

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»**

-----

На правах рукописи

**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»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –

Доктор технических наук, профессор

**Франкевич. Г. С**

**Москва – 2015**

## Содержание

<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Состояние изученности вопроса и основные направления исследований.</b>	10
1.1. Современное состояние и перспективы развития угольной промышленности Вьетнама.	10
1.2. Обзор горно-геологических условий угольного месторождения Хечам	14
1.3. Общая оценка физико-механических деформационных свойств массива горных пород месторождения Хечам.	18
1.4. Обзор применения различных конструкций крепей на шахтах угольного месторождения Хечам	25
1.5. Анализ существующих конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах месторождения Хечам.	29
1.5.1. Анализ применимых конструкций анкеров на шахтах месторождения Хечам.	34
1.5.2. Анализ существующих конструкции податливых анкерных крепей	38
1.5.3. Современное состояние вопроса в области проектирования крепей горных выработок	40
1.6. Основные выводы, цели и задачи исследований	45
<b>Глава 2. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг</b>	47

<b>выработок.</b>	
2.1. Образование свода давлений над одиночными выработками.	49
2.2. Лабораторные исследования.	58
2.2.1. Общие сведения о способах определения длительной прочности горных пород.	58
2.2.2. Методика лабораторных исследований	61
2.2.3. Результаты лабораторных исследований	62
2.3. Методика аналитических исследований методом конечных элементов.	67
2.4. Общий обзор программы «Phase 2»	69
2.5. Методика решения задачи	71
2.6. Результаты расчета	75
2.7. Анализ результатов лабораторных и аналитических исследований.	103
<b>Глава 3. Исследования проявления горного давления в выработках.</b>	109
3.1. Исследования проявления горного давления в выработках в натурных условиях.	109
3.1.1. Методика исследований	109
3.1.2. Результаты инструментальных наблюдений	111
3.2. Выводы по главе.	120
<b>Глава 4. Обоснование конструктивных параметров крепления горизонтальных горных выработок в горно-</b>	121

## **геологических условиях месторождения Хечам**

4.1. Общие положения	121
4.2. Методика выбора типа крепи и определения ее параметров на основе аналитических, лабораторных и натурных исследований.	122
4.3. Рекомендуемые конструкции анкеров для крепления капитальных горных выработок шахт месторождения Хечам.	124
<b>Заключение</b>	129
<b>Список литературы</b>	131
<b>Приложение</b>	141

## Введение

**Актуальность работы.** В связи с высокими темпами развития народного хозяйства республики Вьетнам 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 2025г., 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 горно-технических

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.

## **Глава 1. Состояние изученности вопроса и основные направления исследований.**

### **1.1. Современное состояние и перспективы развития угольной промышленности Вьетнама.**

Горнодобывающая промышленность СРВ поставляет народному хозяйству страны руду черных и цветных металлов, строительные и отделочные материалы, топливо и удобрения, а также другие необходимые минералы.

Уголь используется для производства электроэнергии, в металлургии, производства цемента и строительных материалов, в других отраслях промышленности и быту, а также является предметом экспорта.

Значительные темпы развития народного хозяйства страны, повышения благосостояния народа предопределяют повышенный рост потребления топлива.

С момента получения независимости, угольная промышленность Вьетнама развивает собственную эффективную горную промышленность. За последние годы происходило обновление и расширение старой производственной базы: строительство новых шахт, заводов, развитие инфраструктуры для увеличения эффективности производства.

До 1997г объем добычи угля достигал 4млн. тонн, а в 2010г. национальная угольная корпорация «Винакомин» добыла 42,53 млн.тонн. Сохранение высоких темпов развития угольной отрасли и стабильное снабжение углем бурно развивающегося народного хозяйства страны - главная задача сохранения высоких темпов роста ВВП около 6% в год [49]. На рис.1.1 показана добыча угля в СРВ за 2008-2013 гг. (по способам добычи), млн.т.

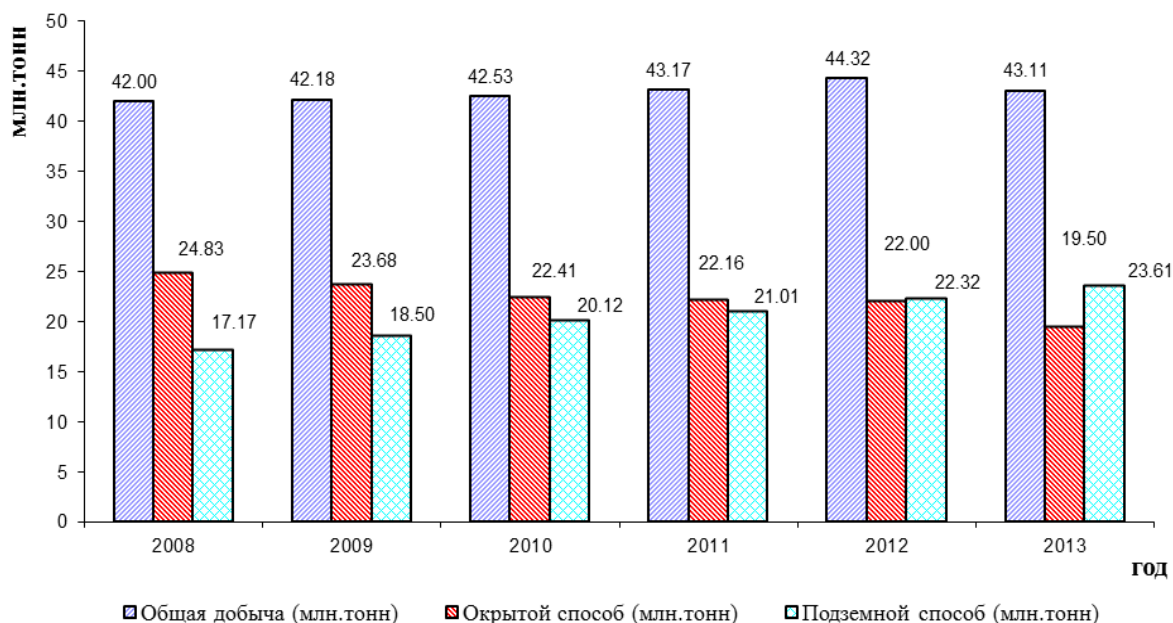


Рис.1.1. Добыча угля в СРВ за период 2008-2013гг.

По перспективному плану развития угольной промышленности, годовую добычу угля в стране предусматривается довести до 90 млн.тонн в 2025г., в том числе 85-90% угля подземным способом. На рис.1.2 приведен реальный и перспективный план развития угольной промышленности Вьетнама, на котором четко прослеживается тенденция добычи угля подземным способом [45].

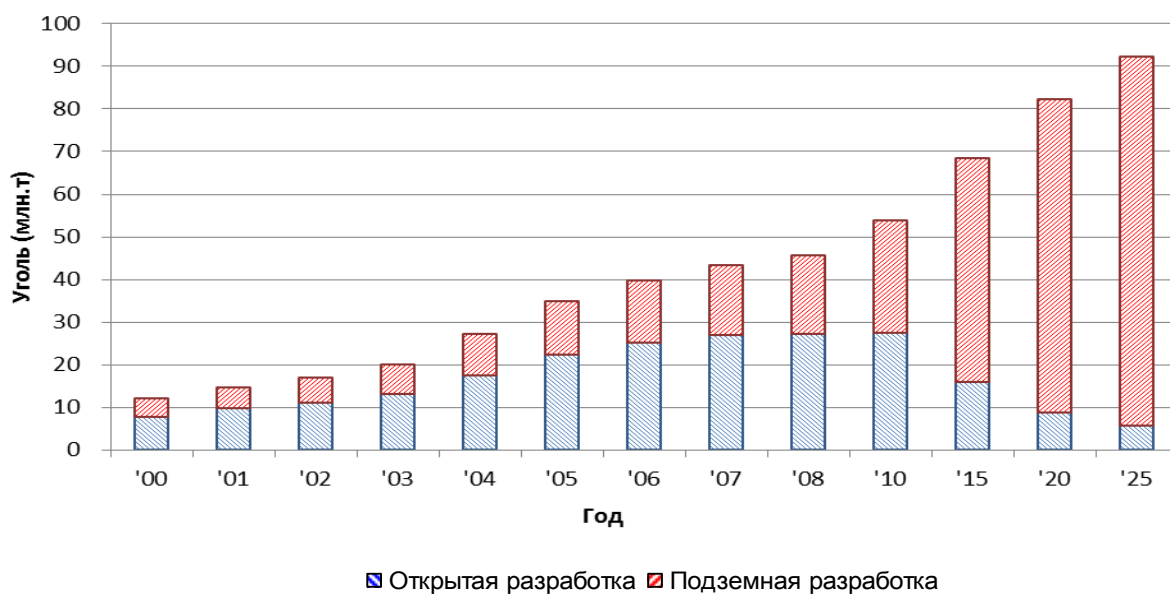


Рис.1.2. Перспективный план развития угольной промышленности СРВ

В связи с высокими темпами развития народного хозяйства республики Вьетнам 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 Винакомин значительно нарастить объем добычи угля.

В табл. 1.1 приведены данные по использованию и перспективной потребности народного хозяйства страны в угле за 2005-2012гг., по данным ВГУК министерства промышленности СРВ [45,46].

Геологические запасы каменных углей и антрацитов СРВ составляют около 20 млрд.т. Балансовые запасы оценены до глубины -300 м. при минимальной мощности угольных пластов 0,8м, составляют 3728 млн.т., из которых примерно 90% сосредоточены в месторождении региона Куагнинь [46].

Учитывая значительные запасы угля этот регион и в перспективе останется одним из важнейших при оценке топливных ресурсов страны.

Произошедшие изменения оказали большое влияние на общее энергопотребление в стране в 2010г. и особенно на использование каменного угля. В отдаленной перспективе спрос на каменный уголь значительно расширится – об этом свидетельствуют ряд прогнозов, разработанными независимыми исследователями.

## Использование угля в народном хозяйстве СРВ

Таблица 1.1.

№	Наименование потребителей	Потребление по годам, тыс.тонн							
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Энергетика	4751	5471	5857	6088	6545	6785	6972	7315
2	Тяжёлая промышленность	416	377	482	456	492	512	587	634
3	Лёгкая промышленность	162	168	159	157	153	150	142	137
4	Цементная промышленность	2057	2171	3265	3551	4002	4605	5120	5701
5	Промышленность строительных материалов	6046	5904	5799	5941	6744	7529	8113	8954
6	Бытовые нужды	2015	1967	1932	1980	2248	2515	2896	3417
Всего внутреннего потребления		15447	16058	17494	18173	20184	22096	23830	26158
7	Экспорт	14741	21611	24158	17264	24303	21940	23574	26507
Итого		30188	37669	41652	35437	44487	44036	47404	50665

## 1.2. Обзор горно-геологических условий угольного месторождения Хечам

Геологические запасы каменных углей и антрацитов СРВ составляют около 20 млрд.т. Месторождение Хечам находится на северо-востоке северной части Вьетнама. В этом бассейне, имеющем длину около 130 км, ширину  $6 \div 10$  км и площадь около  $1300 \text{ км}^2$  [49], основным видом угля является антрацит. Глубина разработки составляет 200 м. Мощность угольного пласта  $0,8 \div 6$  м, а градиент пласта изменяется от  $10^0$  до  $40^0$ . Вмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками, аргиллитами, конгломератами и угольными глинами.

В кровле и почве пластов залегают аргиллиты, алевролиты и песчаники. Физико-механические характеристики горных пород угольного месторождения Хечам приводятся в табл. 1.2.

Таблица 1.2. **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> )	Доля
Песчасник	81,0÷101	13,9	1,56	29,5	2,78	45,61%
Алевроолит	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%

Как видно из таблицы 1.2 в основном (90%) горные породы представлены песчаником, алевролитом и т. д.

На рис 1.3 предствлена типовая структурная колонка пласта и окружающих его горных пород.

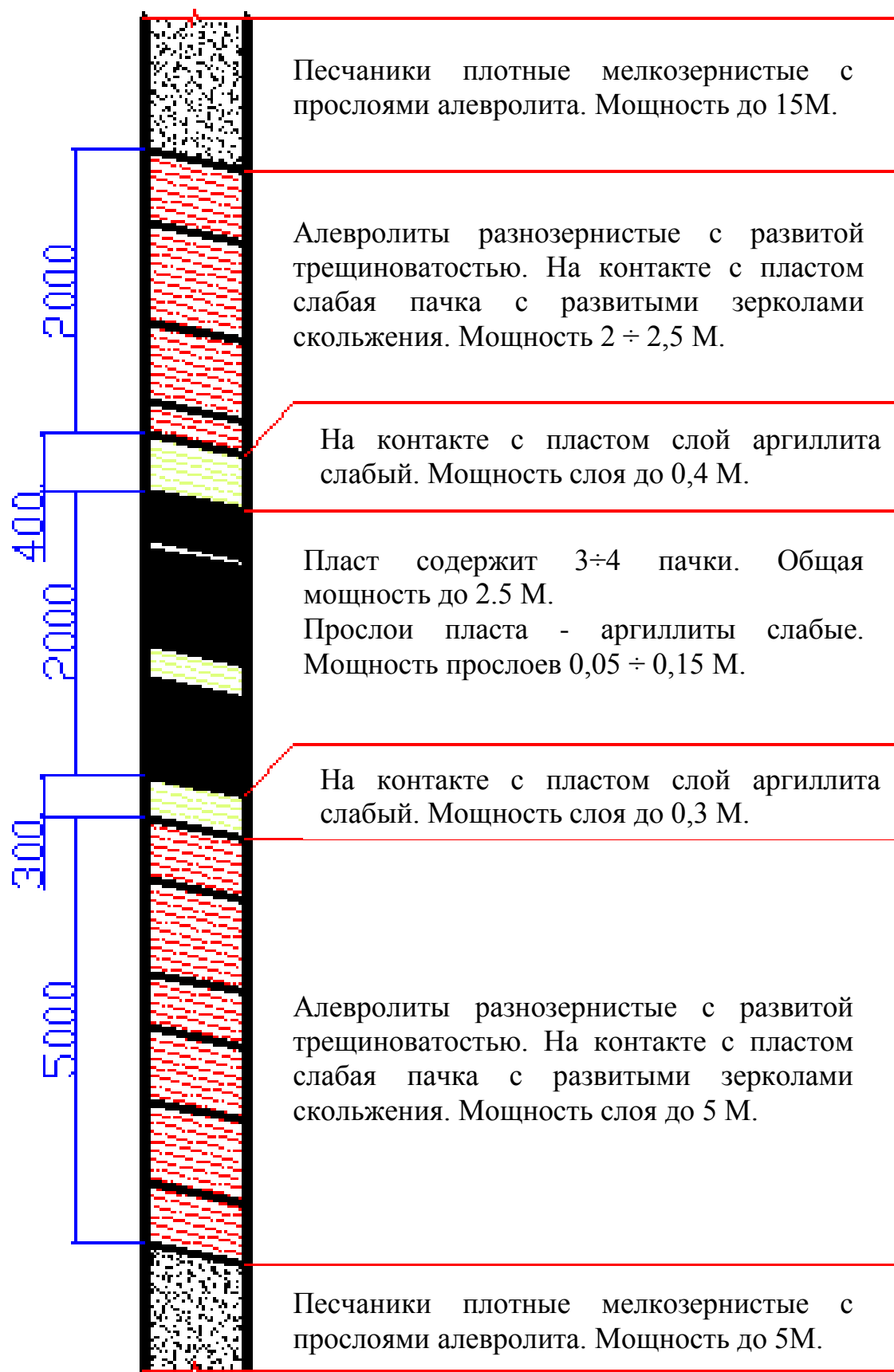


Рис 1.3. Типовая структурная колонка пласта и вмещающих пород

## **\* Характеристики подземных вод**

### **- Вода в четвертичном слое:**

Четвертичный слой равномерно популярно распределяется по площади месторождения. Составом первоочередного слоя являются песок и глинисто-песчаный слой, их мощность изменяется от 0,5 м. до 8,5 м.. Водный дебит наблюдается на скважинах от 0,011 до 9,55 л/с и высыхает осенью. Вода в этом слое не влияет на эксплуатационные процессы месторождения.

### **- Вода в угленосной складке:**

+ **Первый водосборный слой:** состоит из водосборных каменных слоев, залегающих между угольными пластами от П.16 до П. 13, распределяющих на центре БаоЗа. Этот слой имеет большую водообильность, чем другие водосборные слои в стратиграфии. Водный уровень наблюдается в скважинах от 6,24 м до 17,82 м. В экспериментальных скважинах удельный дебит  $q = 0,005 - 0,0181$  (л/мс), коэффициент проницаемости  $k = 0,0094 - 0,0238$  (м/суткн).

