

**НГУЕН ВИЕТ ДИНЬ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНЫХ  
КРЕПЕЙ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ  
ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МАССИВОМ ВО ВРЕМЕНИ**

Специальности:

- 25.00.22 - «Геотехнология» (подземная, открытая и строительная),
- 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2015

Работа выполнена в ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») на кафедре «Строительство подземных сооружений и горных предприятий»

Научный руководитель: **Франкевич Геннадий Степанович**,  
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Хямяляйнен Вениамин Анатольевич**,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева» (КузГТУ), заведующий кафедрой теоретической и геотехнической механики;

**Карасев Максим Анатольевич**,  
кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», доцент кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений.

Ведущая организация: ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», Кемеровский научный центр СО РАН

Защита диссертации состоится « 21 » января 2016 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д-212.132.16 на базе НИТУ «МИСиС» по адресу: 119991 Москва, ГСП-1, Ленинский пр., д.6, стр.2, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» и на сайте НИТУ «МИСиС» ([www.misis.ru](http://www.misis.ru)).

Автореферат разослан «    » декабря 2015 г.

Учёный секретарь диссертационного совета  
д.т.н., профессор

Вознесенский А.С.

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность работы.** В связи с высокими темпами развития народного хозяйства республики Вьетнам (СРВ) за последние десятилетия (рост ВВП в год составляет 6-7%) потребность в угле постоянно растет. Угольная промышленность обеспечивает углем для коксования бурно развивающуюся металлургическую промышленность, а также отмечается высокий спрос на энергетические угли со стороны Вьетнамских предприятий энергетики и жилищно-коммунального хозяйства, что позволило угольным компаниям СРВ значительно нарастить объем добычи угля. По перспективному плану развития угольной промышленности годовую добычу угля в стране предусматривается довести до 90 млн.тонн угля в 2025 г., в том числе 85-90% подземным способом.

Геологические запасы каменных углей и антрацитов СРВ составляют около 20 млрд.т. Месторождение Хечам находится на северо-востоке Вьетнама и представлено угольными пластами различной мощности. Глубина разработки составляет 200 м с перспективой увеличения до 400 м. Вмещающие породы месторождения Хечам представлены крепкими песчаниками, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками, аргиллитами.

Основными видами крепи капитальных горных выработок (до 90%) являются крепи из специального взаимозаменяемого профиля (СВП). Однако в таких условиях вполне успешно могут применяться анкерные крепи. В настоящее время для проектирования и применения анкерных крепей, а также комбинированных крепей в сочетании с анкерами во Вьетнаме отсутствует нормативная база, позволяющая на стадии проектирования определять конструкции и параметры анкеров, как в обычных условиях, так и в условиях изменяющихся во времени свойств горных пород, обеспечивающих эксплуатационную надежность горных выработок с минимальными затратами.

Таким образом, обоснование параметров анкерных крепей капитальных горных выработок на основе установления закономерностей

формирования зон равновесного состояния горных пород вокруг выработок во времени, позволяющих обеспечить их эксплуатационную надежность при снижении материальных и трудовых затрат, что является актуальной задачей для угольной промышленности Вьетнама.

**Цель работы** состоит в обосновании параметров анкерных крепей при креплении капитальных горных выработок на основе установления закономерностей деформирования системы «крепь-массив» во времени для обеспечения эксплуатационной надежности горных выработок при минимальных материальных затратах на их крепление.

**Идея работы** заключается в учете фактора времени изменения прочностных свойства горных пород, глубины заложения горных выработок, конструктивных характеристик крепей, размеров поперечного сечения выработок, влияющих на выбор типов и конструктивных параметров анкерных крепей в горно-геологических условиях месторождения Хечам.

**Методы исследования.** При выполнении работы использован комплексный метод исследований, включающий лабораторные методы, методы математической статистики и теории вероятностей, корреляционный и регрессионный анализ, экспериментальные натурные исследования, современные методы компьютерного моделирования породного массива с учетом влияния горно-геологических факторов.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

- установлено, что с учетом фактора времени первоначальная прочность горных пород в течение 15-30 суток уменьшается на 40-50%, а смещения горных пород незакрепленной горной выработки возрастают на 77-80%;

- на контуре выработки, закрепленной анкерной крепью, при формировании области равновесного состояния нормальные тангенциальные напряжения массива горных пород составляет  $0,6-0,65\gamma H$ , на расстоянии  $1,0-1,2\Gamma_0$  от контура выработки они достигают максимального значения равного  $1,3\gamma H$ , а на расстоянии  $2,8-4,5\Gamma_0$  полностью затухают;

- установлено, что в связи с изменяющимися во времени размерами зон концентрации напряжений в массиве горных пород, глубины заложения и размеров выработки, длина анкеров составляет от 1,9 м до 3,1 м, причем их установка может осуществляться в несколько этапов в зависимости от интенсивности снижения прочности и смещений горных пород.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждаются:**

- корректной постановкой задач и использованием апробированных методов численного моделирования;

- значительным объемом лабораторных экспериментальных исследований, а также натурных исследований по определению смещений контура выработок на 5 замерных станциях;

- удовлетворительной сходимостью аналитических результатов исследований с натурными наблюдениями (расхождение не более 15%).

