А. Е. Балек, Н. П. Влох, Б. А. Картозия, В. Н. Плешко, С. В. Борщевский и др. всегда актуальна и имеет большое значение в горнодобывающей промышленности.

Однако глубина освоения месторождений постепенно увеличивается. Рост уровня напряжений в горном массиве с глубиной обостряет проблему обеспечения устойчивости строящихся и эксплуатируемых капитальных горных выработок.

Рассмотренные случаи нарушений целостности крепи строящихся и эксплуатируемых стволов шахт показали, что нарушение рабочего состояния крепи стволов влечет за собой множество негативных последствий, связанных с серьезными затратами на ее восстановление, снижением скорости проходки строящегося ствола, нарушением эффективности работы шахты, а иногда и с полной остановкой работ или консервацией выработок. Применяемые горнодобывающими предприятиями конструктивные меры повышения прочностных характеристик крепи с целью предотвращения дальнейших нарушений на практике оказались крайне дорогостоящими и малоэффективными.

Таким образом, можно сделать вывод, что обеспечение несущей способности крепи вертикальных стволов является актуальной научной и

практической задачей, от результата решения которой во многом зависит эффективность работы горнодобывающих предприятий, а также безопасность в процессе их строительства и эксплуатации.

**Задача диссертационной работы** – выявление закономерностей деформирования вмещающего массива в процессе строительства ствола по совмещенной технологической схеме с обоснованием конструкции крепи и параметров схемы проходки, обеспечивающих устойчивость ствола при его строительстве и эксплуатации.

**Цель работы** – обоснование технологии строительства вертикальных стволов, обеспечивающей несущую способность крепи при совмещенной схеме проходки.

**Научная идея работы** – несущая способность крепи вертикальных стволов, строящихся по совмещенной схеме, обеспечивается предотвращением нарушений крепи, вызванных конвергенцией породных стенок при уходе забоя и воздействием современных геодинамических движений в процессе эксплуатации ствола.

**Объект исследований** – крепь ствола и вмещающий массив горных пород.

**Предмет исследований** – закономерности деформирования вмещающего массива и крепи стволов при совмещенной схеме строительства.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Коэффициент  $\alpha^*$ , отражающий сдерживающее влияние забоя ствола на конвергенцию породных стенок, в условиях неупругого деформирования описывается экспоненциальной зависимостью, согласно которой 95% конвергенции реализуется при удалении забоя на расстояние не менее 6 радиусов;

2. Доля снижения негативного воздействия конвергенции породных стенок при применении опережающей выработки обратно пропорциональна отношению радиуса забоя основной выработки к радиусу забоя опережающей выработки.

**Научная новизна работы:**

– выявлена закономерность деформирования окружающего массива призабойной зоны в условиях неупругого деформирования в процессе строительства вертикальных стволов;

– предложена экспоненциальная функция множителя  $\alpha^*$ , позволяющая оценивать долю не реализовавшихся смещений породных стенок ствола, вызванных уходом забоя, в массиве в условиях неупругого деформирования;

– разработаны методы предотвращения нарушений крепи, вызванных конвергенцией породных стенок при уходе забоя строящегося ствола;

– обоснован выбор керамзитобетона в качестве податливого материала крепи вертикальных стволов, обеспечивающего устойчивость выработки в процессе ее строительства и эксплуатации;

– обоснованы рациональные параметры опережающей разгрузочной выработки, снижающей воздействие конвергенции породных стенок на крепь ствола.

**Практическая значимость работы.** На основании выявленных закономерностей деформирования окружающего массива в призабойной зоне ствола разработаны методы предотвращения нарушений крепи, которые направлены на уравнивание системы крепь - массив и обеспечение несущей способности крепи вертикальных шахтных стволов в процессе их строительства по совмещенной технологической схеме и эксплуатации.

**Методы исследований.** При выполнении исследований использовалась комплексная методика, включающая в себя анализ обобщенных научной информации и практического опыта по изучаемому вопросу, натурные измерения конвергенции породных стенок и напряжений в крепи стволов методом больших и малых деформационных баз, математическую обработку полученных данных и выявление экспоненциальных зависимостей.

**Достоверность и обоснованность научных положений** подтверждается результатами натурных исследований фактического напряженно-деформированного состояния системы крепь-массив, а также анализом результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород, находящегося в условиях упругого и неупругого деформирования.

**Апробация диссертации.** Материалы и основные положения работы доложены и одобрены на российских и международных конференциях: V – IX Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования» (г. Екатеринбург, 2012 – 2016 гг.); V – VIII Уральский горнопромышленный форум «Геомеханика в горном деле» (г. Екатеринбург, 2013 – 2016 гг.); IV Международная конференция «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений» (г. Екатеринбург, УГГУ, 2013 г.). По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач исследований; выполнении экспериментальных натурных наблюдений с применением больших и малых деформационных баз и математической обработке результатов измерений; разработке трехмерных конечно-элементных геомеханических моделей; создании и обосновании методик по обеспечению устойчивости выработок в блочном массиве с

использованием численного моделирования; обосновании рациональных технологий, типов крепи и их параметров при строительстве стволов в массиве, находящемся в условиях неупругого деформирования.

**Реализация результатов работы.** Научные и практические результаты исследований были рекомендованы к использованию и испытаны при строительстве подземных горных выработок шахты «ДНК» Донского горно-обогатительного комбината АО «Казхром» ТОО.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 120 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 16 таблиц, список литературы из 104 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н. В. Е. Боликову за высокопрофессиональное руководство на всех этапах работы над диссертацией, д.т.н. А. Д. Сашурину (ИГД УрО РАН) за постоянное внимание к научной деятельности и консультации при выполнении работы. Автор благодарит А. Е. Балека, В. А. Антонова и Т. Ш. Далатказина за содействие, поддержку и консультации по вопросам диссертации. Автор благодарит коллектив отдела геомеханики ИГД УрО РАН за понимание и поддержку.