+ **Второй водосборный слой:** состоит из водосборных каменных слоев, залегающих между угольными пластами от П.12 до П.9, равномерно распределенных по площади месторождения, водосборными породами преимущественно являются песчаник и псаммит. Уровень воды наблюдается в скважинах от 1,13 м до 5,88 м. В экспериментальных скважинах имеется удельный дебит от 0,00121 до 0,00491(л/мс).

+ **Третий водосборный слой:** состоит из водосборных каменных слоев, залегающих между угольными пластами от П.8 до П.5, равномерно распределенных по площади месторождения. Этот слой находится глубже, чем два вышеприведенных слоя (первый слой и второй слой). Уровень воды наблюдается в скважинах от 1,34 м до 5,86 м. В экспериментальных



скважинах имеется удельный дебит от 0,00121 до 0,0241 (л/мс), коэффициент проницаемости  $k = 0,0024 - 0,014$  (м/сутки).

+ **Воды в разломах:** в месторождении Хечам имеется много сбросов, большинство имеют направления параллели и меридиана. Изучение вод в разломах одновременно ведётся с разведочными процессами. В скважинах чаще встречаются кварцевые обломки, песок, порошок, смесь глин, и степень соединения этих материй обрывочная.

Отобранный керн очень мягкий, рыхлый, легко крошится руками.

### **1.3. Общая оценка физико-механических деформационных свойств массива горных пород месторождения Хечам.**

Физико-механические свойства горных пород угольного месторождения Хечам определялись и изучались по данным Ханойского института горной науки и технологии.

На основании выполненных исследований составлена петрографическая классификация пород с привязкой ее к стратиграфической схеме угольного месторождения Хечам. Геологический разрез месторождения представлен на рис.1.4.

В целом угольное месторождение Хечам представлено большим разнообразием свойств горных пород от слабых ( $R_{сж} = 15 \div 20$  МПа) до очень крепких и упругих ( $R_{сж} = 81$  МПа).

Прочностные свойства горных пород хорошо описываются теорией прочности Кулона – Мора, которая рекомендуется для практического исследования при решении практических задач механики горных пород [50,51,56,61].

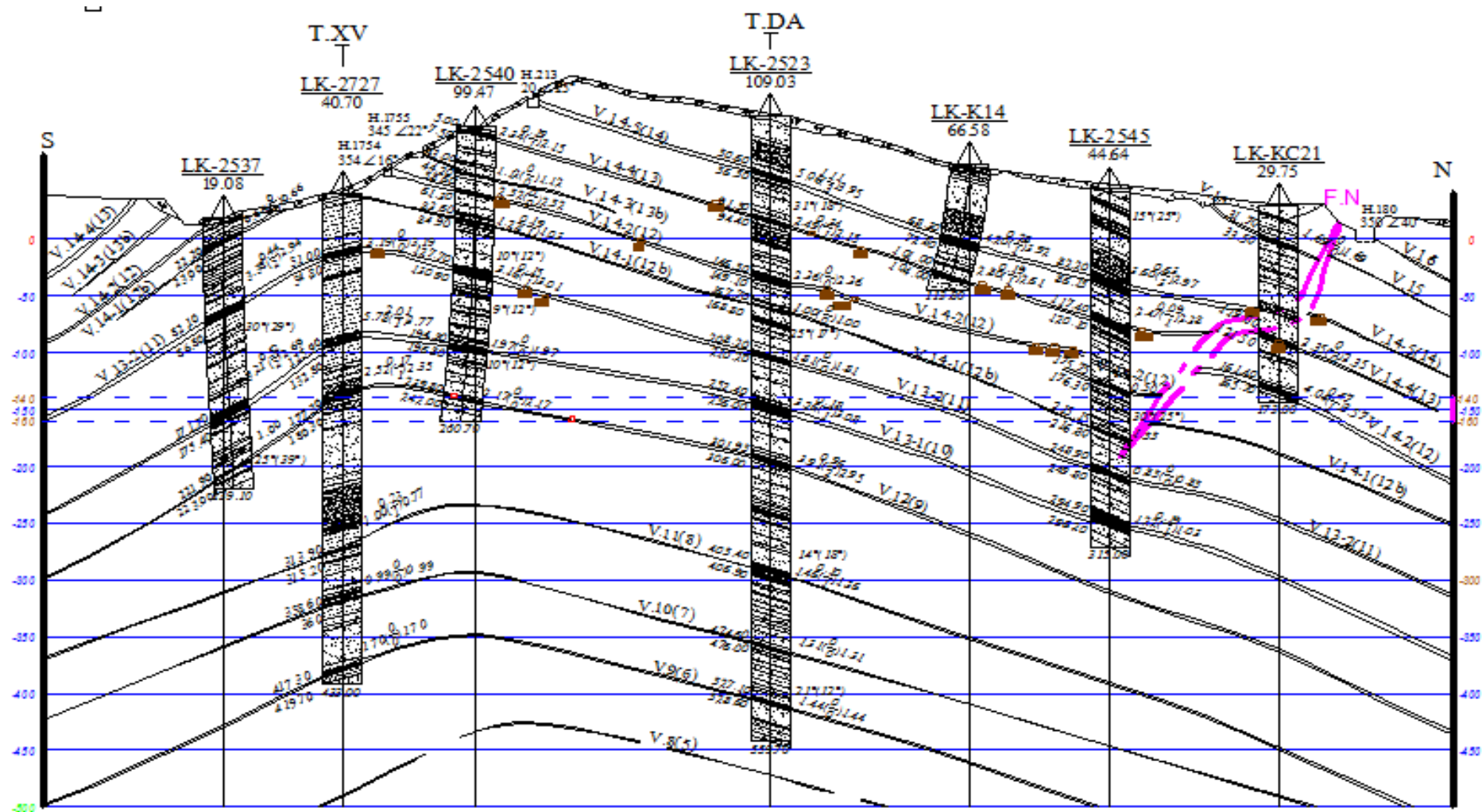


Рис. 1.4. Геологический разрез по месторождению Хечам

Огибающая предельных кругов напряжений может быть представлена параболой, которая аппроксимируется выражением вида:

$$(\tau_{nt})^m = \lambda(R_p + \sigma_r) \quad \text{при } 1 < m \leq 2,$$

и в частности управлением вида

$$\tau_{nt} = \sqrt{(R_p + \sigma_r)[2R_p - 2\sqrt{R_p(R_p + R_{сж})} + R_{сж}]} \quad (1.1)$$

$$\text{при } \tau_{nt} = \sqrt{(R_p + \sigma_r)A}, \quad (1.2)$$

$$\text{где } A = 2R_p = 2\sqrt{R_p(R_p + R_{сж})} + R_{сж} \quad (1.3)$$

Этот вид огибающей рекомендован академиком В. В. Ржевским [53].

Исследования реологических свойств горных пород месторождения Хечам практически не проводились, но важность и значимость учета этих свойств очевидна.

К числу важных свойств относятся «длительная прочность», которая характеризует собой предел прочности пород в зависимости от длительности действия напряжений. Предел «длительной прочности» зависит от свойств горных пород и отношений предела прочности на сжатие при кратковременном нагружении к пределу прочности, определенному при длительных испытаниях.

Такие испытания были проведены советскими исследователями Кузнецовым Г. Н [32]. Филатовым Н. А [73]. При этих испытаниях были использованы керны с высотой равной диаметру.

В результате испытаний были получены значения отношений

$$\frac{R_{сж} 1}{R_{сж} 2} = 1,3 \div 1,8$$

К сожалению, для осадочных пород угольных толщ месторождения Хечам подобных исследований не проводилось. Учитывая важность и недостаточную изученность этого вопроса необходимо провести дополнительные исследования.

Известно, что прочность горных пород в массиве значительно меньше, чем прочность тех же пород, определенная на образцах. Снижение прочности обусловлено в основном неоднородностью строения, трещиноватостью и слоистостью массива.

Главным фактором, по существу определяющим прочность массива, является трещиноватость, которая чаще всего измеряется количеством систем и частотой трещин, приходящихся на единицу длины, ориентированной перпендикулярно трещинам

$$W = \frac{1}{l_{cp}} \quad , \quad (1.4)$$

где:  $l_{cp}$  – среднее расстояние между трещинами на определенном участке массива.

Осадочные породы угольных толщ месторождения Хечам представляют собой сложный англомерат из отдельных твердых обломочных части, сцементированных кремнистым, карбонатным, серицитовым или глинистым цементами.

К числу наиболее последовательных и полных классификаций массивов горных пород относится классификация, предложенная И. В. Баклашовым, Б. А. Картозия [5], в которой массивы горных пород по степени неоднородности и анизотропии предлагается разделить на следующие категории:

Массивы горных пород	Однородный	Неоднородный	
		Статически неоднородный	Упорядочный неоднородный
Изотропный	Свойства пород не зависят от направления и координат точки опробования	Свойства пород не зависят от направления, но являются случайными функциями координат точки опробования	Свойства пород не зависят от направления, но являются детерминированными функциями координат точки опробования
Анизотропный	Свойства пород зависят от направления, но не зависят от координат точки опробования	Свойства пород зависят от направления и являются случайными функциями координат точки опробования	Свойства пород зависят от направления и являются некоторыми детерминированными функциями координат точки опробования

По интенсивности трещиноватости породы предложено подразделить исходя из

$$W = \frac{1}{l_{\text{ср}}}, \quad \text{где: } l_{\text{ср}} - \text{среднее расстояние между трещинами,}$$

- на:
- слаботрещиноватые  $W < 1$ ;
  - средней трещиноватости  $W = 1 \div 3$ ;
  - интенсивной трещиноватости  $W = 3 \div 10$ ;
  - сильно трещиноватые  $W > 10$ .

Влияние трещиноватости на прочностные показатели пород в массиве исследованы в работах Г. Н. Кузнецова [32], М. М. Протодяконова [52], Г. Л. Фисенко [74], Мюллера [40] и др.

Данные этих исследований устанавливают эмпирическую связь между параметрами выработки, трещиноватостью горных пород и видам напряженного состояния.

Наиболее признанным и удобным для практического использования является метод учета влияния трещиноватости на прочностные свойства массива, основанный на введении коэффициента ослабления  $K_c$ , которой, в свою очередь, зависит от интенсивности трещиноватости  $W$ , размеров выработки.

В работе Г. Л. Фисенко [74] дана следующая общая зависимость:

$$R_M = \frac{R_{сж}}{1 + a \ln \frac{L}{l}}, \quad (1.5)$$

где:  $a$  - коэффициент, зависящий от прочности породы и характера трещиноватости;  $L$  - длина исследуемого участка скважины;  $R_M$  - прочность пород на сжатие в массиве.

В последние годы в США и Скандинавии для характеристики прочности массива используют так называемый показатель качества (RQD - Rock Quality Designation), который определяется из выражения

$$RQD = \frac{\sum l_i}{Z} * 100\%$$

где:  $Z$  - длина исследуемого керна ;

$l_i$  - суммарная длина ненарушенных кусков керна, из которых каждый должен иметь длину не менее 10 см.

Касаясь изученности вопроса о напряженном состоянии массива, следует прежде всего отметить, что впервые оценка напряженного состояний массива горных пород до проведения в нем выработки была дана в работах А.Н.Динника [14] .

Исследования Курлени М. В. [33] в Кузбассе показали, что в месторождениях угля вне зоны геологических нарушений до глубины 240м напряженное состояние массива приблизительно соответствует формулам Динника А.Н.

По мнению некоторых специалистов вне зон современных тектонических движений земной коры коэффициент бокового распора за счет ползучести горных пород стремится к единице.

Ж. С. Ержановым доказано, в частности, что :

$$\lambda = 1 - \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \exp \left[ -\frac{\omega \delta \Gamma(1 - \alpha)}{2(1 + \mu)} t^{1 - \alpha} \right],$$

где  $\alpha, \delta$  – характеристики ползучести горных пород.

С увеличением времени  $t$ , коэффициент  $\lambda$  стремится к единице. Аналогичные результаты получены Ю. М. Либерманом [34] и экспериментально подтверждены Б. В. Матвеевым.

Следовательно, для весьма широкого класса задач механики горных пород начальное напряжение массива можно принимать из условия, что  $\sigma_z \approx \sigma_y \approx \sigma_x \approx \gamma H$ .

При проведении горной выработки первоначальное поле напряжений изменяется.

Вокруг выработки возникает локальное возмущение силового поля, характеризующееся обычно коэффициентом концентрации.

Таким образом, реальный массив в расчетах может быть заменен эквивалентным упругим сплошным массивом с прочностными характеристиками, полученными на образцах уменьшенными на величину коэффициентов ослабления.

#### **1.4. Обзор применения различных конструкций крепей на шахтах угольного месторождения Хечам**

В настоящее время доля добычи угля подземным способом составляет около 70% от общей добычи. Угольный бассейн вскрыт разнообразными способами, в основном, наклонными и вертикальными стволами, реже штольнями. При вскрытии обычно применяются горизонтальные выработки. На большинстве шахт применяется система разработки длинными столбами по простиранию, а также комбинированная система разработки.

Проведение горных выработок осуществляется буровзрывным способом. Уровень механизации при проходке горных выработок достигает  $5 \div 10\%$  (проходческие угольные комбайны АМ-50Z, проходческие породные комбайны АМ-105IC и АМ-75 ). Средние темпы проходки горных выработок по породе составляют  $45 \div 60$  м/мес, а по углю  $90 \div 110$  м/мес. Анализ характеристик выработок угольного месторождения Хечам позволяет отметить, что в основном они имеют арочную форму с площадью поперечного сечения в свету  $6,5 - 16 \text{ м}^2$  (табл. 1.3). Основными видами крепи горных выработок являются следующие конструкции:

- Арочная металлическая крепь из СВП (90%).
- Монолитная бетонная крепь (1,8%).
- Анкерная, анкерно-набрызгбетонная крепь (2,5%).

На рис. 1.5÷1.7 представлены конструкции крепей горных выработок применяемых на шахтах месторождения Хечам.



Табл.1.3.