**Научная новизна работы** состоит в установлении закономерностей влияния горно-геологических и горнотехнических факторов (изменения прочности горных пород во времени, конструктивных характеристик анкерных крепей, глубины заложения выработок) на напряженно-деформированное состояние системы «крепь-массив»; построении функции величины зон равновесного состояния массива в зависимости от основных исследуемых параметров; построении функции прогнозирования ожидаемых смещений системы «крепь-массив» вокруг выработок, позволяющих определить конструктивно-технологические параметры анкерных крепей горных выработок в условиях месторождения Хечам.

**Научное значение работы** состоит в получении (на основе лабораторных и аналитических исследований) зависимостей по определению параметров зон равновесного состояния массива, окружающего выработки, с учетом снижения прочностных свойств горных пород во времени.

**Практическая значимость исследований** заключается в разработке методики по выбору конструктивных параметров анкерных крепей горных выработок в геомеханических условиях месторождения Хечам, позволяющих обеспечить эксплуатационную надежность горных выработок при сокращении материальных и трудовых затрат.

**Реализация результатов работы.** Разработанные рекомендации по выбору параметров анкерных крепей применяются при проектировании горных выработок на шахтах месторождения Хечам.

**Апробация работы.** Основные положения докладывались на международном научном симпозиуме «Неделя горняка - 2013», обсуждались на кафедре СПСиГП в 2013 - 2015 гг.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них 2 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России.

**Объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 93 наименований, содержит 36 таблиц, 71 рисунок.

Автор выражает благодарность научному руководителю докт.техн.наук, проф. Г.С.Франкевичу и проф., докт.техн.наук Б.А.Картозия за ценные научные консультации и замечания при выполнении работы. Автор также признателен заведующему кафедрой проф., докт. техн. наук А.В.Корчаку и всем преподавателям кафедры СПСиГП Горного института НИТУ «МИСиС», работникам проектных и производственных организаций за оказанную помощь при выполнении отдельных исследований.

### **Основное содержание работы**

В первой главе диссертации проведен анализ условий строительства горных выработок в горно-геологических условиях месторождения Хечам и Российского опыта крепления горных выработок анкерными крепями. Комплексные исследования по совершенствованию технологии проведения и поддержания капитальных горных выработок на шахтах Российской Федерации, особенно в последние 10-15 лет, проведены учеными и

работниками горнодобывающих предприятий (МГГУ, ВНИМИ, институт Угля и углекислоты СО РАН (Кузнецкшахтострой, УК «Мечел», ООО РАНК-2, ОАО СУЭК, КузГТУ).

Существенный вклад в решение проблемы проектирования и расчета крепи горных выработок внесли российские ученые: В.А.Атрушкевич, В.Е.Ануфриев, И.В.Баклашов, Ф.А.Белаенко, Н.С.Булычев, А.В.Быков, В.Т.Глушко, Е.Б.Дружко, Ж.С.Ержанов, Л.М.Ерофеев, Ю.З.Заславский, В.Н.Каретников, В.Ю.Изаксон, Б.А.Картозия, А.В.Корчак, Г.А.Катков, М.В.Курленя, Ю.М.Либерман, В.М.Мостков, Л.Н.Насонов, В.Л.Попов, В.А.Пшеничный, М.М.Протоdjяконов, А.Г.Протосеня, А.С.Саммаль, В.И.Смирнов, Н.Н.Фотиева, Г.С.Франкевич, В.А.Хямяляйнен, И.Л.Черняк, А.П.Широков, Н.В.Черданцев и др.

На основании анализа условий строительства горных выработок и состояния крепей в геомеханических условиях в работе приводятся некоторые статистические данные о прочности горных пород на одноосное сжатие, размере горных выработок и глубине их заложения в угольном Хечамском месторождении, позволяющие констатировать следующее:

- во-первых, анализ геологических документаций показывает, что в Хечамском месторождении горные породы в основном представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами с пределом прочности на одноосное сжатие от 100 до 50 МПа, соответственно (табл. 1);

Таблица 1

Физико-механические характеристики горных пород

Показатель	Сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$ , МПа	Сопротивление растяжению $\sigma_{рас}$ , МПа	Сцепление С, МПа	Угол внутреннего трения $\phi$ (град)	Объемный вес ( $10^{-2}$ мН/м <sup>3</sup> )	Процент
Песчаник	81,0÷101	13,9	1,56	29,5	2,78	45,61%
Алевролит	44,8	10,3	1,34	3,0	2,73	42,32%
Аргиллит	27,4	5,1	0,62	2,2	2,55	3,23%
Уголь	15,0	2,5	0,31	-	2,23	8,84%

- во-вторых, в настоящее время горные работы ведутся на глубине 200 м. В будущем, на период до 2025 г., средняя глубина разработки угольных шахт будет возрастать до 400 м;

- в-третьих, на глубине 200 м размеры сечения горных выработок в свету  $S_{св}$  составляют от 7,6 до 12,8 м<sup>2</sup>, а к 2025 г. с увеличением глубины заложения горных выработок до 400 м ожидается увеличение размеров сечения горных выработок  $S_{св}$  до 18м<sup>2</sup>.

Анализ строительства горных выработок в России показывает, что в горно-геологических условиях, подобных описанным выше, при выборе способа крепления капитальных горных выработок рекомендуется использовать метод, использующий такую форму проявления горного давления, как образование свода предельных равновесий вокруг выработок, в которой решающую роль играют напряжения в массиве горных пород.