### **Основное содержание работы**

**Введение** посвящено актуальности, цели, практической значимости и научной новизне работы.

**Первая глава** диссертации посвящена постановке проблемы, обоснованию актуальности задачи и обзору современных методов обеспечения устойчивости стволов при различных технологических схемах проходки. Анализ случившихся аварий на стволах шахт России и Казахстана показал, что основной причиной нарушения крепи является конвергенция породных стенок в призабойной зоне, вызванная уходом забоя в процессе строительства ствола, а также изменением напряженно-деформированного состояния вмещающего массива, вызванным

современной геодинамикой и формированием вторичного поля напряжений при ведении очистных работ.

В настоящее время используются три основные технологические схемы строительства ствола: последовательная, совмещенная и параллельная. Самой распространенной схемой в России является совмещенная, так как она обеспечивает высокую скорость проходки при своей относительной технологической и организационной простоте. Однако у совмещенной схемы есть существенный недостаток. Он заключается в том, что постоянная крепь возводится практически вплотную к забою, тем самым она подвергается действию конвергенции породных стенок, вызванной уходом забоя ствола, что влечет за собой рост напряжений в крепи и ее нарушение.

Для предотвращения нарушений крепи наиболее распространены конструктивные способы повышения прочности и несущей способности крепи. Данные способы являются крайне дорогостоящими и, как показывает практика, не всегда эффективны. Таким образом, для обеспечения несущей способности крепи вертикальных стволов при совмещенной технологической схеме проходки необходимо нейтрализовать негативное воздействие конвергенции. С этой целью следует провести натурные исследования напряженно-деформированного состояния системы крепь - массив в призабойной зоне ствола в процессе проходки, выявить закономерности деформирования вмещающего массива и крепи ствола вблизи забоя выработки, исследовать выявленные закономерности, разработать организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасное строительство и эксплуатацию стволов.

Во **второй главе** представлена геомеханическая модель напряженно-деформированного состояния системы массив – крепь ствола. Выполнен анализ горно-геологических условий и физико-механических свойств пород горных массивов, характерных для рудных месторождений России и



Казахстана. Реальный горный массив скальных пород представляет собой сложную дискретную иерархически блочную среду. Учитывать всю совокупность неоднородностей горного массива невозможно. Для выявления общих закономерностей деформирования хаотично-трещиноватого, иерархически блочного массива скальных пород, как правило, используют квазиоднородную, квазиупругую модель среды с усредненными параметрами массива. Однако при решении конкретных задач не стоит забывать о неоднородности реального горного массива скальных пород и о наличии в нем локальных отклонений от общих закономерностей, которые оказывают значительное влияние на деформирование вмещающего массива и несущей способности возводимой крепи.

Дискретность массива характеризуется неоднородностью его напряженно-деформированного состояния. Поле напряжений, действующее в массиве, характеризуется наличием гравитационной и тектонической составляющей. Геодинамическая активность иерархически блочного горного массива и уровень неоднородности его напряженно-деформированного состояния определяется процессами деструкции и самоорганизации. Для их реализации необходимо изменение напряженно-деформированного состояния, источником которого в естественных условиях выступают современные геодинамические движения. В процессе ведения техногенной деятельности, например, при строительстве подземных горных выработок или выемке рудного тела, добавляются техногенные геомеханические движения, вызванные нарушением естественного и формированием вторичного напряженно-деформированного состояния, сопровождающиеся деформированием окружающего массива.

При строительстве вертикальных стволов зона деформирования охватывает массив впереди забоя на расстоянии  $L_B = 2R$  с постепенным

ростом деформаций при приближении к забою и удалении от него в глубь выработки, реализуясь в виде радиальных смещений породных стенок (конвергенции). Крезь, установленная в зоне влияния забоя при проходке ствола по совмещенной технологической схеме, подвергается действию конвергенции, что приводит к росту напряжений в крепи и ее нарушению. Защитив постоянную крепь в призабойной зоне от конвергенции породных стенок ствола, вызванной уходом забоя, можно добиться минимального уровня действующих напряжений в крепи ствола (рис. 1).

Учет конвергенции, вызванной уходом забоя, решается введением корректирующего понижающего множителя  $\alpha^*$ , выражающего долю не реализовавшихся деформаций, вызванных уходом забоя выработки, и выражается следующей формулой:

$$U = U_{\infty}(1 - \alpha^*), \quad (1)$$

где 
$$\alpha^* = A \exp(\beta L/R). \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения  $\alpha^*$  в зависимости от отношения отставания крепи от забоя к радиусу ствола  $L/R$

$L/R$	Значения множителя $\alpha^*$			
	Баудендистел (Baudendistel)	Б. З. Амусин	Н. С. Булычев	ИГД УрО РАН
	$\alpha^* = 0.64 \exp(-1.75L/R)$	$\alpha^* = \exp(-1.3L/R)$	$\alpha^* = 0.6 \exp(-1.38L/R)$	$\alpha^* = 0.55 \exp(-1.75L/R)$
<b>0</b>	0,72	1,0	0,60	0,55
<b>0,25</b>	0,41	0,72	0,42	0,36
<b>0,5</b>	0,23	0,52	0,30	0,23
<b>1,0</b>	0,11	0,27	0,15	0,10
<b>2,0</b>	0,02	0,07	0,04	0,02
<b>3,0</b>	0,003	0,03	0,01	0,003