Период, год.	металлическая трапеция из СВП, %	Арочная металлическая из СВП, %	Анкерно- набрызгбето нная крепь, %	Металлобето нная крепь, %	Монолитная бетонная крепь, %	Металлические рамы из СВП-27 в бетоне
2000-2005	4,6	94	0,06	0,24	0,1	-
2006	4	93	0,1	1,72	1,2	0,18
2007	2,5	92,8	1,3	1,8	1,5	1,1
2008	2	90,8	1,5	2,6	1,3	1,8
2009	1,5	90,9	2	2,5	1,4	1,7
2010	0,5	90,2	2,5	3,5	1,5	1,8

**Аннотация:** - с 2000 ÷ 2008 гг, применение железобетонных анкеров.  
 - с 2009г, применение сталеполимерных анкеров.

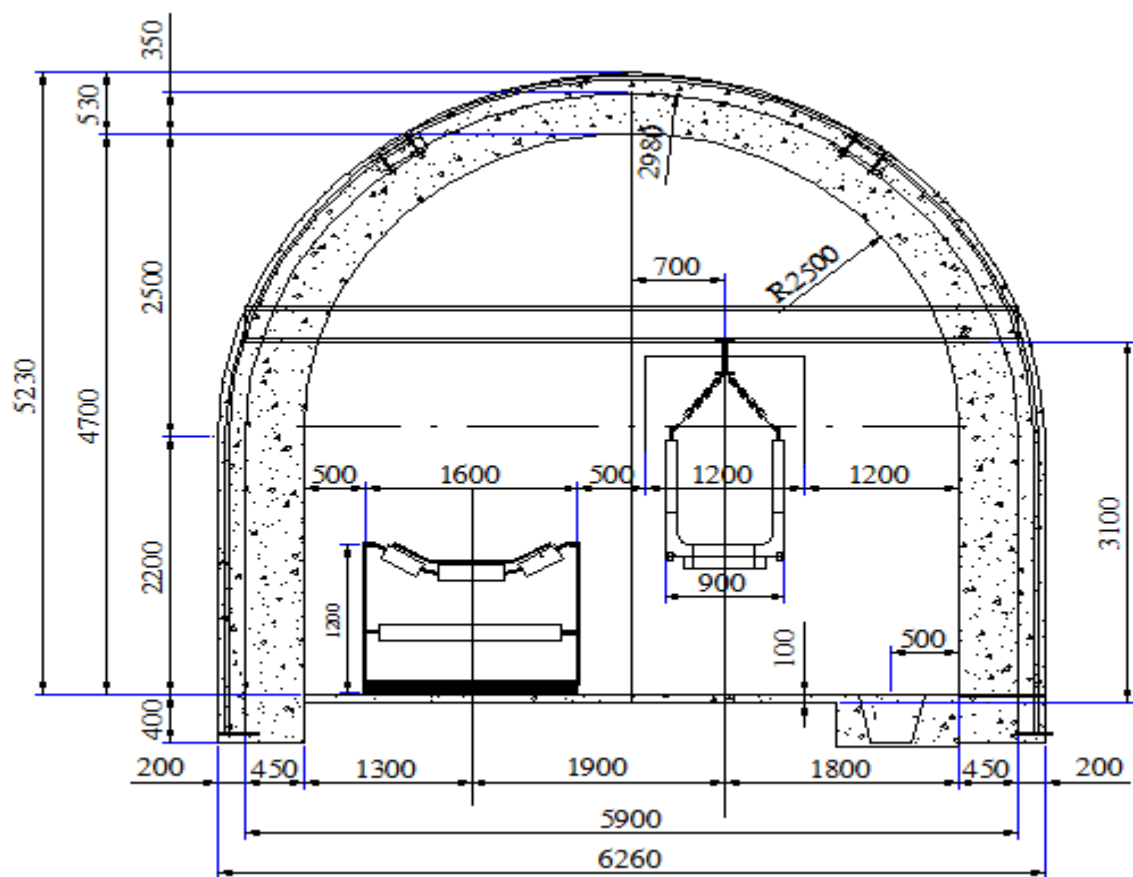


Рис. 1.5. Монолитная бетонная крепь (1,8%)

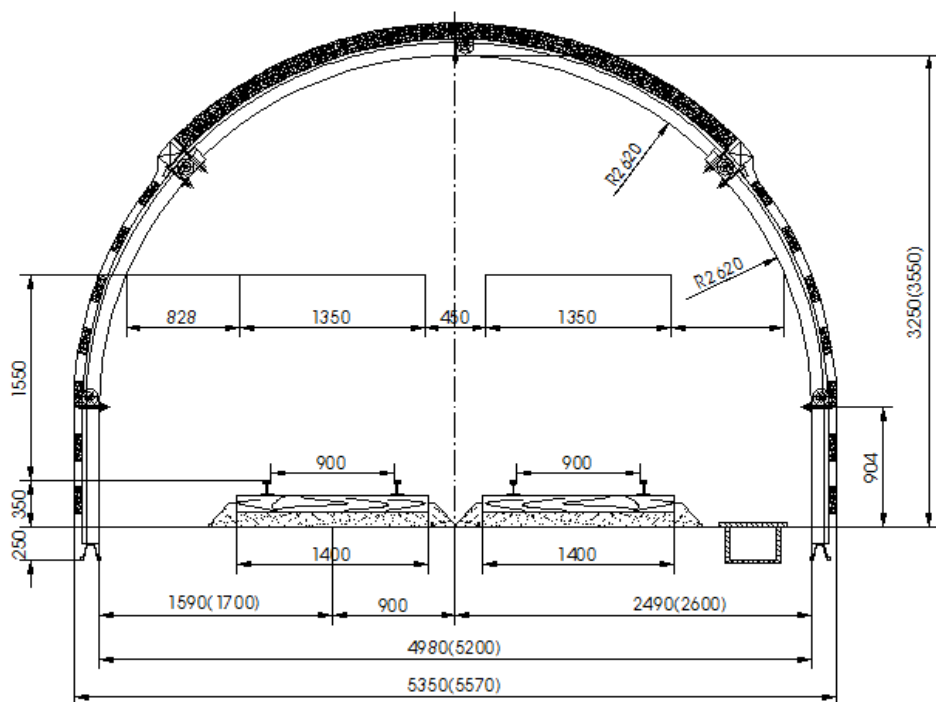


Рис. 1.6. Арочная металлическая крепь из СВП (90%)

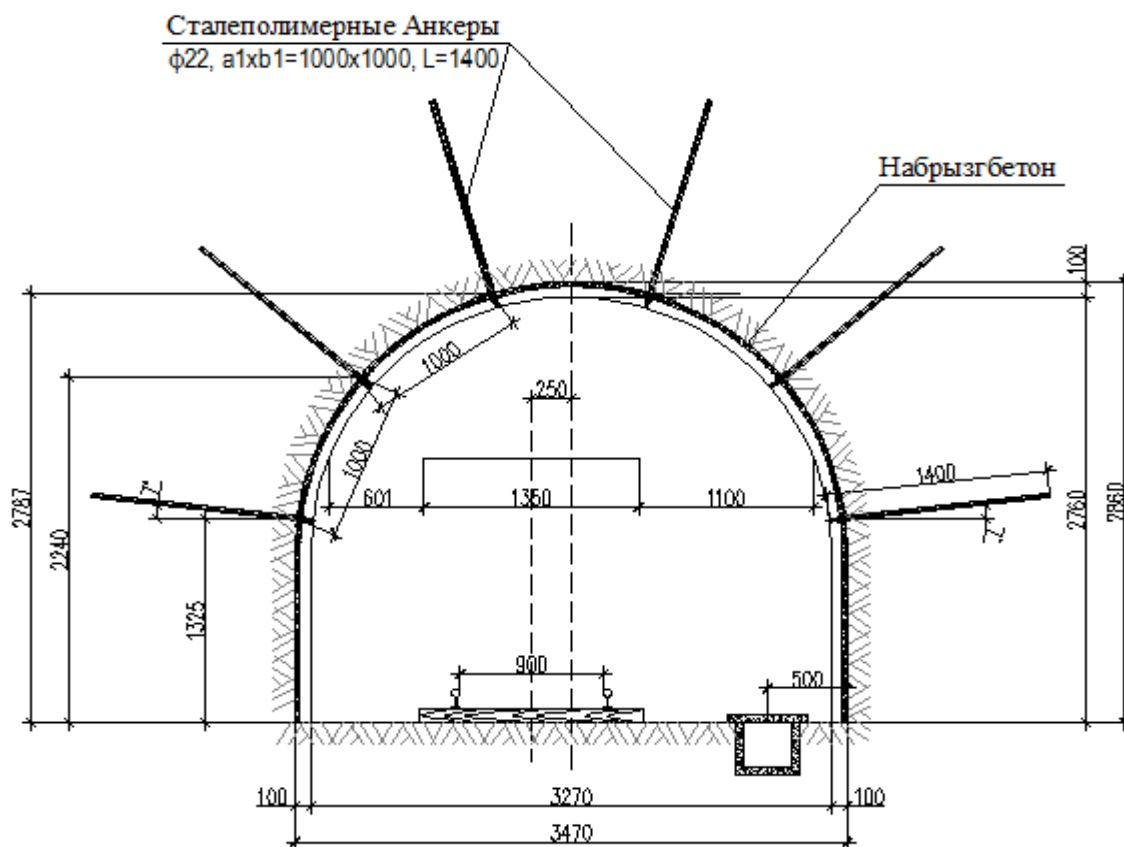


Рис.1.7. Анкер-набрызгбетонная крепь (1,5%).

Удельный вес применения различных видов крепей в общем объеме крепления горизонтальных и наклонных горных выработок при строительстве и реконструкции шахт угольного месторождения Хечам приведен в табл.1.3.

Как видно из приведенных данных, наиболее распространенным видом крепи для основных горных выработок является металлическая арочная. Арочная крепь из стального проката спецпрофиля СВП составляет около 95% от общей протяженности горных выработок шахт угольного месторождения Хечам. Однако исходя из анализа применений различных конструкций анкерных крепей и изучения условий их применения во всем мире, можно утверждать, что горно-геологические условия месторождений провинции “Куангнинь”, в частности Хечам, вполне соответствуют условиям применения

анкерных крепей различных конструкций, обзор которых приводится далее.

### **1.5. Анализ существующих конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах месторождения Хечам.**

Условно весь спектр конструкций анкерных крепей можно разделить на несколько классов, отличающихся друг от друга [29,41,78,85]:

- Механизмами закрепления в массиве горных пород.
- Материалами, из которых изготовлены анкера.
- Длиной анкеров.
- Степенью податливости анкера.
- величиной несущей способности анкера.
- Способу закрепления анкера в массиве.
- Временем введения анкера в работу.
- Конструктивными особенностями их применения в комбинации с различными конструкциями крепей горных выработок.

Анкерная или штанговая крепь является процессивной и экономически выгодной для крепления подземных сооружений, в мире применяется в широком диапазоне горно-геологических условий.

Исследованиями [83,84] установлено, что в самостоятельном виде анкерную крепь можно применять при креплении подземных сооружений, расположенных в слабообводненных, достаточно монолитных породах, при смещении пород кровли не более 100 мм. По данным [71] предельно возможная относительная деформация кровли горной выработки, закрепленной анкерами, не превышает 2%. Сверх этой величины кровля обычно обрушается. Однако современные исследования, выполненные в Кузбассе [2,24,43],

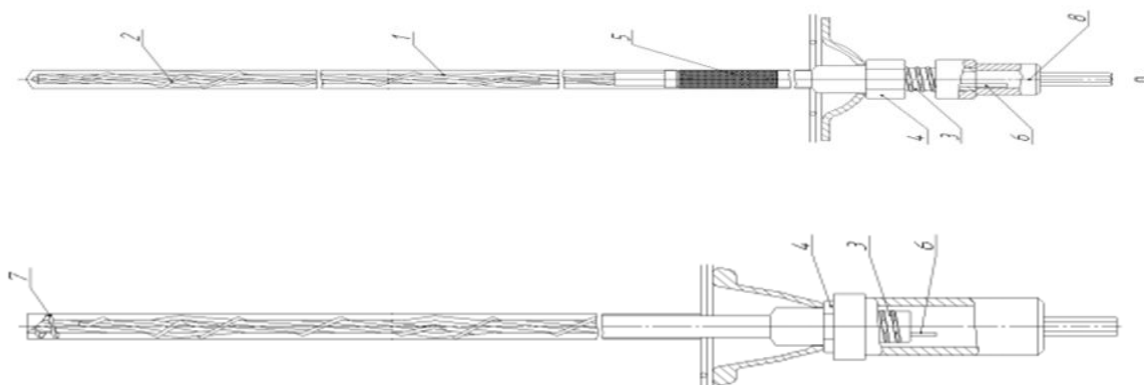
показывают, что новые конструкции канатных анкеров различной длины и способа закрепления успешно применяются при ожидаемых смещениях массива горных пород более 100 мм. (см. табл. 1.4).

Условия работы анкерной крепи в скважине и, следовательно, характер взаимодействия с массивом горных пород зависит от способа закрепления. Так, анкер можно закрепить в одной точке в забое скважины жестко или создавать возможность проскальзывания замка в скважине (податливый анкер). Применяются конструкции анкеров, которые закрепляют во всей длине скважины, жестко связывая массив горных пород. Выбор конструкции анкерного болта и способа его закрепления зависит от условий работы крепи.

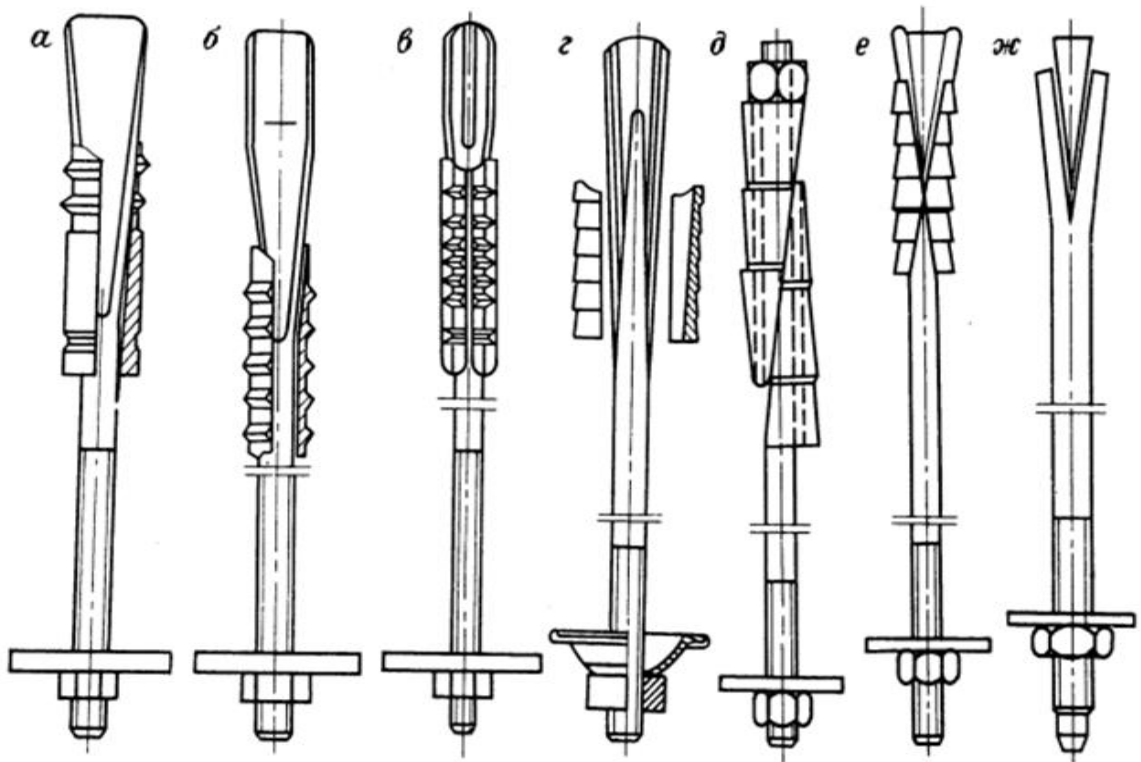
На рис 1.8 приведены конструкции анкеров, наиболее часто применяемых в горно-рудной промышленности Российской Федерации.

Ниже приведены технические характеристики и технология установки канатных анкеров, нашедших широкое применение на шахтах Кузбасса (табл. 1.4, 1.5).

### Канатные анкеры



## Механические анкеры



Армополимерные анкеры

Железобетонные анкеры

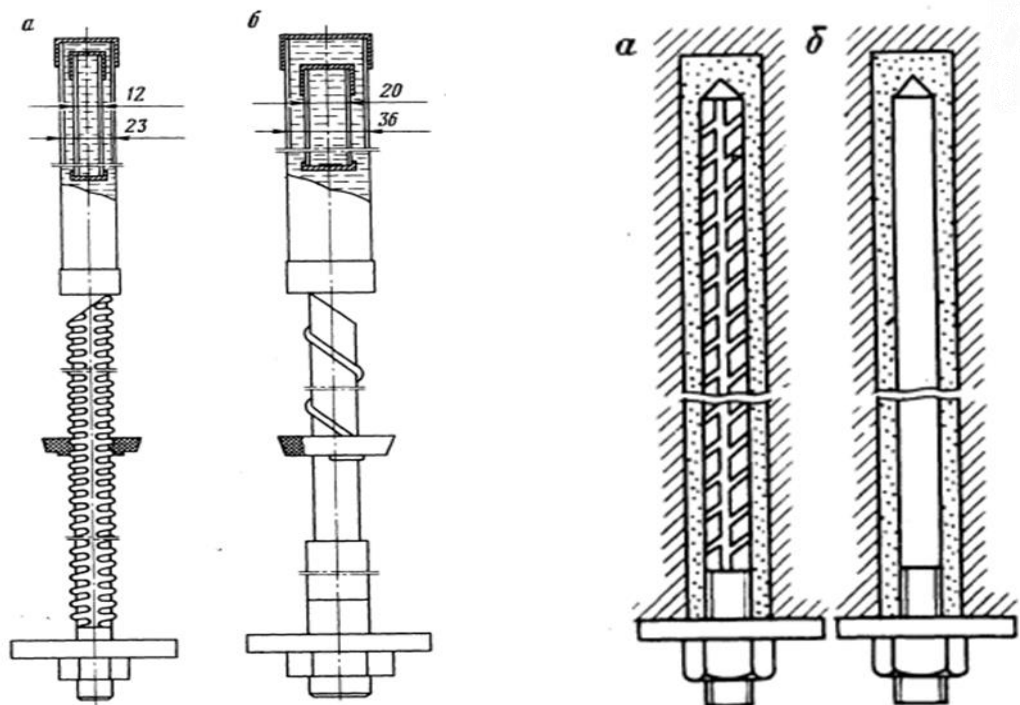


Рис 1.8. Конструкции анкерных крепей, применяемых в горно-рудной промышленности

Анкеры канатные. Способ закрепления и конструктивные особенности

Таблица 1.4.