Большой вклад в решение задач связанных с разработкой этих методов внесли Р.Феннер, К.В.Руппенейт, Б.З.Амусин, Н.С.Булычев, Ю.З.Заславский, И.В.Баклашов, Б.А.Картозия, В.Ю.Изаксон, Ж.С.Ержанов, Ш.Т.Айтиалиев, А.П.Максимов, В.Т.Глушко и др.

Анализируя разработанные и апробированные методы выбора конструкции крепей и методов их расчета, можно сказать, что для определенных условий (при крепости пород более 5 и небольшой глубины заложения выработок 200÷400 м), целесообразно применение анкерных крепей различных конструкций, обеспечивающих устойчивость горных выработок. При этом, в качестве расчетной схемы может применяться теория «свода предельных равновесий», дополнительно учитывающая изменения прочностных характеристик горных пород под влиянием ранее не учтенных факторов, изменяющих их величину.

Таким образом, в настоящее время в России и мире имеются теоретические модели практически для всех возможных форм проявлений горного давления. Однако для условия месторождения Хечам по существу не было проведено их экспериментальное обоснование и не были разра-

ботаны количественные критерии, определяющие область применения тех или иных методов конкретно для целей проектирования крепей капитальных выработок, строящихся в различных горно-геологических условиях месторождения Хечам.

В связи с выводами, сделанными в результате анализа состояния вопроса в области проектирования и применения на практике крепей горных выработок, для решения научной задачи по оптимизации крепления горных выработок на шахтах Хечам необходимо решить следующие задачи:

- в лабораторных условиях получить количественную зависимость снижения прочности горных пород под воздействием их длительного нагружения;

- аналитическими методами изучить напряженно-деформированное состояние массива горных пород вокруг выработок и определить величину зон равновесного состояния горных пород во времени и смещений массива горных пород;

- выполнить натурные исследования смещений массива горных пород вокруг выработок и сравнить их с результатами аналитических исследований;

- разработать методику и блок-схему выбора типа анкерной крепи горных выработок для шахт месторождения Хечам.

Вторая глава диссертации посвящена выполнению лабораторных и аналитических исследований на ЭВМ.

Практический опыт строительства и эксплуатации горных выработок, закрепленных анкерной крепью, показывает, что по истечении некоторого времени происходит обрушение анкеров в выработку и, как следствие, потеря устойчивости выработок. По мнению автора это происходит в результате снижения прочности горных пород под воздействием длительного нагружения массива и образование нового свода равновесного состояния горных пород, что влечет за собой увеличение пролета и высоты выработки, и, как следствие, повышение дезинтеграции пород, окружающих выработку.

На рис.1 представлена схема образования свода предельных равновесий горных пород в момент времени  $T$  и  $(T + \Delta T)$ , которая показывает, что увеличение области предельных равновесий массива влечет за собой необходимость применения многоуровневой схемы анкерования массива горных пород. В целях определения размеров области предельных равновесий горных пород вокруг выработок в Ханойском институте горного дела были выполнены лабораторные исследования по определению количественной зависимости снижения прочности горных пород, наиболее часто встречающихся при строительстве горных выработок месторождения Хечам.

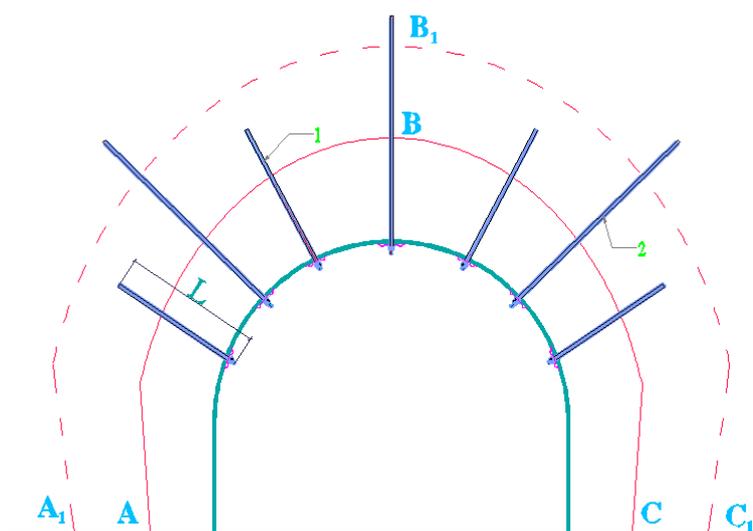


Рис 1. Схема крепления выработок:  $ABC$  – контур зоны равновесного состояния массива горных пород при поддержании выработки в течение времени  $T$ ;  $A_1B_1C_1$  – контур зоны равновесного состояния массива горных пород при поддержании выработки в течение времени  $T + \Delta T$ ; 1 - анкера первого уровня крепления; 2- анкера второго уровня крепления.

Испытания по определению прочности горных пород выполнялись по стандартной методике на образцах правильной формы на гидравлических прессах ПС-10 и ПС-50. В результате испытаний установлено, что в среднем предел прочности пород при сжатии составляет в образце:

- для песчаников  $R_{сж} = 86,8$  Мпа,
- для алевролитов  $R_{сж} = 63,2$  Мпа.

Для выполнения исследований по изучению влияния длительного нагружения горных пород на изменение их прочностных свойств на специальном испытательном стенде были испытаны образцы песчаников и алевролитов. Результаты испытания приведены в табл. 2.

По полученным данным из таблицы 2 были построены графики снижения нагрузки на образцы горных пород во времени, которые представлены на рис. 2.