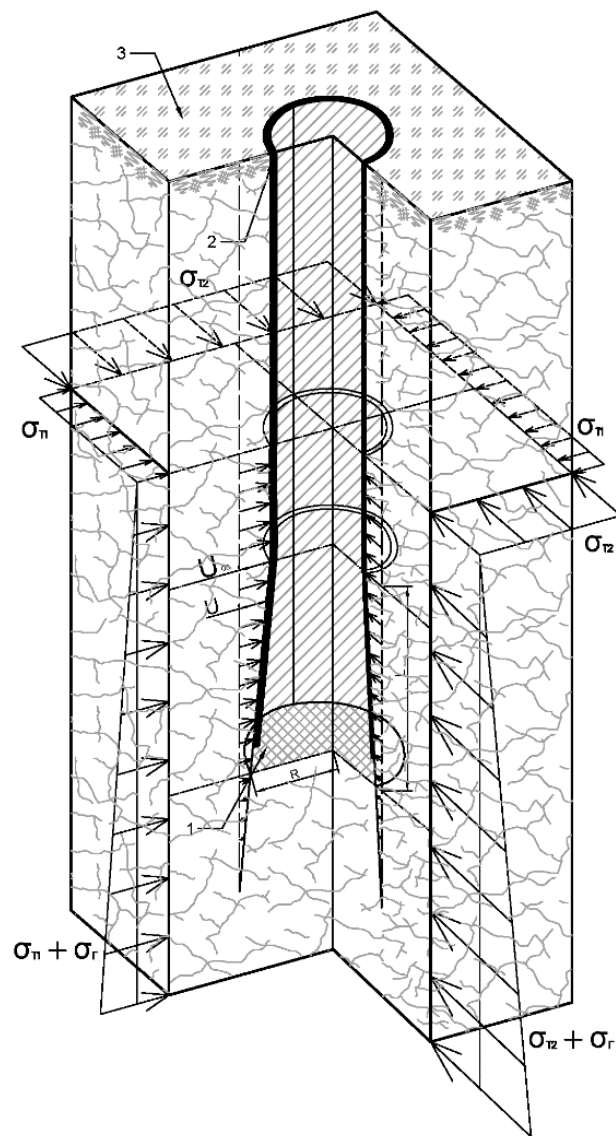


Рисунок 1 – Схема смещений породных стенок выработки в призабойной части ствола: 1 – забой ствола, 2 – постоянная крепь ствола, 3 – земная поверхность,  $\sigma_T$  – тектонические напряжения,  $\sigma_G$  – гравитационные напряжения,  $R$  – радиус ствола,  $U$  – величина деформаций породных стенок ствола,  $U_\infty$  – величина полных деформаций породных стенок

Исследования конвергенции породных стенок в призабойной зоне выработки были выполнены такими учеными, как М. Баудендистел, Б. З. Амусин, Н. С. Булычев, а также сотрудниками Института горного дела УрО РАН, в том числе А. В. Зубковым, Ю. Г. Феклистовым и др. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Исходя из результатов исследований предшественников, конвергенция породных стенок в призабойной зоне выработок, вызванная

уходом забоя, полностью реализуется на расстоянии, равном  $L = 2R \div 3R$  до забоя выработки (табл. 1). Все исследования и расчеты  $\alpha^*$ , выполненные ранее, были произведены в условиях упругой модели массива с действующими гравитационными и тектоническими напряжениями, не превышающими его предел прочности. Однако на практике, в том числе при проходке стволов на больших глубинах, массивы характеризуются повышенным полем напряжений, уровень которого превышает предел прочности массива, в результате чего массив переходит в состояние неупругого деформирования, сопровождающееся взаимными подвижками структурных блоков. В данном случае массив деформируется как дискретная блочная модель, в которой выявленные предшественниками закономерности  $\alpha^*$  в условиях упругой модели массива могут существенно измениться.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям напряженно-деформированного состояния окружающего массива и крепи стволов при совмещенной технологической схеме проходки.

Объектом исследования выступает горный массив Кемпирсайского хромитового месторождения, который сложен ультраосновными породами силурийского возраста, представленными серпентинизированными дунитами, перидотитами, пироксеновыми дунитами, предел прочности на сжатие которых составляет 25 – 108 МПа, а модуль упругости 25 – 70 ГПа.

Исследуемый массив был ранее подробно изучен предшественниками (В. Е. Боликов, А. Д. Сашурин, А. В. Зубков, А. Е. Балек и др.) и был условно разделен на два участка (рис. 2):

– на глубине менее 500 м напряжения в массиве не превышают его предел прочности, и он ведет себя как однородная упругая среда;

– на глубине более 500 м тектонические напряжения в массиве превышают его предел прочности, происходят подвижки отдельных породных блоков, массив деформируется как неупругая, дискретная среда.

Данная дифференциация подтверждается мониторингом действующих напряжений в крепи четырех стволов шахты «ДНК».

С помощью деформационного метода на больших базах (3-8 м), позволяющего вести измерения смещений контура породных стенок и крепи во времени, выполнено исследование изменения напряженно-деформированного состояния массива при проходке ствола «Клетевой» шахты «ДНК» Дон ГОКа.