Обозначение	Диаметр шпура, мм	Способ закрепления	Герметизация устья шпура	Муфта опорная	Воздухоотводящая трубка	Примеч.
AK01	30	Ампульный	Нет	Короткая	Нет	
AK01.M	30	Ампульный	Нет	Длинная		
AK02.M1	43	Нагнетательный	Резиновая трубка механическая	Длинная	Ф5×1 заплетена в муфту	Мех. Замок
AK02.M2	30	Нагнетательный	Резиновая трубка механическая	Длинная		Мех. Замок
AK.02.M3	30	Ампульно-Нагнетательный	Строительная пена	Длинная	Ф6×1 приварена к направляющей трубе снаружи	
AK.02.M4	30	Ампульно-Нагнетательный	Резиновая трубка механическая	Длинная	Ф5×1 заплетена в муфту	
AK.02.M5	30	Ампульно-Нагнетательный	Строительная пена	Короткая	Ф6×1 приварена к направляющей трубе снаружи	
AK.02.M6	30	Нагнетательный	Резиновые кольца	Длинная		Мех. Замок
AK.02.M8	30	Ампульно-Нагнетательный	Рукав подвод внутри через муфта	Длинная		
AKY01	32	Ампульный	Нет		Нет	
AKY02	32, 43	Ампульно-Нагнетательный	Рукав подвод внутри через муфта		Ф6×1 приварена к направляющей трубе снаружи	

## Основные параметры и размеры анкеров канатных

Таблица 1.5

Основные параметры и размеры	АК01/АК02	АКУ01/АКУ02
1. Минимальный интервал закрепления, мм	1100/Вся длина шпура	1500/Вся длина шпура
2. Расчетная несущая способность, кН	210	360
3. Относительное удлинение анкера канатного при расчетной несущей способности, %, не более	1,3	1,3
4. Прочность соединения гайки с муфтой, кН, не менее	270	400
5. Время достижения рабочего состояния (210 кН) крепи, час + Смолами (ампульный и ампульно-нагнетательный способ) + Быстротвердеющими минеральными композициями		
	1	1
	16	16
6. Рекомендуемая величина предварительного натяжения анкеров, закрепленных ампулами АМК сразу после установки (1-2 мин), кН	25 ÷ 30	-
7. Стержень грузонесущей канат арматурный ГОСТ 13840-68		
+ диаметр, мм	15,2	28 (3x12,4)
+ разрывное усилие, кН	232	492
8. Муфта		
+ диаметр наружный, мм	40	55
+ длина, мм	120; 140	130
9. Гайка		
+ высота, мм	40	50
+ размер под ключ, мм	55	75

Анкер канатный типа АК01/АК02 состоит из каната арматурного условным диаметром 15 мм, условным пределом текучести 1410 Н/мм<sup>2</sup> (144кгс/мм<sup>2</sup>) ГОСТ 13840-68 с узлами уширения,



шнеком проволочным, спиралью опорной на головным конце, соединенной с канатом муфты, гайка и опорных элементов (шайбы). Закрепляется ампульным, нагнетательным или ампульно-нагнетательным.

Анкер канатный АКУ01/АКУ02 состоит из стержня, образованного из трех канатов арматурных условным диаметром 12 мм, условным пределом текучести  $1410 \text{ Н/мм}^2$  ( $144 \text{ кгс/мм}^2$ ) ГОСТ 13840-68 с кольцами-обжимками, соединенной со стержнем муфты, гайка и опорных элементов (шайбы). Закрепляется ампульным, нагнетательным или ампульно-нагнетательным.

Способ закрепления, выбор закрепляющего материала выбираются на стадии разработки паспорта крепления выработки.

#### **1.5.1. Анализ применимых конструкций анкеров на шахтах месторождения Хечам.**

Анкерная крепь на шахтах месторождения Хечам применяется для крепления кровли подготовительных выработок с прочностью пород на сжатие, соответственно не менее 25 МПа. Выработки, закрепленные анкерной крепью, служат для транспортирования горной массы, доставки оборудования и материалов, передвижения людей, вентиляции шахт.

В основном анкер состоит из стержня, изготовленного из арматурного проката, металлического прутка, полимерного стрежня, винтового профиля и.т.д, шайбы опорной и гайки, применяются совместно с подхватами различных конструкций и ампулами с быстроотвердевающими полиэфирными составами, время отверждения которых после перемешивания в шпуре должно быть в пределах  $15 \div 170$  секунд в зависимости от марки применяемого

состава. Число ампул в шпуре и физико-технические свойства скрепляющего состава выбираются на стадии составления паспорта крепления выработки.

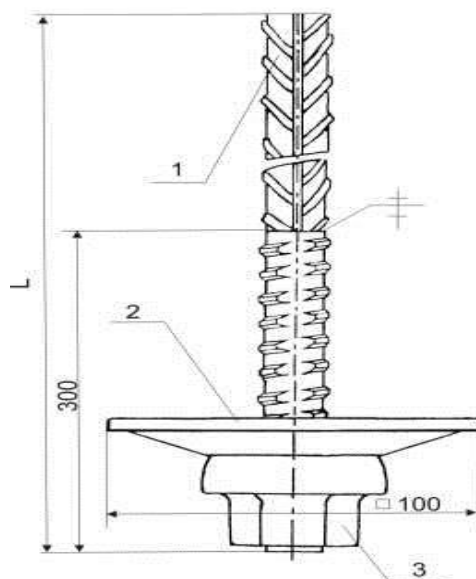


Рис.1.9. Конструкция анкерной крепи

1- Стержень; 2- опорная шайба; 3- Гайка; L- Длина стержня

Как правило, комплект анкерной крепи состоит из стержня анкера, шайбы опорной и гайки.

Технические характеристики анкерной крепи представлены в табл.1.6.

#### Технические характеристики анкеров

Таблица.1.6

Разрывное усилие, кН, не менее	205
Диаметр стержня, мм	20 - 22
Диаметр шпура, мм	30 - 42
Длина стержня, мм	1400/1600/1800/2100
Вес, кг	2,5/2,86/3,21/3,75
Срок службы, лет, не менее	10

В настоящее время в месторождении Хечам для закрепления анкеров в горном массиве используются полимерные ампулы (рис.

1.10) с малым временем отверждения. Технические характеристики полимерных ампул представлены в табл.1.7.

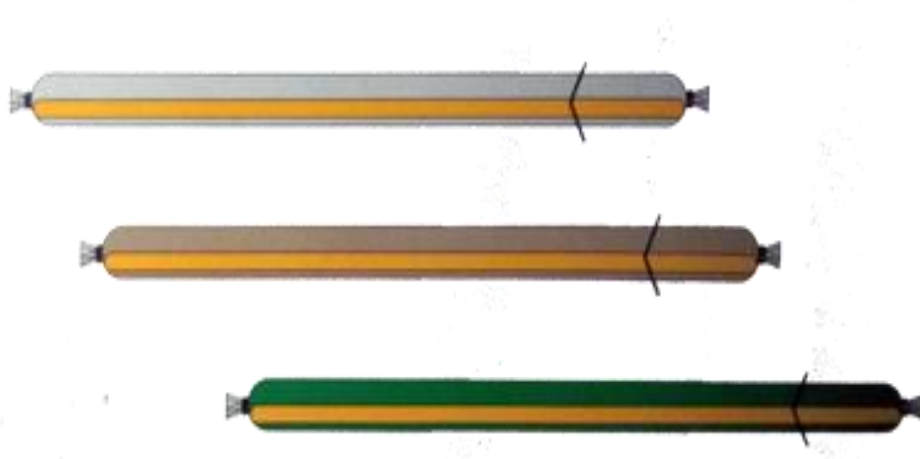


Рис.1.10. Полимерные ампулы для крепления анкеров в горном массиве

Технические характеристики полимерных ампул

Таблица.1.7

Время размешивания при 25 оС, сек	8 -25
Время отверждения (удержания) при 25 оС, сек	10 – 30
Длина ампулы, мм	350
Диаметр ампулы, мм	23
Срок хранения при 20оС	3 месца

Подхват имеет податливость и может использоваться в качестве опорного и демпфирующего элемента анкерной крепи горных выработок пройденных по углю и породе (рис. 1.11).

Анкероустановщик MQT-110С предназначен для безударного вращательного бурения и установки анкерной крепи при проведении подготовительных выработок.

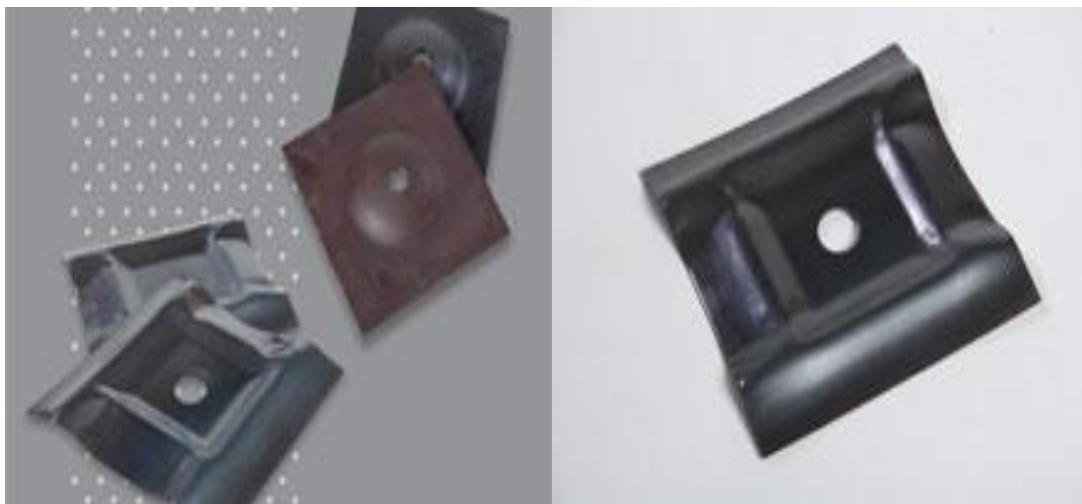


Рис.1.11. Подхваты

Технические характеристики анкероустановщика MQT-110C представлены в табл.1.8.

Технические характеристики анкероустановщика

Таблица.1.8

Максимально развиваемая мощность, кВт	2,5
Давление воды для промывки	0,6 – 1,2
Уровень шума, дБ	90
Максимальная высота, мм	3600
Минимальная высота, мм	1430
Вес, кг	51
Давление сжатого воздуха, мПа	0,4 – 0,63
Номинальная скорость вращения, об/мин	240
Номинальный крутящий момент, Нм	110
Холостой ход вращения, об/мин	780
Опрокидывающий момент, Нм	200
Расход воздуха, м.куб/мин	3,2
Максимальное усилие подачи, кН	9,9

### **1.5.2. Анализ существующих конструкции податливых анкерных крепей**

Из существующих конструкций податливых крепей податливые анкеры обладают исключительной способностью к реализации смещений контура выработки во всех направлениях. Анкеры практически не занимают площади сечения, могут быть установлены в выработках любых размеров и формы. Податливость анкеров позволяет породе перемещаться, не снижая несущей способности анкера, что дает возможность породам вокруг выработки достичь нового состояния равновесия.

В настоящее время разработаны и используются различные конструкции податливых анкеров.

Патентный поиск и анализ существующих конструкций податливых анкеров показали, что по принципу работы их можно разделить на две группы:

- конструкции, в которых податливость осуществляется посредством деформирования самого стержня анкера или разрыва его элементов,
- конструкции, в которых податливость осуществляется за счет введения дополнительного узла податливости.

Податливые анкеры первой группы более просты в конструкции и менее трудоемки при их возведении. Однако величина податливости конструкций этой группы незначительна, вследствие чего их область применения оказывается более узкой.

Конструкции второй группы характеризуются большой величиной податливости и надежностью в податливом режиме работы. Главным недостатком анкеров данной группы является их сложность в конструкции и трудоемкость при возведении.

В результате анализа существующих конструкций податливых анкеров, учитывая их достоинства и недостатки, на наш взгляд более предпочтительнее применение конструкций податливых анкеров, относящихся ко второй группе. Однако следует упростить конструкцию анкеров и тем самым уменьшить трудоемкость при его возведении.

### **1.5.3. Современное состояние вопроса в области проектирования крепей горных выработок.**

Главным критерием успехов, достигнутых в области проектирования крепей, является снижение затрат средств и труда на крепление, поддержание и эксплуатацию горных выработок.

Рассматривая с этих позиций состояние проблемы крепления горных выработок на угольных шахтах месторождения Хечам, можно привести следующие факты:

При достаточно хороших горно-геологических условиях выработки крепят металлическими или металло-бетонными конструкциями, на что затрачиваются огромные средства.

В 80% от всего объема сооружаемых выработок, на крепление можно резко сократить капитальные затраты путем применения легких конструкций. Однако отсутствие в проектных организациях соответственной нормативной базы проектирования не позволит это осуществить.

На основании изложенного может быть сделан вывод о том, что в целом нормативная база и практика проектирования, прежде всего не удовлетворяют современным требованиям научно-технического прогресса, несмотря на то, что в этом направлении проводится значительная работа.

Приступая, к проектированию крепи, проектировщик, прежде всего, сталкивается с необходимостью оценить для данных горно-геологических условий проявления горного давления, то есть определить смещения контура и нагрузку на крепь.

Анализ развития механики горных пород достаточно подробно изложен в работах А. А. Борисова [7], К. В. Руппенейта [55], Ю. М. Либермана [34], И. В. Баклашова, Б. А. Картозия [5], Н. С. Булычева [9], Ж. С. Ержанова [15], Ю. З. Заславского [26], Г. Л. Фисенко [74] и др. Поэтому ограничимся лишь кратким рассмотрением основных направлений механики горных пород с точки зрения последующего изложения и использования материала.

В соответствии с современными представлениями механики горных пород различают следующие формы проявлений горного давления.

Вывалообразование или обрушение кровли и бортов выработки под действием собственного веса обрушающихся пород. При небольшой глубине разработки эта форма проявлений горного давления (свод обрушения) может иметь определяющее и самостоятельное значение, и наоборот, при значительных напряжениях в массиве вывалообразование может лишь сопутствовать другим формам проявлений горного давления. К числу методов, моделирующих процесс вывалообразования, относятся методы В. Риттера, М. М. Протодяконов, П. М. Цимбаревича, А. А. Борисова, Н. П. Покровского, В. М. Мосткова.

Отличительной чертой этих методов является отсутствие в модели, а следовательно, и в расчетных формулах параметра, характеризующего глубину разработки или напряженного состояния массива.

К следующей форме проявлений горного давления следует отнести образование свода предельных равновесий. В отличие от “свода обрушения” в формировании “свода предельных равновесий” решающую роль играют напряжения в массиве горных пород.

Такой подход к прогнозированию проявлений горного давления связан с развитием теории упругости и пластичности.

Относящиеся к этому направлению расчетные методы можно подразделить на три группы:

- Размеры свода определяются путем отыскания такой формы выработки, для которой напряжения на контуре всюду сжимающие и имеют наименьшее значение, а растягивающие напряжения отсутствуют.

- Размеры свода определяются методами строительной механики (А. А. Борисов [7]).

- Размеры свода определяются из решения упруго-пластической задачи (К. В. Руппенейт [55], И. В. Баклашов, Б. А. Картозия [4], Ю. М. Либерман [34] и др.).

Следующей характерной формой проявления горного давления является образование вокруг выработки области неупругих деформаций, которая однако же имеет определенные границы, соизмеримые с размером выработки (Р. Феннер, А. Лабасс, Ж. Талобр, К. В. Руппенейт, В. И. Шемякин, Ш. М. Айталиев, В. С. Сажин, Ю. М. Либерман, В. Т. Глушко, Г. А. Крупенников, Б. З. Амусин, Н. С. Булычев, Ю. З. Заславский, А. Г. Протосеня, И. В. Баклашов, Б. А. Картозия, В. Ю. Изаксон, Г. Л. Фисенко).

Для получения расчетных методов прогнозирования проявлений горного давления в этом случае решалась та или иная разновидность упруго-пластической задачи.



Большой вклад в развитие механики горных пород путем решения задач с учетом ползучести горных пород был внесен Ж. С. Ержановым, М. И. Розовским, Ш. Т. Айталиевым, В. Т. Глушко, Ю. А. Векслером и др.

Область вязкого течения горных пород рассмотрена в работах Г. А. Крыжановской, А. П. Максимова, В. А. Лыткина, М. И. Вескова и др.