Таблица 2

Результаты испытания горных пород

	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , МПа	Нагрузка, при которой образец разрушается $P$ , кг	Первоначальная нагрузка на образец $P_1$ , кг	% от разрушающей нагрузки	Нагрузка разрушения образца $P_1'$ , кг	Предел прочности образца на момент разрушения $R_{сж}^t$ , МПа	Время до разрушения $t$ , сут	Отношение $R_{сж}/R_{сж}^t$
<b>Песчаник</b>								
1	87,8	6190	5570	90	3942	55,8	28	1,57
2	89,2	6290	5350	85	4250	60,2	28	1,48
3	82,1	5790	4630	80	4350	61,6	23	1,33
4	79,3	5600	4480	80	4340	61,4	25	1,29
5	101,9	7260	6170	85	4840	68,5	30	1,5
	Среднее значение							<b>1,43</b>
<b>Алевролит</b>								
1	59,4	4190	3352	90	2793	39,5	22	1,5
2	63,7	4490	3590	80	3013	42,7	20	1,49
3	62,3	4390	3730	85	2832	40,1	20	1,55
4	53,8	3800	3050	80	2375	40,1	16	1,60
5	58,0	4100	3280	80	2697	38,2	15	1,52
	Среднее значение							<b>1,53</b>

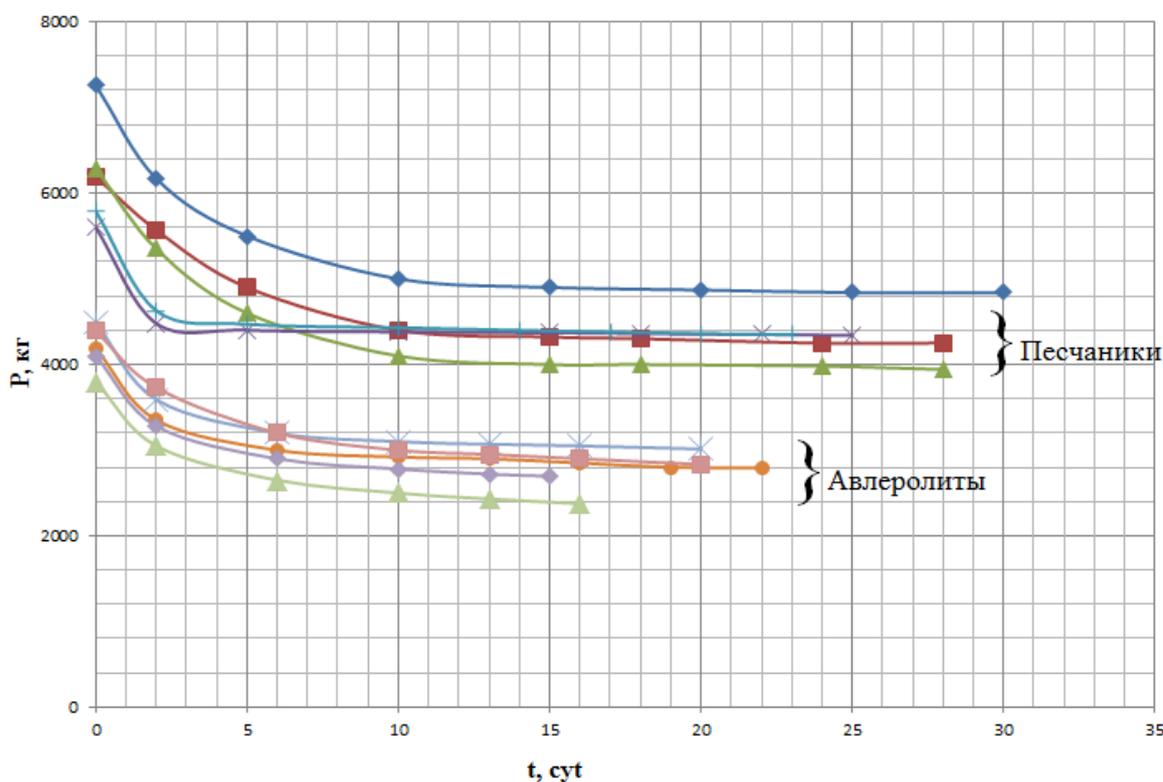


Рис 2. Графики снижения нагрузки на образцы пород во времени

Обработка результатов лабораторных исследований методом математической статистики позволили получить зависимости  $R_{сж}^t = f(t)$ , которые описываются в виде:

- для песчаников  $R_{сж}^t = 5,87\ln(t) + 77,68$ ,

- для алевритов  $R_{сж}^t = 5,2\ln(t) + 41,10$ .

Для изучения напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработок на основе метода конечных элементов (МКЭ) выполнены исследования в следующей последовательности:

- разбивка исследуемого объекта на конечные элементы и назначение узлов, в которых определяются перемещения;
- определение зависимостей между усилиями и перемещениями в узлах элемента, т.е. построение матриц;
- составление системы алгебраических уравнений равновесия;
- решение системы уравнений и вычисление перемещения узловых точек;
- определение компонентов напряженно-деформированного состояния тела.