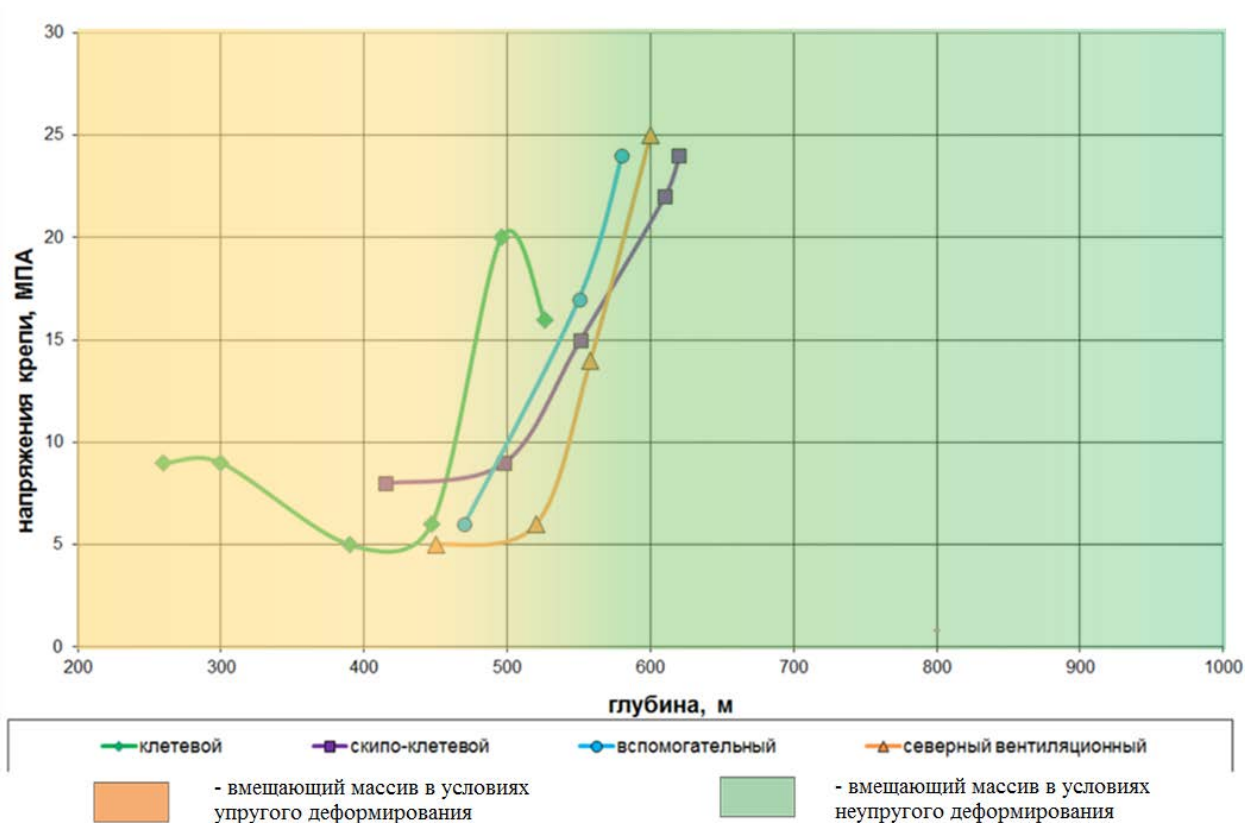


Рисунок 2 – Экспериментальные измерения зависимости напряжений в крепи от глубины створов шахты «ДНК» Дон ГОКа на разных глубинах

Измерения произведены на интервале глубин 800 – 830 м в массиве, в условиях неупругого деформирования. Измерительные станции были установлены в тубинговых кольцах № 348, 350, 354, 357, 360, 363, 365 в

четырёх диаметрально противоположных направлениях между тубингами 1-9, 3-11, 5-13, 7-15 (рис. 3).

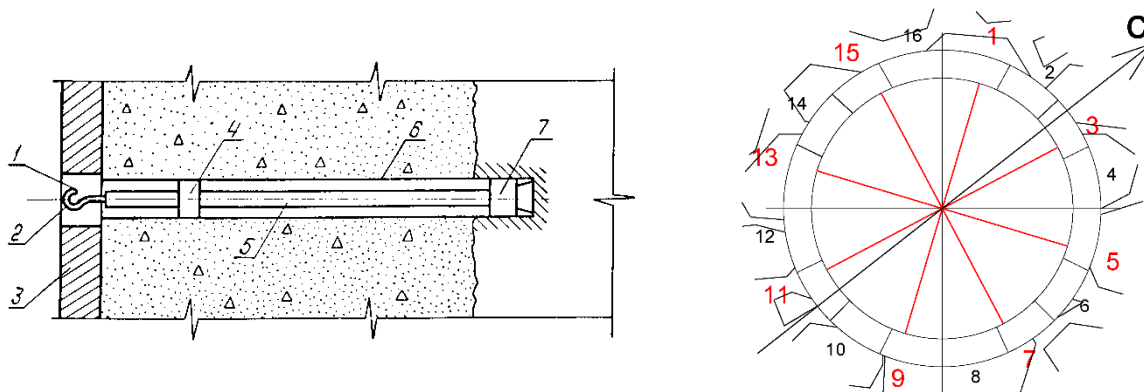


Рисунок 3 – Схема измерительной станции деформационного метода на больших базах в стволе «Клетевой»: 1 – тампонажное отверстие, 2 – крюк, 3 – спинка тубинга, 4 – направляющая втулка, 5 – штанга, 6 – шпур диаметром 42 мм, 7 – цанговый зажим

С помощью компьютерной программы построения функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии «Тренды ФСП-1» выполнена статистическая обработка экспериментальных данных, в результате чего получена следующая математическая модель зависимости (рис. 4):

$$U = 24(1 - \exp(-0.48L/R)), \quad (3)$$

где  $U$  – величина смещений породных стенок, мм;

$L$  – расстояние от измерительной станции до забоя, м;

$R$  – радиус выработки вчерне, м.

Коэффициент детерминации полученной зависимости равен  $R^2 = 0.80$ .

На рисунке 4 представлен тренд изменения значений  $U$  – смещений породных стенок ствола при увеличении расстояния до забоя. График выполаживается при  $U_\infty = 24$  мм, что свидетельствует о полной реализации конвергенции, вызванной уходом забоя ствола, на расстоянии, равном 6 – 7 радиусам выработки вчерне.