Необходимо также упомянуть о формах проявлений горного давления при проведении выработок в сыпучей и псевдосыпучей средах. К числу работ, посвященных этой теме, можно отнести работы М. М. Протодяконова, В. В. Соколовского, А. А. Борисова, Н. С. Булычева и др.

В России и за рубежом разработаны методики выбора конструкции крепи, и методы их расчетов для различных горно-геологических условий. В 80 – 90 е годы в Донецком угольном бассейне Ю. З. Заславским был приложен и широко апробирован критерий устойчивости породных обнажений, основанный на сравнении напряжении на контре выработок с прочностями характеристики массива горных пород.

Несколько позднее в Кузбассе Ерофеевым был предложен, научно-обоснован подобный критерий, по уже учитывающий факторы снижения прочности горных пород в массиве за счет влияния таких факторов как, трещиноватость массива горных пород, форма выработок, влияние соседних горных выработок, и наличие очистных работ.

В работах Ю. З. Заславского [25,26], Л. А. Кафорина, Ю. И. Свирского, Б. А. Картозия, К. В. Кошелева, Т. Н. Цая, К. А. Ардашева, Е. В. Стрельцова, А. П. Пастухова, А. П. Широкова [79,80,81], Н. С.

Булычева [10], И. Г. Коскова и др. [16,19,20] Рассмотрены вопросы выбора типа крепи и совершенствования их конструктивных решений.

В 1977-1978 гг. вышли в свет “Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР (ВНИМИ), которые явились заметным успехом в деле упорядочения и систематизации существующих достижений, т. к. содержали уже более конкретные рекомендации по прогнозированию проявлений горного давления и расчету крепей. На основе этих “Указаний по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР”, а также работ институтов ВНИИОМШС [54], Кузнишахтостроя, МакИСИ, ИГТМ, МГИ, ЛГИ и др. в 1981 г. был разработан СНиП П-94-80 “Нормы проектирования подземных горных выработок”. По сравнению с СНиП П-М.4-65, СНиП П-94-80 [57] значительно улучшен, однако многие его разделы не прошли экспериментальной проверки и не подтверждены практикой проектирования.

К сожалению, и в указанных нормативных документах не удалось еще в полной мере учесть и применить современные достижения механики подземных сооружений и механики горных пород. Прогнозирование нагрузок и смещений для горизонтальных горных выработок попрежнему ведется на базе чисто эмпирических закономерностей без учета разнообразия форм проявлений горного давления.

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 могут применяться теория “свода предельных равновесии” дополнительно учитывающая изменения прочностных характеристик горных пород под влиянием ранее не учтенных факторов, изменяющих их величину.

Таким образом, в настоящее время в России и Море имеются теоритические 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 разработаны количественные критерии, определяющие область применения тех или иных методов конкретно для целей проектирования крепей капитальных выработок, строящихся в различных горно-геологических условиях месторождения Хечам.

#### **1.6. Основные выводы, цели и задачи исследований**

Выполнив анализ состояния вопроса крепления горных выработок шахт месторождения Хечам и определения путей снижения материальных и трудовых затрат на крепление горных выработок при условии обеспечения устойчивости выработок на необходимый, по условиям деятельности предприятия, срок их службы, можно сделать следующие выводы.

1. Основным (90%) видом крепи капитальных горных выработок шахт месторождения Хечам является металлическая крепь с различной плотностью ее установки в сочетании с железобетонной затяжкой закрепленного пространства.

2. Горные породы, в которых сооружены горные выработки, представлены в основном песчаниками (45,61%), алевролитами (42,32%), аргиллитами (3,23%) с пределом прочности при сжатии

соответственно 81; 44,8 и 22,4 МПа. Как известно из практики крепления горных выработок шахт России в таких горно-геологических условиях не только возможно, но и целесообразно применение других конструкций, обладающих меньшей материалоемкостью и значительно меньшими трудовыми затратами на их возведение, что значительно сокращает величину себестоимости добываемого сырья и приводят к более высокой эффективности деятельности горного предприятия.

3. Для качественной и количественной оценки напряженно-деформированного состояния горных пород в пределах месторождения Хечам необходимы не только сведения о прочностных свойствах горных пород, но и их деформационные свойства, так как практика крепления горных выработок показывают, что в течение 20-40 суток с момента обнажения горной породы, при стротельстве горных выработок, происходит снижение прочностных свойств горных пород, что приводит к их обрушению. Исследований причин этого явления в месторождении Хечам не проводилось, и поэтому необходимы дополнительные лабораторные исследования реологических свойств горных пород (длительная прочность) и ее влияние на прочность горных пород во времени.

4. В настоящее время в целом нормативная база для проектирования угольных предприятий месторождения Хечам не удовлетворяет требованиям научно-технического процесса, не смотря на значительный объем выполненных работ в этой области в России и за рубежом.

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 месторождения Хечам необходимо:

- 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 и конструкции анкерной крепи горных выработок шахт месторождения Хечам.

## **Глава 2. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработок.**

Вокруг горных выработок различной формой поперечного сечения, расположенных в различных горно-геологических условиях образуются три характерные области деформирования и разрушения (допредельное деформирование, запредельное деформирование и область руинного разрушения). Размеры этих областей и величина смещений горных пород вокруг выработок определяют их устойчивость.

Для выбора эффективных способов и средств поддержания горных выработок необходимо кроме вычисления величины смещений иметь информацию о величине нагрузки на крепь. Нагрузка на крепь формируется в результате потери устойчивости пород кровли выработок, которые происходят при условии превышения нагрузки на крепь прочностных свойств горных пород, а именно предела прочности при сжатии. В настоящее время существуют нормативные документы для определения величины нагрузки на различные виды крепи однако при расчете анкерных крепей, которые могут весьма усиленно применяться в условиях угольных шахт месторождения Хечам, не учитываются такие свойства горных пород как длительная прочность, которая по мнению многих исследователей оказывает существенное значение при строительстве и эксплуатации горных выработок.

Практический опыт строительства и эксплуатации горных выработок, закрепленных анкерными крепями как в чистом виде, так и в состоянии с набрызгбетонными конструкциями показывает что в 50-60% случаев крепления выработок этими крепями по истечению

некоторого времени происходит обрушение анкеров в выработку и, как следствие, потеря устойчивости выработки. На наш взгляд это происходит в результате формирования нового свода равновесий, происходящего из-за потери прочности массива горных пород под воздействием длительного нагружения массива, т.е. формирование свода предельного равновесия горных пород происходит в два этапа:

*Первый этап* - свод естественного равновесия горных пород формируется с учетом мгновенной прочности горных пород (сразу после обнажении горных пород);

*Второй этап* - под влиянием постоянного напряжения массива горных пород происходит снижение прочности пород, с учетом которого и формируется новый свод естественного равновесия.

Таким образом, явление «длительной прочности» горных пород оказывает существенное влияние на формирование свода предельного равновесия горных пород и напряжений на контуре выработок, что влечет за собой корректировку конструкции и способов применения анкерных крепей в горной промышленности.

В целях изучения параметров «длительной прочности» горных пород месторождения Хечам в Ханойском институте горного дела были выполнены лабораторные испытания горных пород.

## **2.1. Образование свода давлений над одиночными выработками.**

Существенное снижение материалоемкости при креплении горных выработок возможно при переходе на менее материалоемкие облегченные конструкции. При этом происходит значительное расширение технологических возможностей подземного строительства, как при строительстве шахт, так и в случаях освоения подземного строительства крупных городов.

Одновременно выявляются проблемы в выборе схем и способов укрепления контура выработок анкерными креплениями.

Инструментальные исследования по изучению поэтапной деформации заанкерowanego приконтурного массива показывают:

- Деформации и разрушения заанкерowanego массива происходят в несколько этапов в зависимости от физико-механических свойств горных пород, их возможности разрушаться при длительной нагрузке на них в единицу времени.

- На формирование в сводовых частях выработки зон разрушения при длительных высоких действующих напряжениях, превышающих механическую, оказывает прочность пород.

В условиях слоистых структур пород кровли, поврежденных эндогенными и экзогенными системами трещин, связанные анкерами породные структуры могут представлять собой многошарнирные механические системы. Устойчивость таких систем в течение времени ( $T$ ) и ( $T+\Delta T$ ) определяется условиями их заделки над сводовыми частями выработки и подвески их анкерами к устойчивому контуру выработки. Известно, что в окрестности сводовых и угловых частей выработки формируются зоны повышенной концентрации касательных напряжений и, соответственно, зоны нарушения сплошности (ЗНС) приконтурного массива. Поскольку массив представляет собой по большинству условий слоистую структуру, контур устойчивой части массива ограничивает ЗНС в виде свода давления.

На рис.2.1 проектный контур свода давления над выработкой представлен в виде дуги ABC. К контуру свода давления приурочена



координата смены знаков касательных напряжений на контакте закрепляющей втулки анкера со стенами шпура.

Равновесие анкера и приконтурного массива (сечение 1-1) в течение времени (t) соблюдается при условии:

$$\int_{M1}^{M2} \hat{r}(y) dy - \int_{M1}^{M2} \hat{r}(y) dy + \sum_{i=1}^n g_i = 0, \quad (2.1)$$

Λ

где  $\hat{r}(y)$  - касательные напряжения на контакте закрепляющей втулки со стенками шпура;

$\sum_{i=1}^n g_i$  - удельная реакция опорного элемента анкера, равная весу пород, потерявшему сцепление с массивом, упрочненным анкерами

Рис.2.1 иллюстрирует схему нагружения анкеров на момент времени (T) и (T+ΔT). На момент времени (T) контур свода давления ограничивает зону дезинтегрированных пород, передающих свой вес на опорные элементы анкеров. Зона дезинтегрированных пород ограничена также конусами пород вокруг анкера, характеризующимися меньшим уровнем дезинтеграции и передающими свой вес непосредственно на стержень анкера.

Вследствие изменчивости свойств среды от длительного нагружения появляются участки с пониженной прочностью. На этих участках эффективный пролет выработки увеличивается в момент времени (T+ΔT) с AC до  $A_1C_1$  ( $A_1C_1 > AC$ ).

Увеличение пролета AC до уровня  $A_1C_1$  приводит к повышению уровня дезинтеграции пород, высоты свода давления  $A_1B_1C_1$ ,

ограничивающего нейтральный горизонт смены знаков касательных напряжений на стенках шпура.

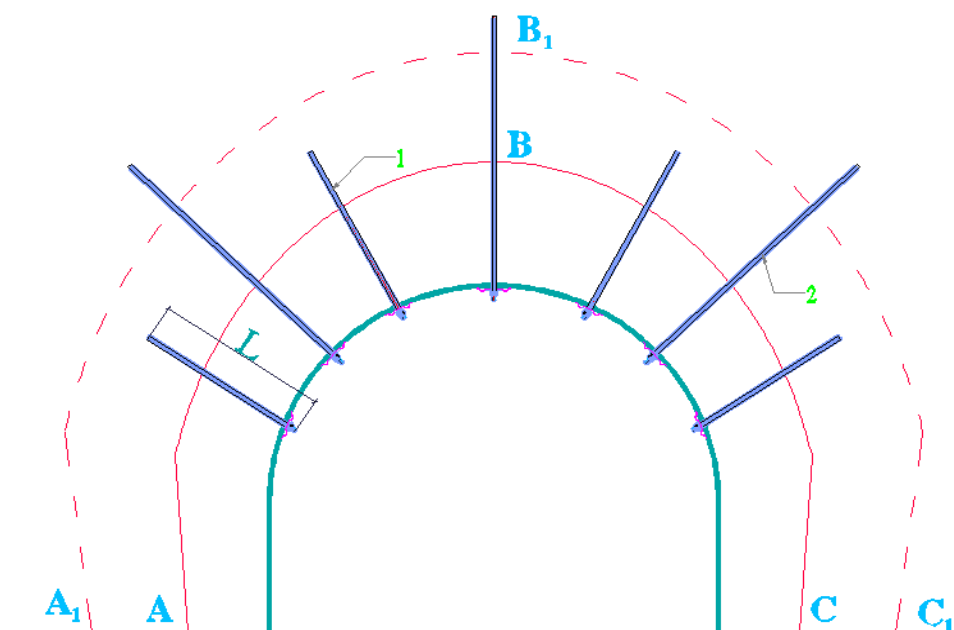


Рис 2.1. Схема крепления выработок анкерной крепью

ABC – контур зоны равновесного состояния пород при поддержании выработки в течение времени  $T$ ;

$A_1B_1C_1$  – контур зоны равновесного состояния пород при поддержании выработки в течение времени  $T + \Delta T$ , с учетом эффекта длительной прочности горных пород.

1- Анкера первого уровня крепления;

2- Анкера второго уровня крепления;

Условие равновесия (2.1) нарушается и породы кровли по контуру ABC обрушаются вместе с анкерами.

Вследствие этого приведенная схема анкерования ненадежна с точки зрения обеспечения устойчивости контура выработок.

Более надежны многоуровневые схемы крепления, в которых кроме анкеров длиной до 2 м могут использоваться анкеры глубокого заложения, которые закрепляются за контуром зон активной

дезинтеграции пород (за сводом давления). Такие анкеры могут устанавливаться с отставанием от забоя в зависимости от величины длительной прочности пород.

В этом случае, когда напряжения на контуре выработок превосходят предел прочности при сжатии, начинается разрушение массива, и контур выработки стремится приобрести такую форму, при которой восстанавливается равновесие между действующими напряжениями и прочностными свойствами пород.

При этом потеря устойчивости контура происходит под действием дополнительных напряжений, возникающих при проведении выработки.

Многие исследователи считают, что наиболее вероятной устойчивой формой области предельных равновесий является эллипс.

Так Сегаль, Р. Феннер [75], К. Фрицше считали, что если дополнительные напряжения превосходит предел прочности окружающего выработку массива, то начинается процесс разрушения, который не распространяется произвольно, а при определенных условиях ограничивается эллиптической поверхностью.

По предложению Ж. С. Ержанова устойчивым также считается эллиптической свод при таком соотношении осей, когда растягивающие напряжения по вертикальной оси симметрии равны нулю.

Указанные идеи применялись при расчете крепей туннелей и горных выработок и при определенных условиях давали хорошие результаты.

Экспериментальные наблюдения за развитием области предельных равновесий вокруг выработок различных форм также дают основание для такого вывода [2].

Для определения размеров свода равновесия для первоначального и вторичного деформирования выполнены следующие расчеты.

Напряжения на контуре свода, форма которого представляет собой эллипс (рис 2.2), для изотропного невесомого массива определяется формулой:

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_z}{\sin^2 \theta + C^2 \cos \theta} \left\{ (1+C)^2 \cos^2 \theta - 1 + \lambda [(1+C) \sin^2 \theta - C^2] \right\}, \quad (2.2)$$

где  $\theta$  - угол между вектором точки, где определяются напряжения, и осью  $x$ ;  $C$  – отношение полуосей эллипса.

При  $\lambda < 1$  растягивающие напряжения имеют наибольшие значения при  $\theta = 90^\circ$ .

Решив уравнение относительно  $C$  при  $\theta = 90^\circ$ , получим:

$$C = \frac{-\sigma_{\theta} + \lambda \sigma_z (1 - \lambda)}{2\lambda \sigma_z}. \quad (2.3)$$

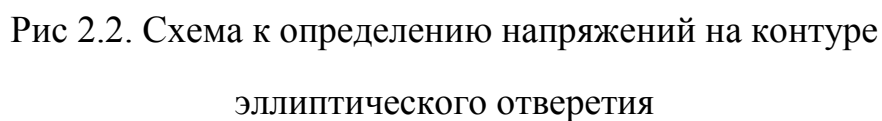
Условие прочности по растягивающим напряжениям имеет вид

$$\sigma_z = \sigma_{PM}.$$

Тогда размеры свода обрушения, на контуре которого принятое приведенное выше условие прочности по растягивающим напряжениям должно быть соблюдено, найдутся из выражения:

$$C = \frac{-\sigma_{PM} + \lambda \sigma_z (1 - \lambda)}{2\lambda \gamma H}.$$

Разрушение контура выработки может быть вызвано также действием касательных напряжений.


$$\tau_{nt}^2 = \frac{(\sigma_n + \sigma_{PM})K_M^2}{\sigma_{PM}} \quad (2.4)$$
$$\begin{aligned}\sigma_n &= \sigma_\theta \cos^2 \alpha, \\ \tau_{nt} &= \frac{1}{2} \sigma_\theta \sin 2\alpha\end{aligned}\tag{2.5}$$

53

$$(\sin 2\alpha \frac{\sigma_{\theta}}{2})^2 = \frac{(\sigma_{\theta} \cos^2 \alpha + \sigma_{PM}) K_M^2}{\sigma_{PM}} \quad (2.6)$$

Но, как ранее было показано, угол между главным напряжением  $\sigma_{\theta}$  и нормалью к площадке среза:

$$\alpha = \sigma_z C \cos \sqrt{\frac{\sigma_{PM}}{2\sigma_{PM} + K_M}} \quad (2.7)$$

Подставив значение  $\alpha$  в выражение (2.6) и, выразив из него  $\sigma_{\theta}$ , а затем  $C$ , получим:

$$C = \frac{2\sigma_z \sigma_P}{K(2\sigma_P + K) - \sigma_z(1 - \lambda)\sigma_P} \quad (2.8)$$

Для горизонтальной оси симметрии при  $\lambda < 1$  условие прочности на контуре может быть также записано в следующем виде:

$$\sigma_{\theta} \geq \sigma_{сж}$$

Тогда на основании формулы (2.8) можно записать еще одно выражение для определения размеров свода предельных равновесий:

$$C = \frac{2\sigma_z}{\sigma_{сж} - \sigma(1 - \lambda)} \quad (2.9)$$

Расчетные значения  $C$  по формулам (2.8) и (2.9) отличаются друг от друга  $\approx$  на 7%, поэтому с некоторым запасом прочности расчет рекомендуется проводить по формуле (2.9).