Исследования выполнялись по программе «Phase 2», которая позволяет рассчитать параметры крепи различных конструкций, например: анкер, набрызгбетон, монолитный бетон и комбинированная крепь. Значения напряжений, смещений, величины зоны возможного нарушения вокруг горной выработки и внутренние силы в конструкции задаются программой для разбивки модели на конечные элементы, предварительно выделяются предполагаемые области сгущения сетки, в которых ожидаются высокие амплитуды изменения напряжений массива. Эти области, как правило, расположены на контуре и, особенно, в узлах выработки. Таким образом, для получения подробной картины распределения напряжений в приконтурном массиве горных пород, окружающих выработку, назначаются поверхности сгущения сетки элементов до размера 10 мм - по кровле, до размера 200 мм - по почве и до размера 150÷180 мм - по бокам выработки. Для сокращения количества элементов всей модели в целом и экономии времени расчета размеры сетки элементов в направлении к периферии модели постепенно увеличиваются, достигая размеров 4R.

В расчетах используются реальные горно-геологические условия месторождения Хечам, в стратиграфии которого сопротивление сжатию горных пород колеблется в широком диапазоне (табл. 1), но наиболее часто встречаемые породы имеют сопротивление сжатию от 50 до 80 МПа. Поэтому автор лишь обосновывает способы обеспечения устойчивости горизонтальных горных выработок в массиве, при котором сопротивление сжатию горных пород колеблется от 50 до 80 МПа. При выполнении расчетов по программе «Phase 2» прочностные свойства горных пород, полученные при испытании по стандартной методике в образце, были пересчитаны с учетом исследований, выполненных автором в лабораторных условиях, и исследований, проведенных Л.М.Ерофеевым, И.В.Мельниковым, В.В.Ржевским, Л.В.Шаумяном и др. В результате выполненных расчетов при выполнении аналитических исследований на 24 моделях принимались прочностные свойства вмещающих пород со следующими параметрами:

- $R'_{сж}$  – предел прочности горных пород в массиве,  $R'_{сж} = 28,9 - 69,4$  МПа;
- $S_{пр}$  - сечения горных выработок в проходке  $S_{пр} = 13,0; 16,0; 18,0$  м<sup>2</sup>;
- $H$  - глубина расположения горных выработок  $H = 200 - 400$  м.

После машинного счета на экран выводится цветная карта изохром распределения напряжений и смещений массива исследуемой модели. Для построения графика распределения напряжений и смещений на печать для каждой из моделей выводятся изохромы распределения напряжений  $\sigma_{\chi} - \sigma_{\theta}$  и смещений  $U$  в поперечных сечениях выработки в момент установки анкерной крепи на различных глубинах.

В результате численного моделирования установлено, что с учетом фактора «длительной прочности» горных пород смещения контура незакрепленной выработки возрастают на 70-80%.

В качестве примера на рис 3 показаны графики смещений контура незакрепленной выработки,

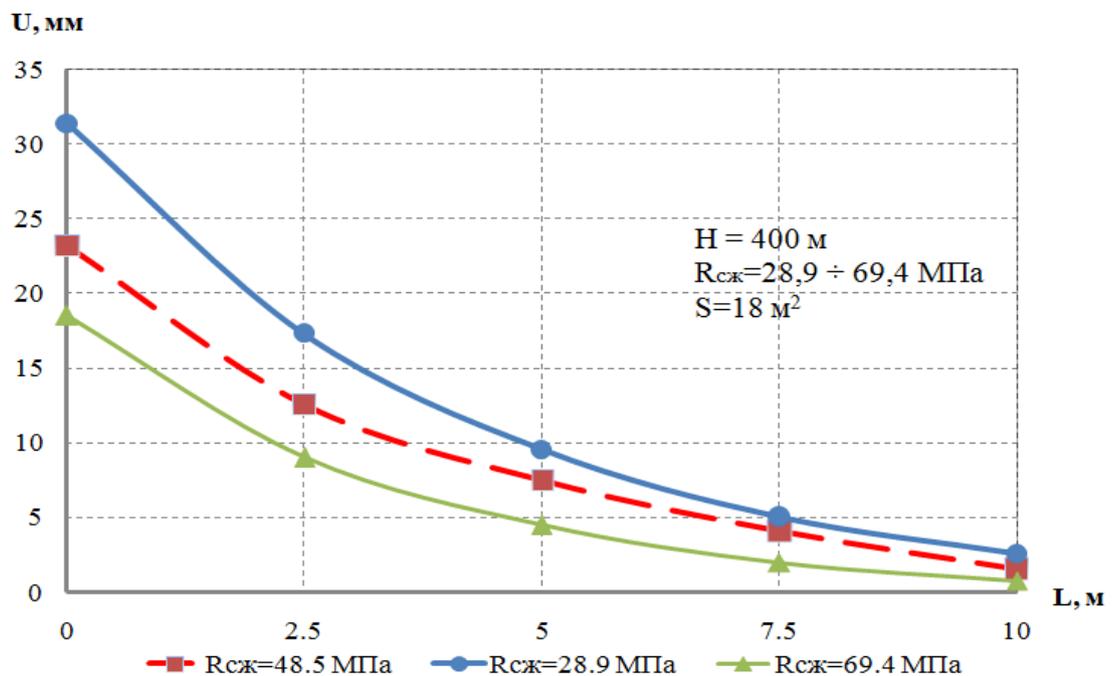


Рис. 3. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=400$  м,  $R'_{сж}=28,9-69,4$  МПа,  $S=18$  м<sup>2</sup>.

где  $R_{сж}^t = 28,9$  МПа – предел прочности алевролитов в массиве с учетом фактора длительной прочности горных пород;

$R_{сж}^t = 69,4$  МПа – фактический предел прочности песчаников в массиве.