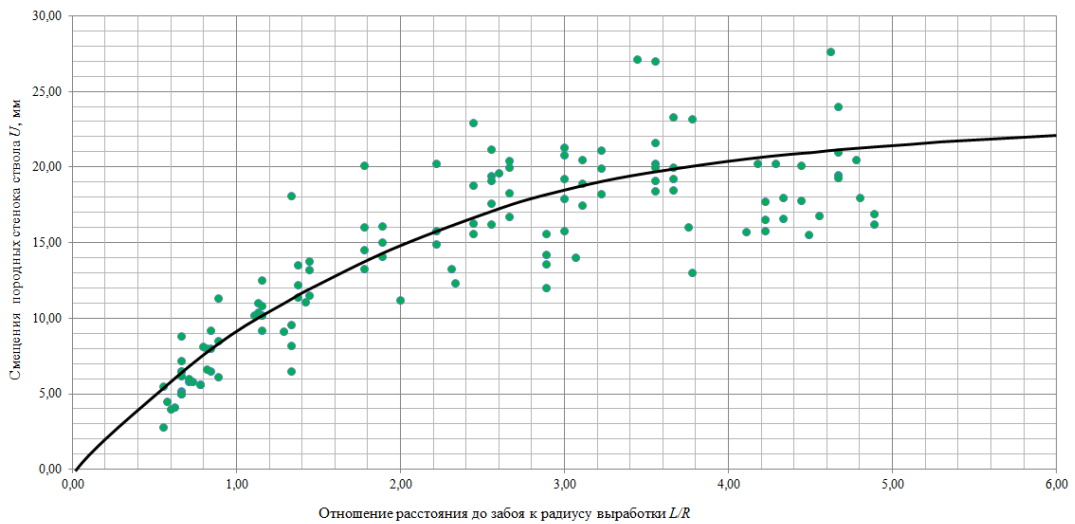


Рисунок 4 – Зависимость конвергенции породных стенок ствола  $U$  от отношения расстояния до забоя ствола «Клетевой» ш. «ДНК» к его радиусу  $L/R$

Из полученной математической модели (3) выделена экспоненциальная зависимость коэффициента  $\alpha^*$  от отношения расстояния до забоя к радиусу выработки вчерне, которая имеет вид:

$$\alpha^* = \exp(-0.48L/R). \quad (4)$$

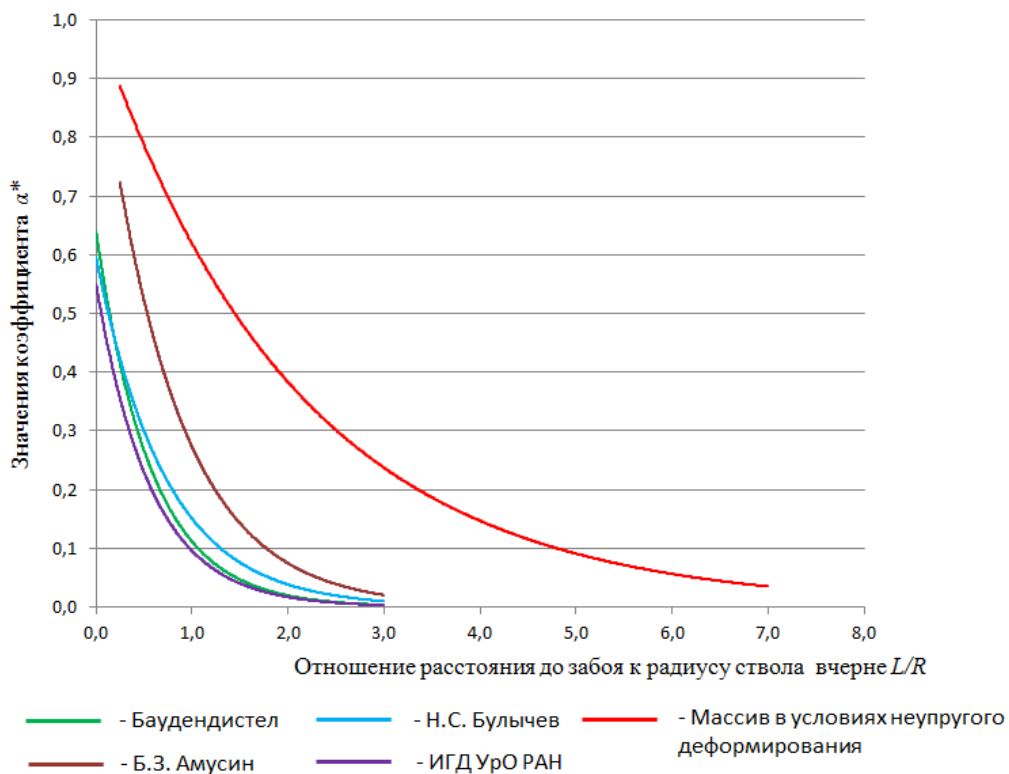


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента  $\alpha^*$  от отношения расстояния до забоя ствола к радиусу ствола  $L/R$ , определенная разными авторами

Полученные значения коэффициента  $\alpha^*$  в условиях неупругого деформирования вмещающего массива существенно отличаются от значений, полученных учеными ранее (рис. 5).

Из результатов натурных исследований и математической обработки полученных данных вытекает **первое защищаемое положение**: коэффициент  $\alpha^*$ , отражающий сдерживающее влияние забоя ствола на конвергенцию породных стенок, в условиях неупругого деформирования описывается экспоненциальной зависимостью, согласно которой 95% конвергенции реализуется при удалении забоя на расстояние не менее 6 радиусов.

В **четвертой главе** представлены разработанные мероприятия по предотвращению нарушений крепи стволов при строительстве по совмещенной технологической схеме.

*Метод опережающей разгрузки массива горных пород* заключается в создании опережающего разгрузочного пространства, которое позволяет реализовать конвергенцию породных стенок в призабойной зоне ствола до возведения крепи. Сущность метода заключается в том, что при проходке ствола буровзрывным способом длина центральных шпуров забоя, количество которых определяется размерами опережающей выработки, составляет  $L_o = 6R_o \div 7R_o$  радиусов опережающей выработки. Длина внешних шпуров забоя определяется паспортом буровзрывных работ, а именно принятой глубиной заходки  $L_{зах} = 2 \div 5$  м. Затем производится зарядание и взрывание шпуров, в результате чего в центре ствола впереди основного проходческого забоя образуется опережающая разгрузочная выработка, которая инициирует реализацию конвергенции породных стенок ствола в призабойной зоне (рис. 6).