Предел применимости формул (2.8) и (2.9) определяется следующим неравенством:

$$\frac{a}{B} \leq C \leq \frac{1}{\lambda} \quad , \quad (2.10)$$

где  $a$  и  $B$  – размеры выработки по высоте и ширине.

При  $C \leq \frac{1}{\lambda}$  тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta$ , как известно, имеют одинаковые значения во всех точках эллиптического отверстия. Причем, эти напряжения меньше, чем наибольшее значение при любом другом значении  $C$ . Следовательно, если при расчетах по формулам (2.8) и (2.9) получим  $C < \frac{1}{\lambda}$ , то что будет означать, что для данной задачи условия прочности на контуре свода предельных равновесий не могут быть удовлетворены.

Выполненные расчеты не учитывают фактора времени. Учет этого фактора представляет, вообще говоря, сложную задачу, для решения которой необходимо знать целый ряд параметров.

Как уже отмечалось, к числу наиболее разработанных относится теория линейной ползучести, однако, область ее применения весьма ограничена.

Исследованиями, выполненными различными авторами, установлено, что предел длительной прочности пород на одноосное сжатие может быть значительно меньше предела прочности, определенного обычными испытаниями.

Подставим в формулу (2.9) вместо  $\sigma_{сж}$  функцию этого параметра от времени. Тогда получим следующее выражение:

$$C = \frac{\sigma_z}{\sigma(t) - \sigma(1 - \lambda)} \quad (2.11)$$

Для выработки прямоугольного очертания:

$$P = \gamma h c = \gamma \left[ \tau_{эк} (C - 1) \right] + \left( \tau_{эк} - \frac{hc}{2} \right) \quad (2.12)$$

Для выработки арочной формы

$$P = \gamma[\tau_{\text{ЭК}}(C - 1)] , \quad (2.13)$$

$$\text{где } C = \frac{2\sigma_z}{\sigma_{\text{сжс}} - \sigma_z(1 - \lambda)} \quad (2.14)$$

Исходя из изложенного в данной работе ставится задача по определению параметров длительной прочности горных пород окружающих горных выработок на шахтах месторождения Хечам региона Куангнинь Вьетнама.

## **2.2. Лабораторные исследования.**

### **2.2.1. Общие сведения об способах определения длительной прочности горных пород.**

Практика применения анкеров для крепления горных выработок показывают, что в 60-80% случаев через определенный промежуток времени происходит самопроизвольное выпадение анкеров из скважины и, как правило, частичное обрушение горных пород до образования нового свода обрушения. На наш взгляд это явление происходит вследствие разрушения горных пород во времени т.е имеет место влияние такого свойства горных пород как «длительная прочность» горных пород. Поэтому при проектировании анкерной крепи и ее применении необходимо учитывать возможное двухстадийное разрушение горных пород вокруг выработок, которое оказывает влияние на устойчивость горных выработок в процессе их эксплуатации с течением времени (см. рис 2.1).

Для оценки степени снижения прочностных свойств горных пород во времени при постоянном уровне напряжений выполнен анализ существующих методов определения коэффициента длительной прочности, который определяется как отношение мгновенной прочности горных пород при сжатии к остаточной



прочности горных пород, находящихся под постоянным напряжением в течение определенного времени ( $R_{сж}/(R_{сж}^t)$ ).

В зависимости от целей и задач, решаемых в каждом конкретном случае, существует несколько методов определения величины длительной прочности горных пород. Например, в случае определения фактической величины предела прочности при сжатии ( $R_{сж}^t$ ) в определенный промежуток времени в Московском государственном горном университете был предложен способ (патент № 2339816), основанный на времени затухания ( $t$ ) акустической эмиссии при ступенчатом возрастающем нагружении образца горной породы [86].

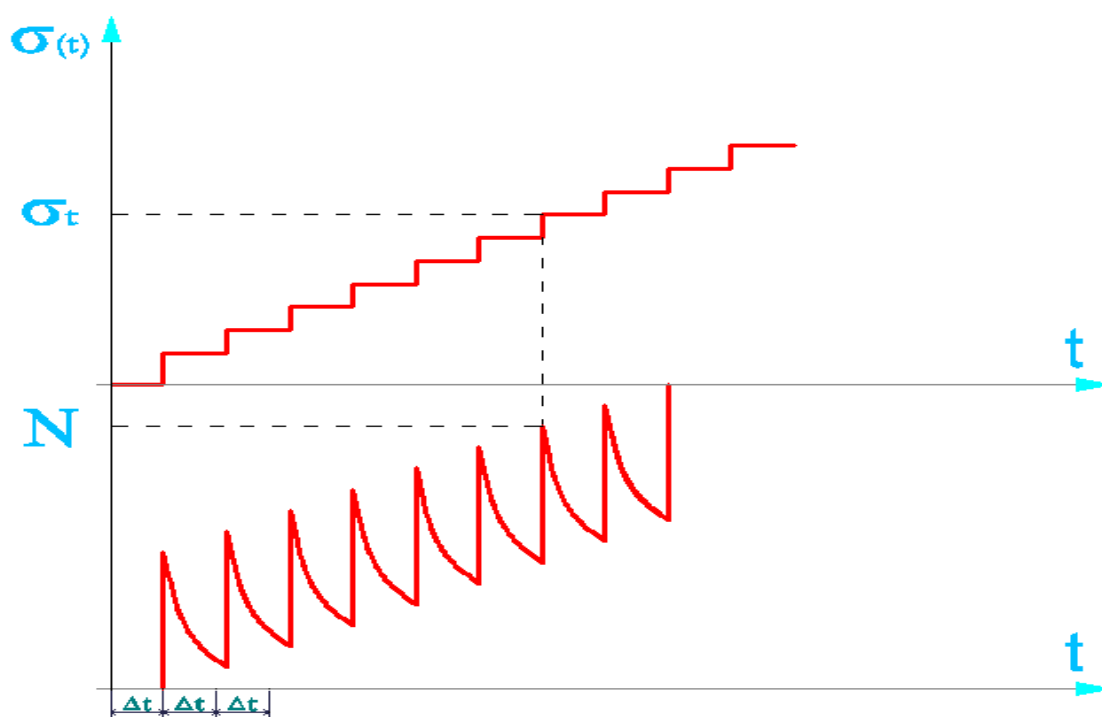


Рис 2.2. Способ определения длительной прочности горных пород

Представленный способ позволяет определить предел прочности при сжатии  $R_{сж}^t$  в любой промежуток времени.

Профессор Долгопоев В.Н и доцент Старостина С.В предлагают деформацию горных пород во времени рассматривать, как результат

изменения структуры, одновременного развития дефектов и переориентации минеральных частиц.

Условия длительной прочности горных пород записывается в виде:

$$\tau = \tau_0 - (\tau_0 - \tau_\infty) \frac{t_P}{T_P - t_P}, \quad (2.15)$$

где  $t_P$  – момент разрушения горных пород.

Данное уравнение является универсальным, т. к. определено на всей числовой оси времени от  $t=0$  до  $t=\infty$ .

Вопросы количественной оценки длительной прочности горных пород изучались институтами ВНИМИ, ВИОГЕМ, УкрНИИпроект и др. Для описания процесса снижения прочности горных пород во времени в ряде случаев удобно использовать экспоненциальную зависимость:

$$K_{(t)} = K_\infty - (K_0 - K_\infty)e^{-\lambda t} \quad \tau_{(t)} = \tau_\infty + (\tau_0 - \tau_\infty)e^{-\lambda t}, \quad (2.16)$$

где:  $K_0$  и  $K_\infty$  – мгновенное и длительное сцепление горных пород, МПа;  $\tau_0$  и  $\tau_\infty$  – мгновенная и длительная прочность горных пород, МПа;  $\lambda$  – эмпирические коэффициенты.

В связи с поставленными задачами и целями в данной работе в рамках лабораторных исследований необходимо изучить и экспериментально определить следующие параметры длительной прочности горных пород месторождения Хечам:

$R_{сж\ t}$  – предел прочности горных пород в момент разрушения образца, при длительном его нагружении, МПа;

$t$  – время до момента разрушения образца, сут;

$R_{сж}$  – мгновенная прочность образца горных пород, МПа.

Автором данной работы была разработана методика и выполнены исследования по определению коэффициента длительной прочности горных пород месторождения Хечам.

### 2.2.2. Методика лабораторных исследований

Для выполнения исследования по изучению длительной прочности горных пород месторождения Хечам был изготовлен специальный стенд, состоящий из 10 секций, обеспечивающих постоянное нагружение образцов горных пород в заданных пределах. Схема стенда представлена на рис 2.3.

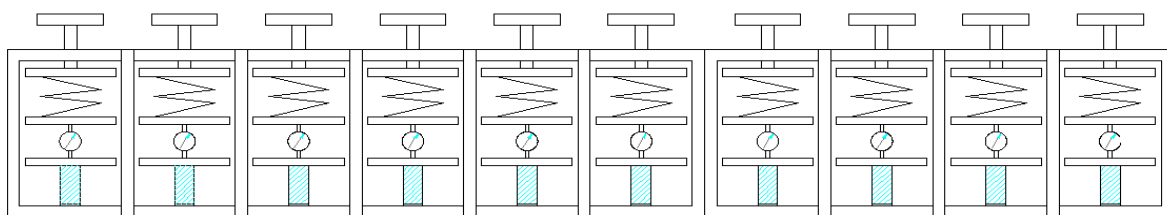


Схема одной секции

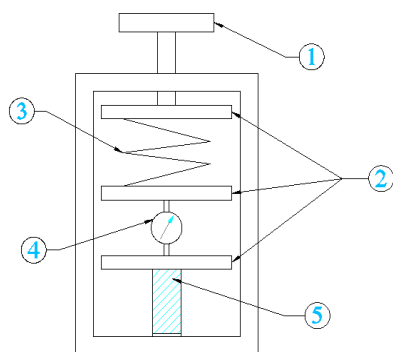


Рис 2.3. Общий вид испытательного стенда

Испытательный стенд позволяет испытывать одновременно до 10 образцов горных пород и состоит из нагрузочного винта – 1; жестких металлических плит – 2; пружины, обеспечивающей постоянное нагружение образца горных пород – 3; динамометра, измеряющего величину нагрузки на образец горных пород – 4, образца горных пород – 5.

Для испытания применялись образцы правильной формы. [37, 42] Отношение диаметра образца к его высоте составляет  $K=0,5$  и менее.

Образцы горных пород изготавливались из цельного куска горных пород методом выбуривания кернов диаметром 30мм и высотой не менее 60 мм.

Испытанию подвергались горные породы, которые наиболее часто встречаются при строительстве горных выработок (глава 1), а именно песчасники и алевролиты.

Для испытания горных пород на длительную прочность образцы горных пород одновременно устанавливались на все десять установок. При помощи нагрузочного винта и пружины, максимальное усилие которой составляет 50 тонн, образцы нагружались до 60 и 80 % от мгновенного предела прочности, определенного ранее.

С помощью динамометра с цифровым индикатором определялась величина нагрузки на образец во времени. Испытания проводились до разрушения образца горных пород. В результате лабораторных исследований были получены зависимости  $R_{сж}^t = f(t, \sigma_{сж})$  для каждого из испытываемых типов горных пород.

### **2.2.3. Результаты лабораторных исследований**

Испытания горных пород по определению мгновенной прочности горных пород (табл. 1,2) выполнялись по стандартной методике на образцах правильной формы (цилиндр) на гидравлических процессах ПС-10, ПС-50 [37, 42, 56, 61].

## Результаты испытания горных пород (песчаник)

Таблица 2.1

№/НН	Диаметр образца, мм	Высота образца, мм	Площадь см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, кг	Предел прочности при сжатии, МПа
1*	30	62	7,06	6200	87,8
2*	30	70	7,06	6300	89,2
3*	30	64	7,06	5800	82,1
4	30	68	7,06	6010	85,1
5	30	66	7,06	5800	82,1
6*	30	62	7,06	5600	79,3
7	30	65	7,06	5850	82,8
8	30	66	7,06	6210	87,9
9*	30	70	7,06	7200	101,9
10	30	63	7,06	6400	90,6
Среднее значение $\sigma_{сж}$					<b>86,8</b>

## Результаты испытания горных пород (алевролит)

Таблица 2.2.

№/НН	Диаметр образца, мм	Высота образца, мм	Площадь см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, кг	Предел прочности при сжатии, МПа
1*	30	61	7,06	4200	59,4
2*	30	60	7,06	4500	63,7
3	30	65	7,06	4800	67,9
4*	30	70	7,06	4400	62,3
5*	30	66	7,06	3800	53,8
6*	30	68	7,06	4100	58,0
7	30	72	7,06	4700	66,5
8	30	60	7,06	4500	63,7
9	30	63	7,06	4800	67,9
10	30	68	7,06	4800	69,4
Среднее значение $\sigma_{сж}$					<b>63,2</b>

где \* - образцы, которые использовались при испытаниях на длительную прочность.

Для испытания горных пород на длительную прочность из цельного куска горной породы выбуривались керны размером 30мм и длиной не менее 130мм. Затем этот керн распиливался на два керна один из которых использовался с целью определения предела прочности при сжатии (мгновенной прочности), а второй керн устанавливался на испытательный стенд с целью определения длительной прочности  $R_{сж}^t$ . Результаты испытаний заносились в таблицу 2.3. По вышеуказанной методике испытывались по 5 образцов каждой литологической разности, наиболее часто встречающейся при строительстве горных выработок.

Таблица 2.3

	Предел прочно сти при сжатии , МПа	Нагрузка при которой образец разрушен ия Р, кг	Предвонача льная нагрузка на образец Р <sub>1</sub> , кг	% мах нагруз ки	Нагрузка разруше ния на образца Р <sub>1</sub> ', кг	Прочность образца на момент разрушени я R <sub>сж</sub> <sup>t</sup> , МПа	Время до разру шения t, сут	Отношен ие σ <sub>сж</sub> /σ <sub>сж</sub> <sup>t</sup>
Песчаник								
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							1,43
Алевролит								
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							1,53

По полученным данным из таблицы 2.3 были построены графики снижения нагрузки на образцы горных пород во времени, которые представлены на рис 2.4.