В результате аналитических исследований получены величины ожидаемых смещений массива породного контура горных выработок с учетом их длительной прочности, которые определяются по зависимости

$$U = A \left( \frac{\gamma H}{R_{сж}^t} \right)^2 - B \frac{\gamma H}{R_{сж}^t} + C,$$

где А, В, С – коэффициент, зависящий от прочности горных пород,

$$A=0,21; B=3,83; C=18,15 \text{ при } R_{сж}^t = 69,4 \text{ МПа};$$

$$A=0,21; B=4,11; C=22,68 \text{ при } R_{сж}^t = 48,5 \text{ МПа};$$

$$A=0,3; B=5,83; C=30,95 \text{ при } R_{сж}^t = 28,9 \text{ МПа}.$$

Для исследования процесса формирования зон равновесного состояния массива горных пород и определения их размеров в закрепленных анкерной крепью выработках исследуемые модели разделяются на несколько стадий, при которых напряжения в массиве горных пород уменьшаются от начального напряжения до величины равной  $\gamma H$ .

В качестве примера на рис. 4 приведены графики распределения напряжений  $\sigma_\theta$  в породном массиве вокруг выработок при  $R_{сж}^t = 28,9$  МПа,  $S_{пр} = 18,0 \text{ м}^2$  на глубине от 300 до 400 м, которые показывают, что при напряжениях на контуре закрепленной анкерной крепью выработки равной  $0,6\gamma H$ , зона деформаций вокруг выработки распространяется в массиве на расстояние 2,5-2,6 м от контура выработки, что составляет 1,0 радиус выработки ( $1,0r_0$ ), а на расстоянии  $4r_0$  - напряжения затухают.

На рис. 5 в качестве примера представлены изохромы напряжений массива горных пород вокруг выработок, закрепленных анкерной крепью, с учетом снижения прочностных свойств горных пород на глубине от 300 до

400 м. Подобные изохромы и данные по ним были получены для условия месторождения Хечам в исследуемом диапазоне.

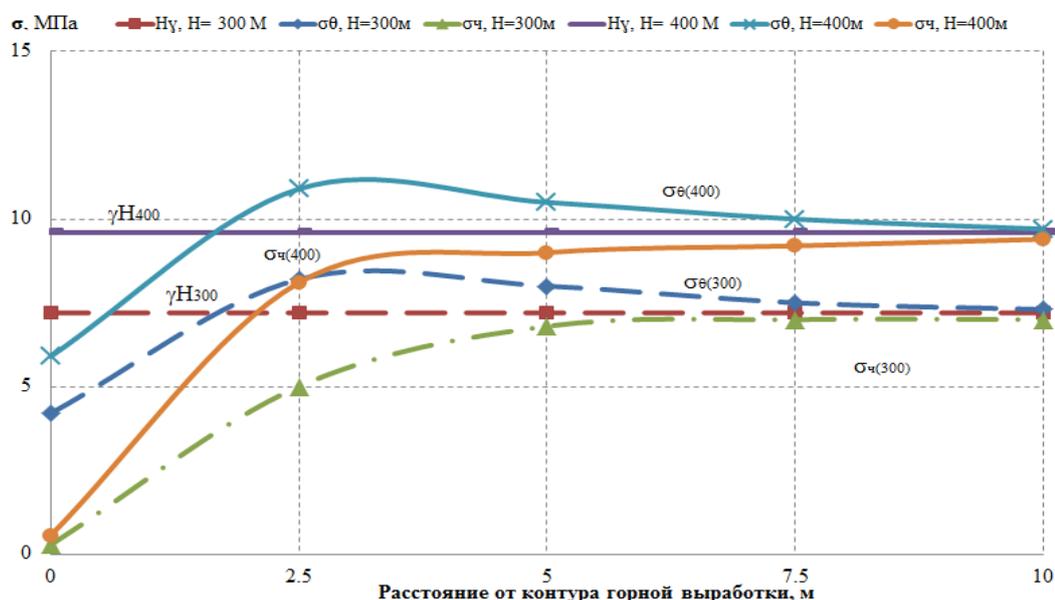
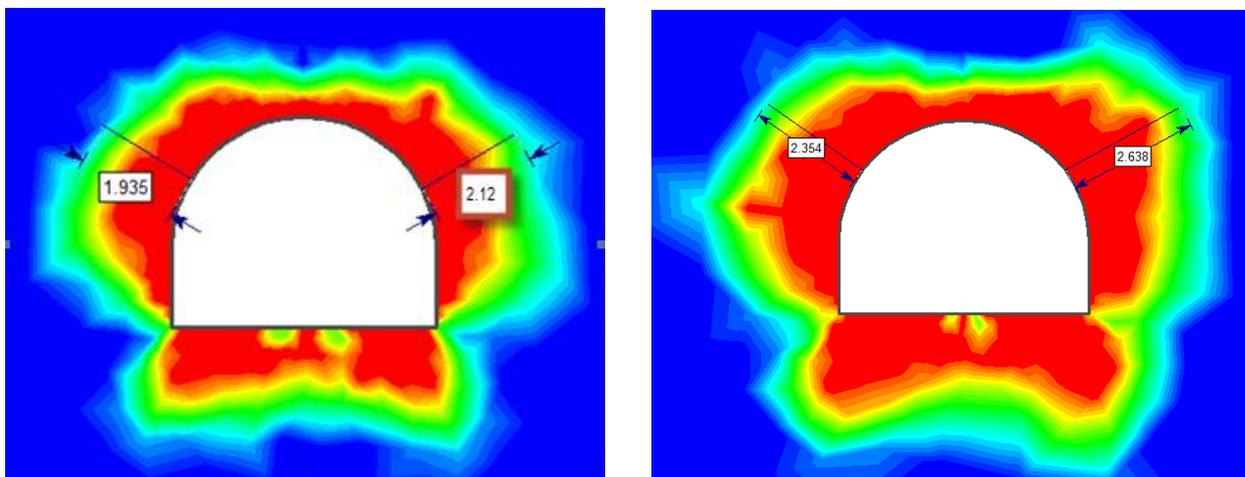