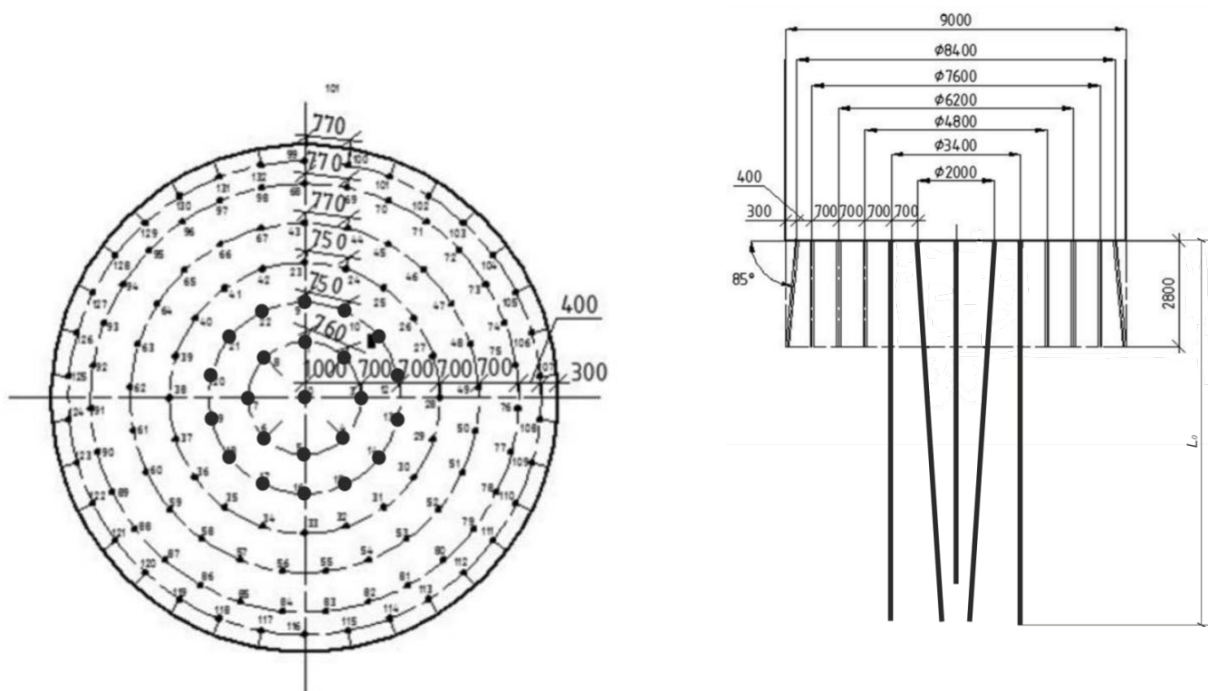


Рисунок 6 – Схема проходки ствола с применением метода опережающей разгрузки окружающего массива горных пород

С помощью компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов определено влияние опережающей выработки на напряженно-деформированное состояние массива.

В массиве с заданными граничными условиями смоделирована одиночная вертикальная выработка (вертикальный шахтный ствол) с последующим созданием в существующей модели перед забоем четырех различных вариантов выработки радиусами  $R_o = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5$  м и глубиной  $H_o = 20$  м (рис. 7). В созданной модели с вертикальным стволом до разгрузки величина полных смещений составляет  $U_\infty = 0,039$  м. При радиусе опережающей выработки  $R_o = 2,0$  м величина полных смещений, действующих на крепь ствола в призабойной зоне, снизится до  $U_\infty = 0,031$  м, при  $R_o = 2,5$  м до  $U_\infty = 0,028$  м, при  $R_o = 3,0$  м до  $U_\infty = 0,024$  м, а при  $R_o = 3,5$  м до  $U_\infty = 0,018$  м (рис. 8).

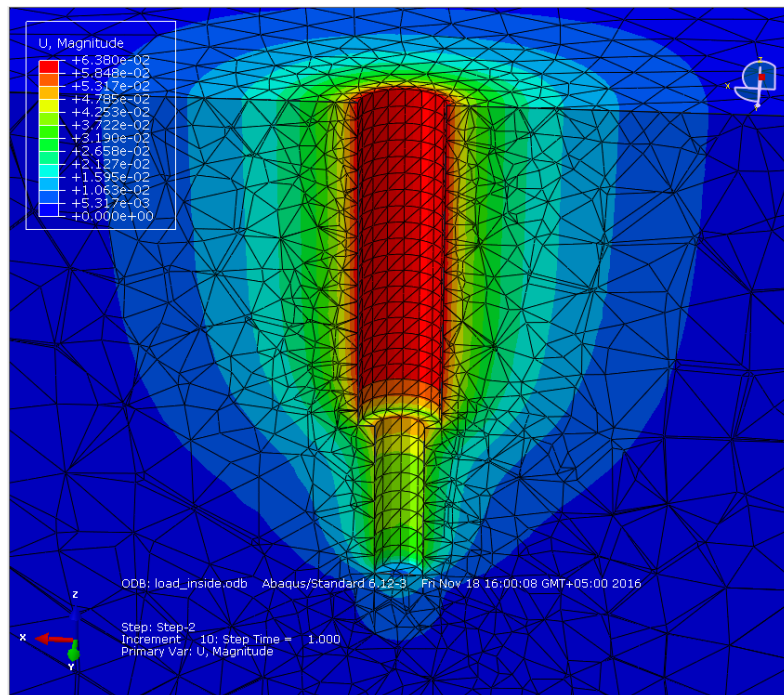


Рисунок 7 – Модель деформирования однородной упругой среды при строительстве вертикального ствола с опережающей разгрузочной выработкой

Исходя из полученных данных, составлена экспоненциальная зависимость, отражающая зависимость изменения процента конвергенции породных стенок ствола, реализуемого разгрузочной выработкой, от отношения радиуса ствола к радиусу опережающей выработки  $R/R_o$ , которая описывается формулой  $\Delta U = 96 - 32 \frac{R}{R_o}$  при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0.94$  (рис. 9).