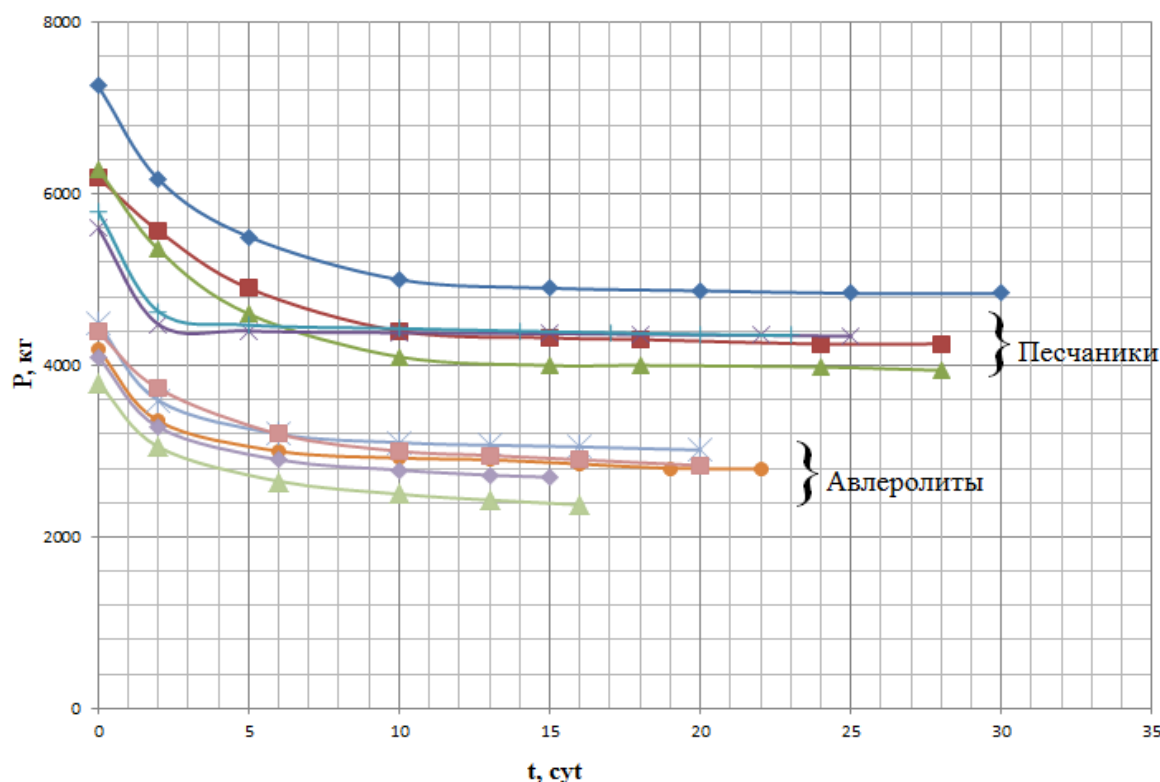


Рис 2.4. Графики снижения нагрузки на образцы пород во времени

Обработка результатов лабораторных исследований методом математической статистики позволила получить зависимость  $R_{сж}^t = f(t)$ , которая описывается эмпирическими формулами в виде:

$$R_{сж}^t = f(R_{сж}, t) - \text{для песчаника};$$

$$R_{сж}^t = f(R_{сж}, t) - \text{для алевролита}.$$

На рисунке 2.5 представлены усредненные графики снижения прочности горных пород в зависимости от времени воздействия на них нагрузки.

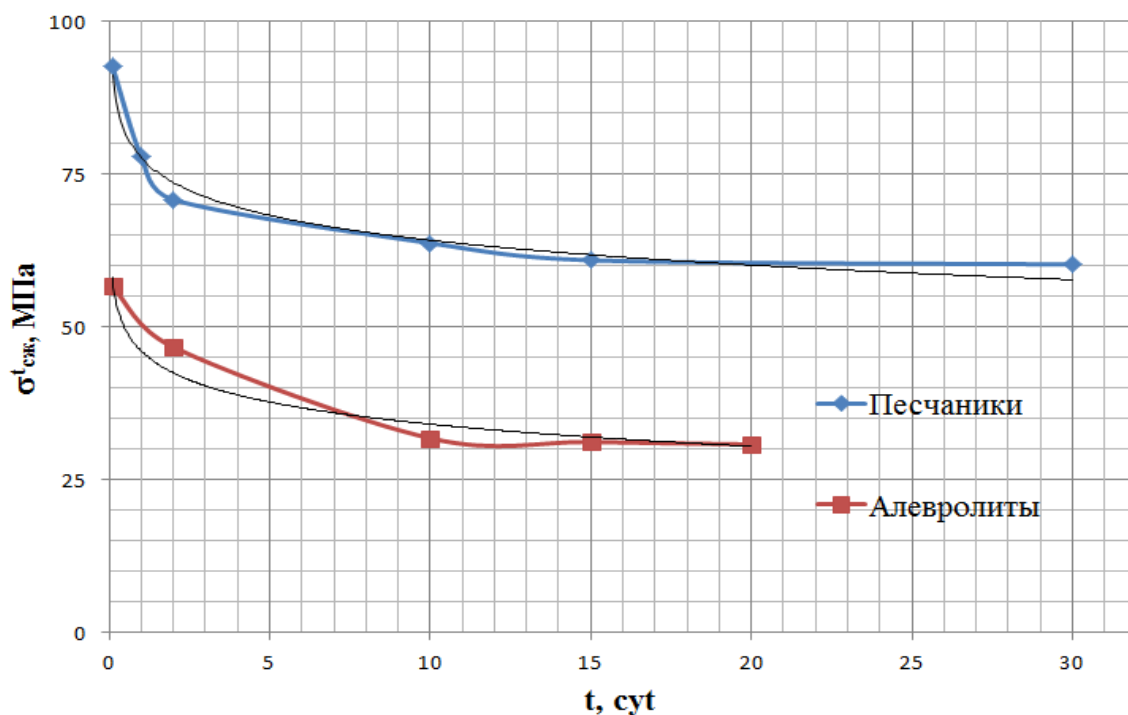


Рис 2.5. Графики снижения прочности горных пород во времени

В результате математической обработки данных лабораторных исследований получены следующие зависимости.

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

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

### 2.3. Методика аналитических исследований методом конечных элементов.

В настоящее время самым популярным численным методом решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных, является метод конечных элементов, суть которого заключается в следующем [1]. Из бесконечного массива выделяется некоторая область, например, в окрестности подлежащей изучению выработки. Действие отброшенной части массива заменяем усилениями, приложенными на границе области:

$$\sigma_y = \gamma \cdot H; \quad \sigma_x = \lambda \cdot \gamma \cdot H$$



Вся исследуемая область делится на подобласти, достаточно малые, чтобы считать внутри их среду однородной и изотропной. Поэтому свойства среды в каждой из подобластей описываются постоянными (для данной подобласти) характеристиками:  $E$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$ . Эти подобласти называются конечными элементами. Они взаимодействуют друг с другом в узлах через узловые силы -  $F$  и узловые перемещения -  $\delta$ . В таком виде исследуемая область подобна некоторой стержневой системе. Сообщая одному узлу усилие или перемещение, получим отклик во всей системе, в каждом из её узлов.

В подходе, называемом минимизацией полной потенциальной энергии системы, выраженной через поле перемещений. Это обуславливает следующую последовательность проведения расчета по методу конечных элементов (МКЭ):

- 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.

По всей сущности МКЭ - это вариационный метод, и как всякий вариационный метод, он является более точным, чем другие методы. К числу его достоинств необходимо отнести также легкость расчета напряженного состояния тел из нескольких материалов (пород) с разными физическими свойствами, возможность сгущения сетки в местах ожидаемой концентрации напряжений. Он позволяет

достаточно точно описать криволинейные границы области определения решения. Математический аппарат этого метода представлен в матричной форме, что значительно облегчает его программирование. Решение задачи методом конечных элементов начинается с дискретизации исследуемой области. Она заключается в представлении области набором конечных элементов, связанных в узлах. В местах предполагаемого большого градиента искомых величин сетка узлов сгущается. Разбитая на элементы область полностью описывается двумя информационными массивами: глобальными координатами узлов  $x_i, y_i$  и матрице индексов элементов. Матрица индексов определяет очертание элементов, а также позволяет установить связь элементов между собой. После того, как полностью описана геометрия рассчитываемого объекта, необходимо задать граничные условия, т.е. посредством приложения к модели нагрузок и закреплением отдельных ее частей заменить воздействия окружающего массива, из которого выделена исследуемая модель. Затем производится описание свойств материала элементов (пород, охранных конструкций, крепи), из которых состоит модель. Для каждого материала задаются его физико-механические характеристики: модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\mu$ , удельный вес  $\gamma$  и т.д.

#### **2.4. Общий обзор программы «Phase 2»**

**Phase 2** - это программа, построенная на базе метода конечных элементов. **Phase 2** используется для решения пространственно-двухмерных задач, анализа и расчета напряжений и деформаций и параметров крепей выработок. С помощью этой программы можно моделировать любые очертания поперечных сечений, (рис 2.6) наряду с многими различными материалами в аналитическом процессе. С

помощью **Phase 2** можно моделировать и анализировать этапы проведения забоя, выработки либо очередность проведения забоя выработки. **Phase 2** позволяет рассчитать параметры крепи различных конструкций, например: анкер, набрызгбетон, монолитный бетон и комбинированная крепь, которые используются в настоящее время. Значения напряжений, смещений, величины зоны возможного нарушения вокруг горной выработки и внутренние силы в конструкции задаются программой **Phase 2**. Эти значения необходимы для проектирования крепей выработок либо контролирования несущих способностей крепей.

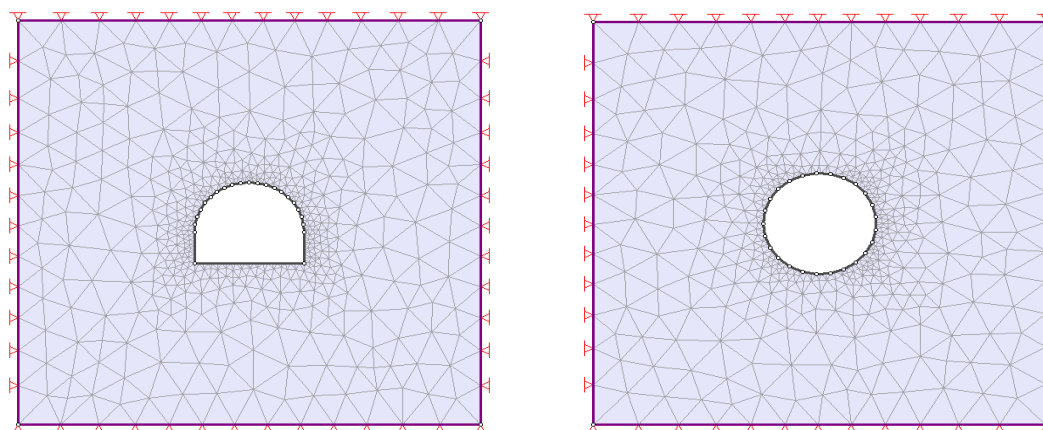


Рис. 2.6. Сечения, анализируемые программой **Phase 2**

Метод конечных элементов позволяет решать объемные задачи, при этом рассматриваемая область разбивается на объемные элементы, а также учитывать пластичные деформации массива и конструкций. Трудоемкость таких расчетов значительно возрастает.

В программе **Phase 2** деление сетки производится самостоятельно, таким образом, можно калькулировать напряжение и деформации в любом элементе, находящемся в положениях вокруг пролёта подземных сооружений с начальными условиями. В результате этого можно установить закономерности механического

изменения в породном массиве вокруг пролёта подземных сооружений.

## **2.5. Методика решения задачи**

Задача решается методом конечных элементов. 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 результате разбивки модели на конечные элементы, в соответствии с указанными параметрами сгущения и разряжения сетки, получилось 1840; 2562; 2918 элементов массива трехугольной формы и 990; 1380; 1562 узла.

Изображение моделей после разбивки на элементы представлено на рис. 2.7.

Зона с исследуемыми механическими процессами рассматривается на расстоянии 4-х радиусов от кромки выработки (см. рис. 2.8).

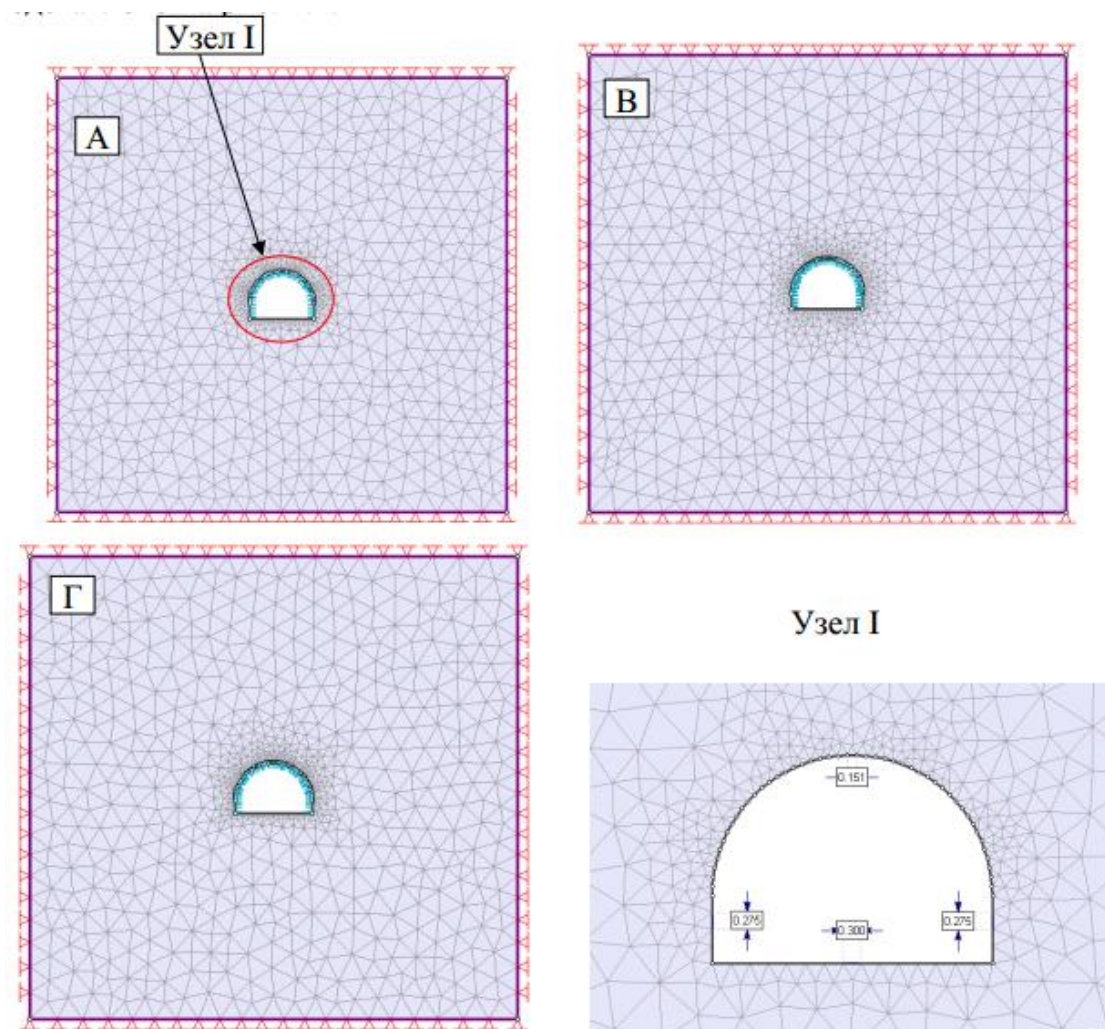


Рис. 2.7. Изображение исследуемой модели после разбивки на элемент

А)  $S_{пр}=13,0 \text{ м}^2$ , элемент = 1840, узел = 990.

В)  $S_{пр}=16,0 \text{ м}^2$ , элемент = 2562, узел = 1380.

Г)  $S_{пр}=18,0 \text{ м}^2$ , элемент = 2918, узел = 1562

Горные породы находятся в условиях начального напряжения, определяемого по формулам:

$$\sigma_y = \gamma \cdot H; \quad \sigma_x = \lambda \cdot \gamma \cdot H;$$

где  $\gamma$  - удельный вес породного массива,  $\text{МН/м}^3$ ;  $H$  - глубина заложения горной выработки, м;  $\lambda$  - коэффициент бокового распора.

- коэффициент бокового распора, зависящий от коэффициента Пуассона ( $\nu$ ), определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (2.18)$$

В расчетах используются реальные горно-геологические условия месторождения Хечам, в стратиграфии которого сопротивление сжатию горных пород колеблется в широком диапазоне (табл. 1.1), 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.

Горно-геологические условия, в которых моделируют горные выработки, приведены в табл. 1.2:

- Площадь поперечного сечения горных выработок в проходке  $S_{пр}=13,0; 16,0; 18,0 \text{ м}^2$  и  $S_{св}= 10,2; 12,5; 15,2 \text{ м}^2$  (см. рис. 2.8).

- Глубина расположения горных выработок  $H = 300; 400; \text{ м}$  (см. рис. 2.9).

Рассматриваемые задачи в зависимости от параметров  $S_{пр}$ ,  $H$  и характеристики горных пород приведены в таблицах 2.6; 2.7; 2.8. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния вокруг горных выработок осуществляется численным способом "Phase 2", результаты задач приведены в следующей главе.