Рис. 4. Графики распределения начальных напряжений  $\sigma_{\theta} - \sigma_{\chi}$  в массиве горных пород в кровле, закрепленных анкерной крепью выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}^t=28,9$  МПа,  $S_{пр}=18$  м<sup>2</sup>



А)  $H=300$ м,  $L_{рmax}=2,12$ м

Б)  $H=400$ м,  $L_{рmax}=2,64$ м

Рис.5. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}^t=28,9$  МПа,  $S_{пр}=18$  м<sup>2</sup>

Проведенные исследования и выполненные расчеты позволяют определить величину зон равновесного состояния массива горных пород с учетом фактора их длительной прочности.

Результаты исследований представлены в табл. 3.

Выполненные исследования показывают, что величина зоны разрушения горных пород вокруг выработок с учетом длительной прочности горных пород во всем диапазоне исследований превышает размеры зоны разрушения без учета эффекта длительной прочности на 20÷25% и могут достигать от 1,38-2,64 м в зависимости от глубины заложения выработок и прочности горных пород. При этом длина анкеров составляет от 1,9 до 3,1м.

В рамках диссертационной работы в третьей главе выполнены исследования проявлений горного давления в натуральных условиях.

Таблица 3

Результаты исследования по определению размеров зон  
равновесного состояния массива во времени

Без учета длительной прочности горных пород				С учетом длительной прочности горных пород			
Песчаник $R_{сж}^t=69,4\text{МПа}$		Алевролит $R_{сж}^t=44,24\text{МПа}$		Песчаник $R_{сж}^t=48,55\text{МПа}$		Алевролит $R_{сж}^t=28,9\text{МПа}$	
Н=300м	Н=400м	Н=300м	Н=400м	Н=300м	Н=400м	Н=300м	Н=400м
Сечение в свету $S_{св}=13\text{ м}^2$ .							
Размер зоны равновесного состояния горных пород вокруг выработок, м							
1,38	1,55	1,49	1,6	1,77	1,85	1,91	2,04
Сечение в свету $S_{св}=16\text{ м}^2$ .							
Размер зоны равновесного состояния горных пород вокруг выработок, м							
1,50	1,69	1,66	1,8	1,9	2,04	2,1	2,24
Сечение в свету $S_{св}=18\text{ м}^2$ .							
Размер зоны равновесного состояния горных пород вокруг выработок, м							
1,54	1,82	1,69	2,14	1,98	2,34	2,12	2,64

Для измерения смещений массива горных пород, окружающих выработку, принят метод установки глубинных реперов. Замерные станции были установлены на контрольном и экспериментальном участках. В скважины, пробуренные в кровлю выработки на глубину по 3,5 м и

диаметром 32 мм, устанавливались глубинные репера анкерного типа. Относительные смещения реперов в вертикальном направлении измерялись с помощью линеек, установленных в устье шпура. Непременным условием при установке станции был отбор проб горных пород с последующим определением их физико-механических свойств.

Для изучения закономерностей смещений горных пород вблизи выработок на шахтах месторождения Хечам были оборудованы 5 наблюдательных станций с глубинными реперами анкерного типа. Наблюдательные станции заложены на глубинах 200 м в породах с пределом прочности горных пород на одноосное сжатие  $R_{сж} = 50 \div 60$  МПа (объемный вес горных пород  $\gamma = 0,0245 \div 0,026$  МН/м<sup>3</sup>, модуль деформации массива  $E = 4500 \div 7000$  МПа), и площади сечения выработок в свету  $S_{св} = 12,8$  м<sup>2</sup>, закрепленных арочной металлической крепью из СПВ-22. Величина отношения  $\gamma H / R_{сж}$  в местах наблюдательных станций составляет 0,81.

Таблица 4

Характеристики замерных станций

Шахта, выработки	Горно-геологическая характеристика условий заложения станций						
	$S_{св}$ , м <sup>2</sup>	$P$ , МН/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$H$ , м	$E$ , МПа	$\varphi$ , град	$U$ , мм
«Хечам», Полевой откаточный штрек П12 гор. - 160 (№1)	13	2,48	58	200	5700	40,1	16
«Хечам», Откаточный квершлаг П12 гор. - 150 (№2)	12,6	2,51	64	200	5010	36	15
«Хечам», Откаточный штрек П8 гор. - 150 (№3)	13,2	2,55	76	200	4800	42	16
«Хечам», Откаточный квершлаг П5 гор. - 152 (№4)	13	2,51	66	200	4500	45	16
«Хечам», Откаточный штрек П5 гор. - 160 (№5)	13	2,56	75	200	6000	56	17

Анализ результатов натурных исследований, выполненных на шахтах месторождения Хечам, показывает, что смещения массива горных пород в кровле выработок, представленных в основном песчаниками и алевролитами на глубинах 200 м от поверхности, соответствует величинам смещений массива, полученным аналитическим методом по программе «Phase 2» (разница не превышает 15%).