Необходимая глубина опережающей выработки, позволяющая выполнить разгрузку призабойного массива до возведения постоянной крепи должна составлять не менее  $2R \div 3R$ . В дискретном блочном массиве, находящемся в условиях неупругого деформирования данная глубина должна составлять не менее  $6R \div 7R$ .

Выполненное моделирование доказало эффективность метода предотвращения нарушений крепи путем опережающей разгрузки массива, из чего вытекает **второе защищаемое положение:** доля снижения негативного воздействия конвергенции породных стенок при применении

опережающей выработки обратно пропорциональна отношению радиуса забоя основной выработки к радиусу забоя опережающей выработки.

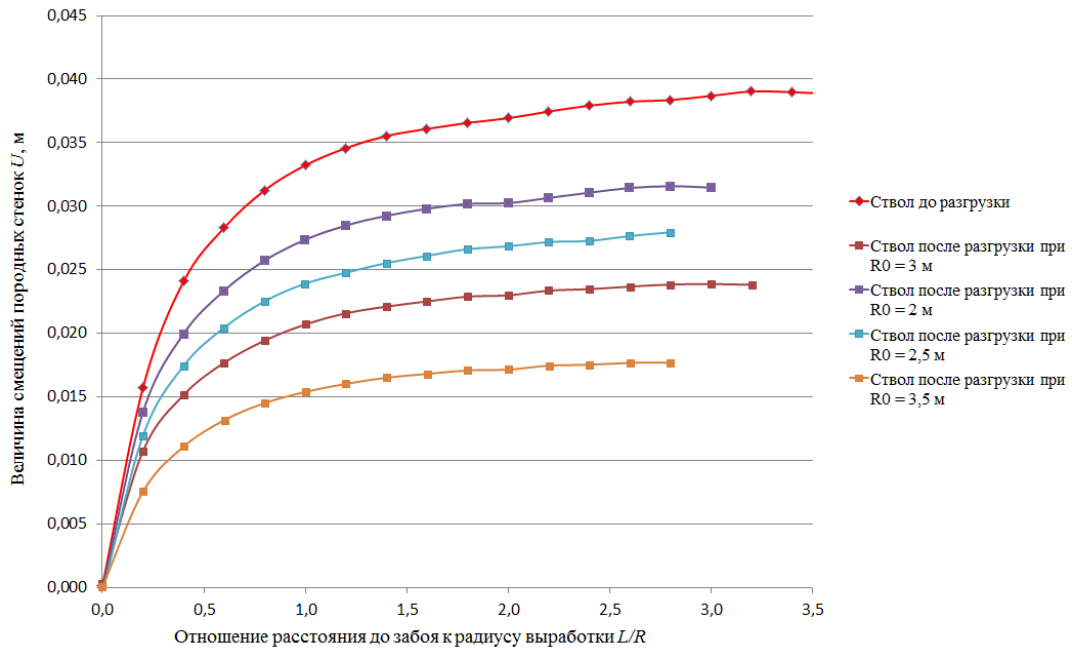


Рисунок 8 – Конвергенция породных стенок ствола при моделировании опережающей разгрузочной выработки различных радиусов

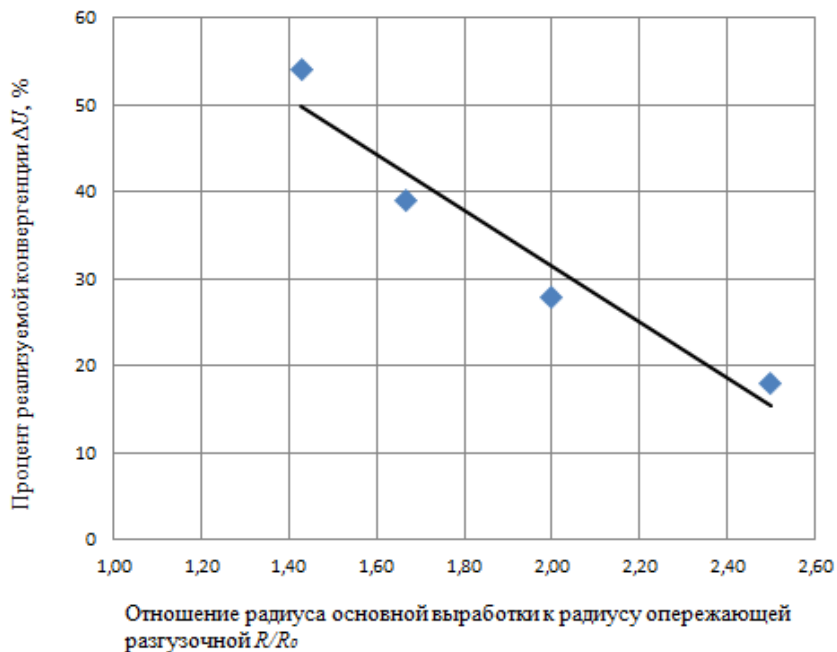


Рисунок 9 – Доля реализуемых смещений породных стенок ствола при строительстве опережающей разгрузочной выработки

*Метод предотвращения нарушений крепи путем увеличения ее податливости* направлен на защиту крепи от воздействия деформаций

массива, вызванных изменением его напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации ствола.

Предложенный метод предусматривает использование керамзитобетона в качестве крепи и тампонажного раствора при строительстве стволов. Сотрудниками Пензенского университета были выполнены исследования физико-механических свойств керамзитобетона в разных средах, которые показали, что предел прочности бетона В25 и керамзитобетона одинаковы и составляют около 32 МПа, при этом средний модуль упругости керамзитобетона составляет 18 000 МПа, что на 40% меньше, чем у бетона класса В25 (рис. 10). Это объясняется наличием пустот в керамзитобетоне, смыкание которых обеспечивает податливость и, соответственно, более низкий модуль упругости. При этом минеральный скелет сохраняет прочностные характеристики материала. Податливая крепь в затюбинговом пространстве в виде керамзитобетона способна принимать на себя смещения породных стенок выработки, вызванные уходом забоя ствола, а также геодинамическими движениями в массиве горных пород под влиянием вторичного поля напряжений.

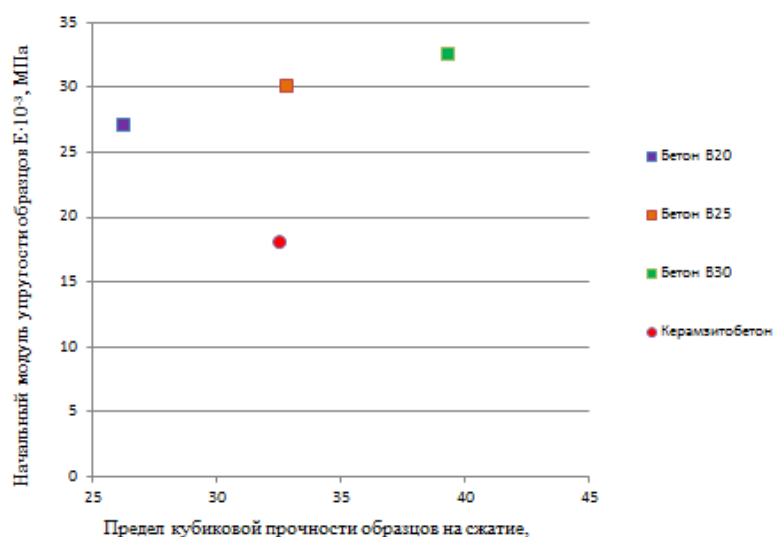


Рисунок 10 – Предел прочности и модуль упругости керамзитобетона и бетона классов В20 – В30

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором экспериментальных и теоретических исследований решена актуальная научно-техническая задача: выявление закономерностей деформирования вмещающего массива в процессе строительства ствола по совмещенной технологической схеме с обоснованием конструкции крепи и параметров схемы проходки, обеспечивающих устойчивость ствола при его строительстве и эксплуатации.

### Основные результаты выполненных исследований:

1. Выявлена закономерность деформирования окружающего горного массива в призабойной зоне в процессе ухода забоя при строительстве вертикальных шахтных стволов по совмещенной технологической схеме в массиве в условиях неупругого деформирования.

2. Получена экспоненциальная функция множителя  $\alpha^*$ , позволяющая оценивать долю не реализовавшихся деформаций, вызванных уходом забоя ствола в массиве, находящемся в условиях неупругого деформирования:  $\alpha^* = \exp(-0.48L / R)$ .

3. Разработаны методы предотвращения нарушений крепи, вызванных конвергенцией породных стенок в призабойной зоне в процессе ухода забоя строящегося ствола, а также воздействием современных геодинамических движений в процессе эксплуатации ствола.

4. Построена объемная конечно-элементная модель упругого однородного массива, вмещающего вертикальную одиночную выработку, позволяющая оценить влияние опережающей разгрузочной выработки на конвергенцию породных стенок призабойной зоны основной выработки.

5. Получена зависимость снижения деформаций призабойного массива от радиуса опережающей выработки, из которой следует, что доля снижения негативного воздействия конвергенции породных стенок при применении опережающей выработки обратно пропорциональна отношению радиуса забоя основной выработки к радиусу забоя опережающей выработки и выражается следующей формулой:

$$\Delta U = 96 - 32 \frac{R}{R_0}.$$

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:**

1) Харисов Т. Ф. Напряженно-деформированное состояние бетонной крепи при строительстве вертикальных стволов / В. Е. Боликов, Т. Ф. Харисов, И. Л. Озорнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 11. - С. 77 - 86.

2) Харисов Т. Ф. Формирование напряжений в крепи при строительстве вертикальных стволов в тектонически напряженном горном массиве / И. Л. Озорнин, Т. Ф. Харисов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2013. - № 6. - С. 60 - 67.

3) Харисов Т. Ф. Исследование деформаций горных пород в процессе проходки вертикального ствола / Т. Ф. Харисов, В. А. Антонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 3. - С. 146 - 150.

4) Харисов Т. Ф. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты «им. С. М. Кирова» Турьинского медного рудника / Т. Ф. Харисов, А. Л. Замятин, А. С. Ведерников // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2016. - № 3. - С. 350 - 357.

5) Kharisov T. F. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins / A. D. Sashurin, A. A. Panzhin, T. F. Kharisov, D. Yu. Knyazev // Eurasian mining. - 2016. - № 2.

**Статьи, опубликованные в научных сборниках, журналах и материалах конференций:**

1) Харисов Т. Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния крепи при строительстве вертикальных стволов в тектонически напряженном горном массиве / Харисов Т. Ф., Озорнин И. Л. // Сборник научных материалов: Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике. - 2013. - С. 256-260.

2) Харисов Т. Ф. Усовершенствованная технологическая схема проходки сопряжений ствола с горизонтом в массивах со сложными горно-геологическими условиями / В. Е. Боликов, И. Л. Озорнин, Т. Ф. Харисов // Сборник научных материалов: Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений. - 2013. - С. 116-121.

3) Харисов Т. Ф. Обеспечение устойчивости крепи в процессе строительства вертикальных стволов / Т. Ф. Харисов, В. А. Антонов // Проблемы недропользования. - 2014. № 1. - С. 65-69.

4) Харисов Т. Ф. Особенности ликвидации ствола шахты «им. С.М. Кирова» Турьинского медного рудника / Т. Ф. Харисов, А. Л. Замятин, А. С. Ведерников // Проблемы недропользования. - 2015. - № 2 (5). - С. 19-24.

5) Харисов Т. Ф. Обоснования эффективной технологии строительства сопряжений шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях / Т. Ф. Харисов, И. Л. Озорнин // Проблемы недропользования. - 2015. - № 1 (4). - С. 84-90.

6) Харисов Т. Ф. Изучение состояния промплощадки и ствола шахты инженерно-геофизическими методами / А. Л. Замятин, Т. Ф. Харисов // Сборник научных материалов: Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике. - 2015. - С. 144-148.