В четвертой главе на основе выполненных исследований в соответствии с целями и задачами, определенными в данной работе, разработана блок-схема расчета и методика выбора типа конструкции анкерных крепей для обеспечения устойчивого состояния выработок шахт месторождения Хечам, которая заключается в следующем:

- на основе исследований, выполненных с применением метода конечных элементов, определяется первоначальный размер зоны равновесного состояния горных пород вокруг выработок без учета фактора длительной прочности горных пород;

- на основе лабораторных исследований и полученных результатов определяются прочностные свойства горных пород с учетом их длительной прочности, определяется размер ожидаемой зоны равновесного состояния, которая образуется вокруг выработок в течение 15-20 суток с момента проходки выработки; расчеты производятся по полученным в работе зависимостям;

- в соответствии с выполненными расчетами определяется длина анкеров, устанавливаемых сразу после проведения выработки, анкеры первого уровня и длина анкеров, устанавливаемых с отставанием от забоя не более 15-30 суток (анкеры второго уровня), для обеспечения устойчивости выработок при формировании зоны равновесного состояния горных пород с учетом снижения их прочностных свойств;

- в соответствии с существующими методиками и нормативными документами определяется величина нагрузки на крепь и плотность установки анкеров на  $1 \text{ м}^2$  площади обнажения;

- в результате выполненных расчетов производится выбор типа и конструкции анкеров в соответствии с утвержденными нормативными документами Российской Федерации.

## **Заключение**

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена задача по обоснованию параметров анкерных крепей капитальных горных выработок на основе установленных закономерностей формирования областей равновесного состояния породного массива во времени, позволяющих обеспечить эксплуатационную надежность при снижении материальных и трудовых затрат, что вносит существенный вклад в строительную геотехнологию, геомеханику и способствует техническому прогрессу в шахтном строительстве в условиях месторождения Хечам.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Установлено, что большинство планируемых к строительству горных выработок в месторождении Хечам имеет площадь сечения от  $13 \text{ м}^2$  до  $18 \text{ м}^2$ , глубину заложения от 200 м до 400 м, сложено крепкими песчаниками и алевролитами с пределом прочности при сжатии в образце от 50 до 80 МПа.

2. Нормальные тангенциальные напряжения на контуре закрепленных анкерной крепью горных выработок в зависимости от глубины их заложения увеличиваются в среднем на 45%. На расстоянии  $1,0 \div 1,2 \gamma_0$  от контура выработок напряжения достигают максимального значения равного  $1,3 \gamma H$  и на расстоянии  $2,8 \div 4,5 \gamma_0$  полностью затухают.

3. Методами численного моделирования с использованием метода конечных элементов выполнены геомеханические исследования напряженно-

деформированного состояния массива горных пород, получены математические зависимости, позволяющие определить величину ожидаемых смещений породного массива вокруг горных выработок и определить геометрические размеры зон равновесного состояния, которые во времени могут достигать от 0,63 до 1,0 радиуса выработки ( $r_0$ ).

4. На основе экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных условиях, получены зависимости снижения прочности горных пород во времени при воздействии на них постоянной длительной нагрузки. Коэффициент снижения прочности горных пород составляет 1,43-1,53.

5. Экспериментальные исследования, выполненные на шахтах месторождения Хечам, позволяют определить величину фактических смещений массива горных пород вокруг выработок.

6. На основе анализа существующих конструкций анкеров, нашедших широкое применение на шахтах России и отвечающих условиям их применения на шахтах месторождения Хечам, предложены конструкции, обеспечивающие эксплуатационную надежность горных выработок при минимальных материальных и трудовых затратах.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. **Нгуен Виет Динь**, Франкевич Г. С. *Определение величины зоны разрушения и оптимальной длины анкеров вокруг горных выработок численным методом* // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2014. -№3-С.51-55.

2. **Нгуен Виет Динь**. *Определение устойчивости горных выработок с комбинированной крепью на базе численного метода* // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. -№9-С.324-329.

3. Чан Туан Минь, **Нгуен Виет Динь**, Нгуен Суан Ман, Панкратенко А.Н. *Определение горного давления на конструкции анкерных крепей вокруг*

*горных выработок // Журнал «Наука и Техника» – 2014. –Том 52.-№1В-С.58-64.*

4. Чан Туан Минь, До Нгок Тхай, **Нгуен Вьет Динь**. *Исследование изменения радиуса зоны неупругих деформаций, свойства крепи при проходке тоннеля по поэтапной схеме // Сборник к 45-летию основания кафедры строительства подземных сооружений и шахт Ханойский горно-геологический университет (ХГГУ), Вьетнам, июнь 2011 года. - С. 90 - 95.*

5. Tran Tuan Minh, Nguyen Duyen Phong, **Nguyen Viet Dinh**. *Research on stress state and deformation around big tunnels with excavation stages in bedding and non-homogeneous rock // International conference “Advances in mining and tunneling” // Ha Noi university of mining and geology 23-25 August 2012, pp.309-316.*

6. **Нгуен Вьет Динь**. *Обоснование параметров зон равновесного состояния горных пород вокруг выработок и определения конструктивных параметров анкерной крепи в условиях месторождения ХеЧам // Деп. рук. №1059/12-15 от 10.09.15 (0,35 п.л.) //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015.*

Подписано в печать 18.11.2015 г.