Автор исследует условия образования зон предельных равновесий горных пород вокруг выработок, которые в дальнейшем использует как равновесное состояние горных пород.

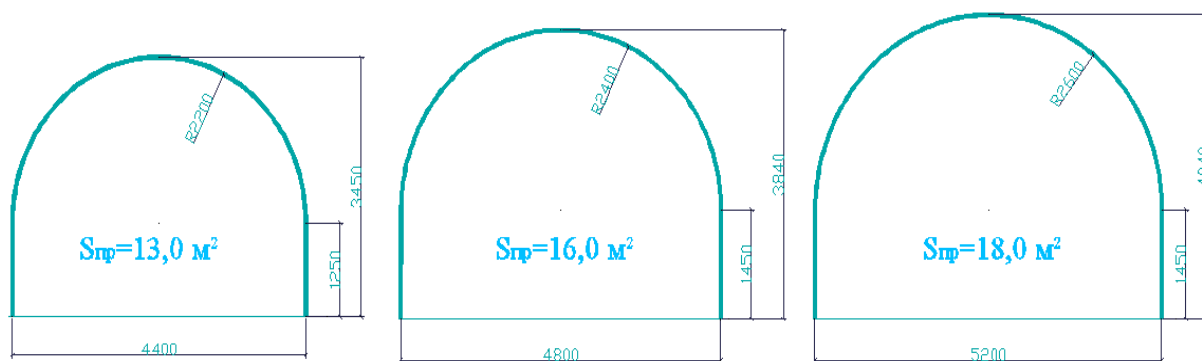
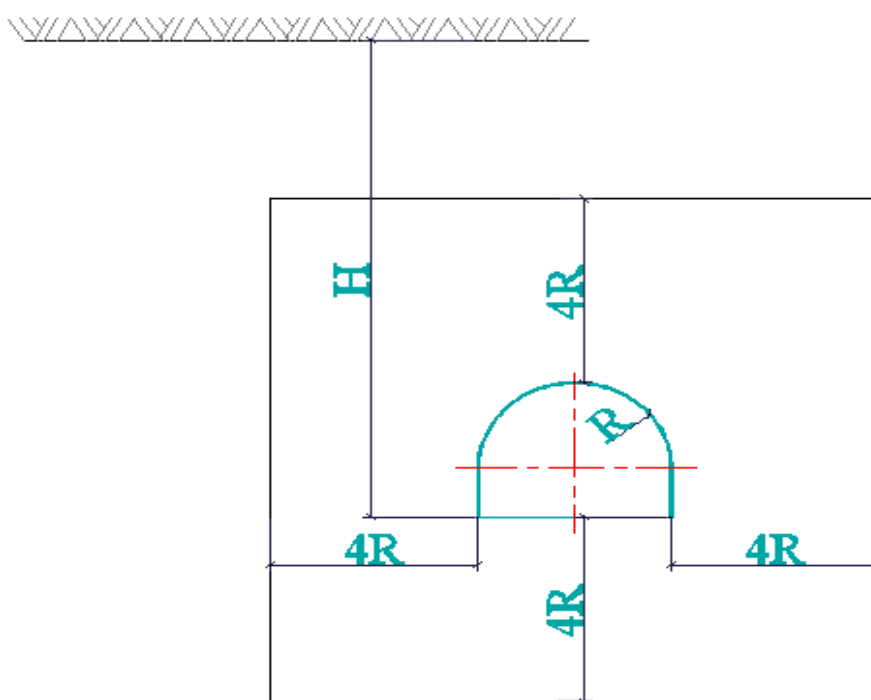


Рис. 2.8. Исследуемые поперечные сечения горных пород



где:  $H$  – глубина заложения горной выработки,  $H=300\div 400\text{м}$ .

Рис. 2.9. Расчетные схемы в зависимости от глубины заложения горных выработок

Расчетная схема напряженно-деформированного состояния массива вокруг горных выработок приведена на рис 2.10.

Рассмотрено изменение компонентов глубины расположения горных выработок и площади сечения горных выработок в проходке и физико-механических свойств горных пород.

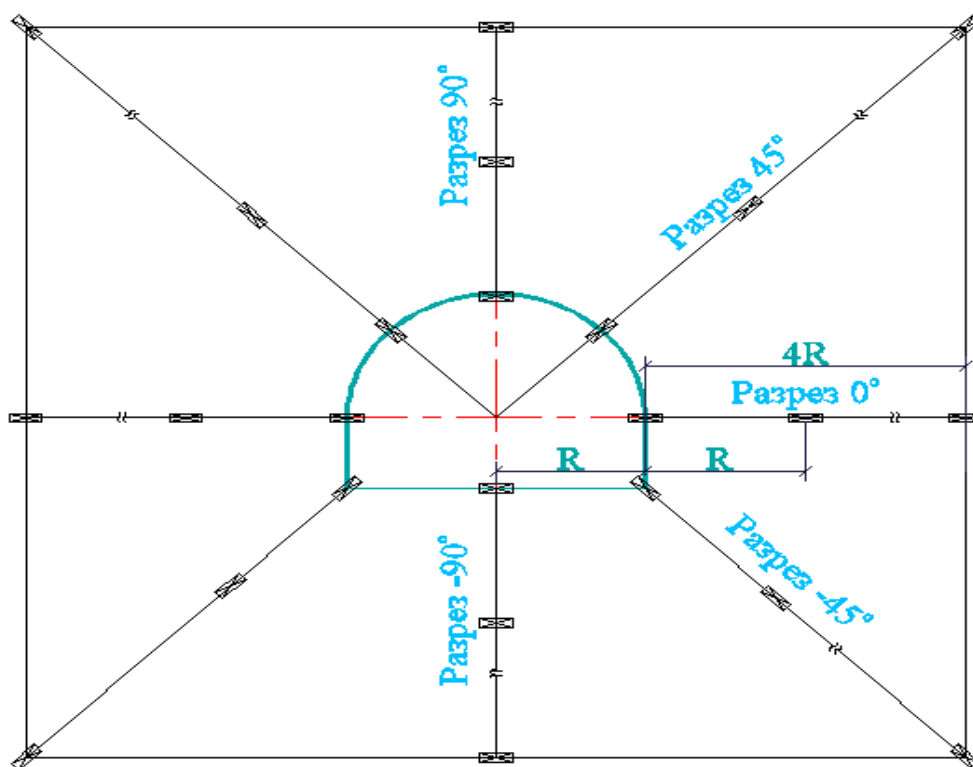


Рис. 2.10. Расчетная схема напряженно-деформированного состояния массива вокруг горных выработок

## 2.6. Результаты расчета

Для расчета используется современная система инженерных расчетов «Phase 2», позволяющая сочетать двухмерные возможности и наглядную пространственную визуализацию результатов расчета. 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 изохрмы распределения напряжений  $\sigma_{\text{ч}}$ - $\sigma_{\theta}$  и смещений  $U$  в поперечных сечениях выработки в момент установки анкерной крепи на различных глубинах.

Для примера визуализации результатов расчета в «Phase 2» приведена изохрома распределения напряжений  $\sigma_{\text{ч}}$ ,  $\sigma_{\theta}$ ,  $U$ , величины



свода в поперечном сечении выработок без крепи на глубине 300 м при  $R_{сж}-R_{сж}t$ .

$R_{сж}$  - предел прочности при сжатии в образце, МПа.

$R_{сж}t$ - предел прочности при сжатии образца при длительном нагружении (длительной прочности), МПа.

### **Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг выработок.**

Исследователями [23,37,58,77] установлено, что предел прочности горных пород в массиве, за счет естественной трещиноватости, обводненности, и других факторов значительно меньше предела прочности пород в образце, т. е.

$$R'_{сж} = R_{сж} * K_c,$$

где  $R'_{сж}$ - предел прочности при сжатии в массиве, МПа.

$R_{сж}$ - предел прочности при сжатии в образце, МПа.

$K_c$ - коэффициент структурного ослабления, который на основании работы [74] равен:

- для крепких песчаников: 0,8.
- для крепких алевролитов: 0,7.

Тогда на основании принятых коэффициентов

- для крепких песчаников  $R'_{сж}=86,8 \times 0,8=69,44$  МПа;
- для крепких алевролитов  $R'_{сж}=63,2 \times 0,7=44,24$  МПа;

В результате выполненных лабораторных исследований установлено, что коэффициенты длительной прочности горных пород в массиве месторождения Хечам составляют для песчаников и алевролитов 1,43 и 1,53, соответственно.

Тогда:

- для крепких песчаников  $R'_{сж}=69,44/1,43=48,55$  МПа;

- для крепких алевролитов  $R'_{сж}=44,24/1,53=28,9$  МПа;

Выполненные расчеты будут использоваться в данной работе при аналитических исследованиях методом конечных элементов по программе «Phase 2».

Выполненные расчеты в соответствие с данными, представленными в таблицах 2.6, 2.7, 2.8, позволяют построить графики распределения напряжений и смещений массива горных пород. [93].

Таблица. 2.6.

Модели соотношения глубины распределения горных выработок, где  $R'_{сж}=(28,9÷69,4)$  МПа,  $(H=300÷400)$  м,  $S_{пр}=13,0$  м<sup>2</sup>.

Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , м <sup>2</sup>
1	69,4	300	13
2	69,4	400	13
3	48,55	300	13
4	48,55	400	13

Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , м <sup>2</sup>
5	44,24	300	13
6	44,24	400	13
7	28,9	300	13
8	28,9	400	13

Таблица. 2.7.

Модели соотношения глубины распределения горных выработок, где  $R'_{сж}=(28,9÷69,4)$  МПа,  $(H=300÷400)$  м,  $S_{пр}=16,0$  м<sup>2</sup>.

Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , м <sup>2</sup>
9	69,4	300	16
10	69,4	400	16
11	48,55	300	16
12	48,55	400	16

Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , м <sup>2</sup>
13	44,24	300	16
14	44,24	400	16
15	28,9	300	16
16	28,9	400	16

Таблица. 2.8.

Модели соотношения глубины распределения горных выработок, где  
 $R'_{сж} = (28,9 \div 69,4) \text{ МПа}$ ,  $(H = 300 \div 400) \text{ м}$ ,  $S_{пр} = 18,0 \text{ м}^2$ .

Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , $\text{м}^2$	Модель	$R_{сж}$ , МПа	H, м	$S_{пр}$ , $\text{м}^2$
17	69,4	300	18	21	44,24	300	18
18	69,4	400	18	22	44,24	400	18
19	48,55	300	18	23	28,9	300	18
20	48,55	400	18	24	28,9	400	18

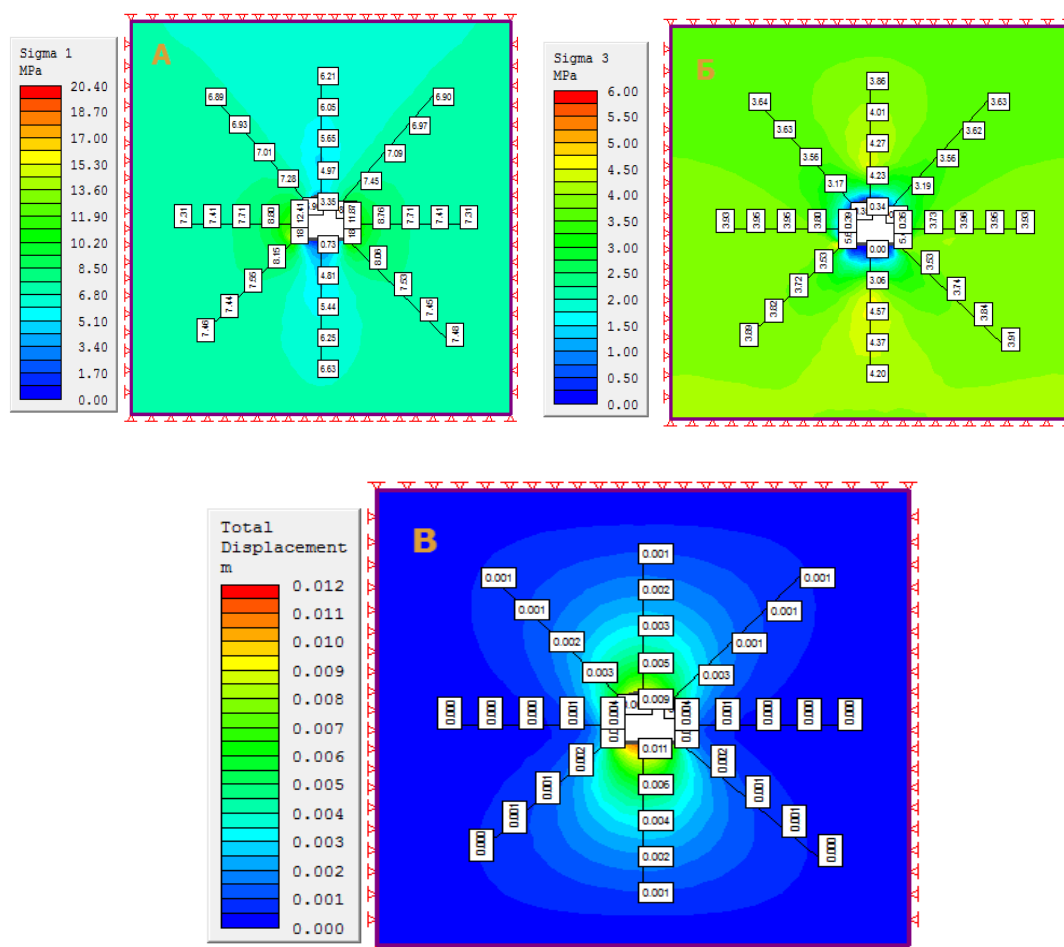


Рис. 2.11. Распределение главных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\varphi$  (А, Б),  
 смещений в породном массиве вокруг незакрепленной выработки (В).

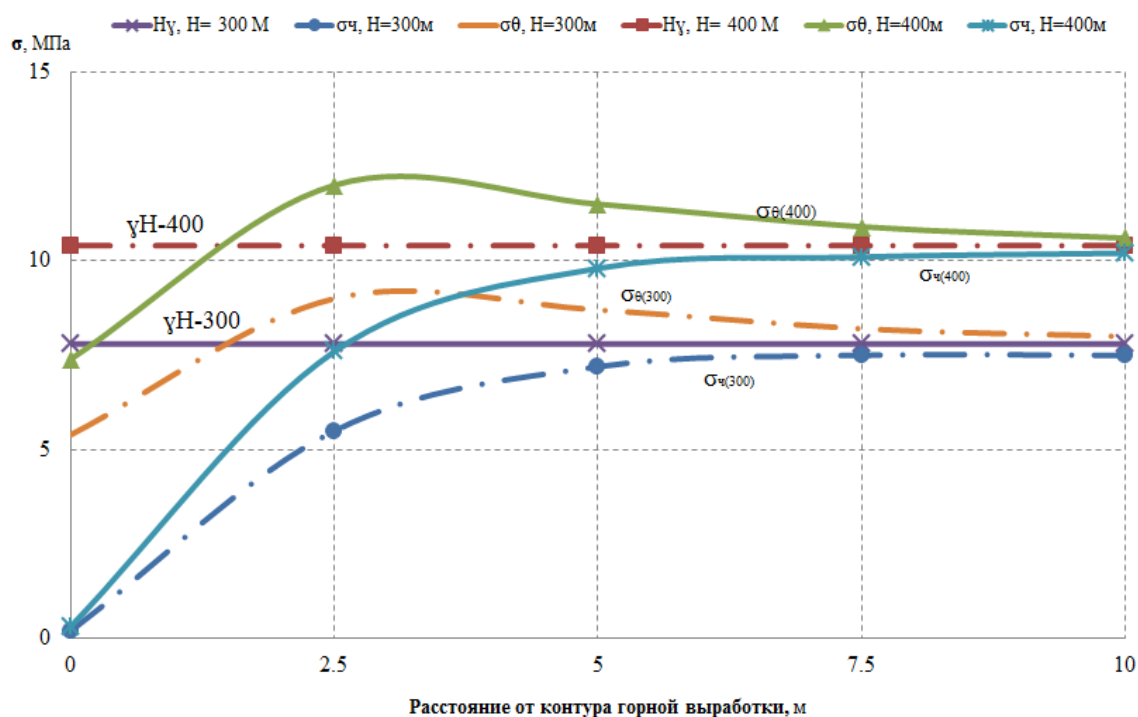


Рис. 2.12. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400\text{ м}$ ,  
 $R_{сж}=69,4\text{МПа}$ ,  $S_{пр}=13\text{ м}^2$

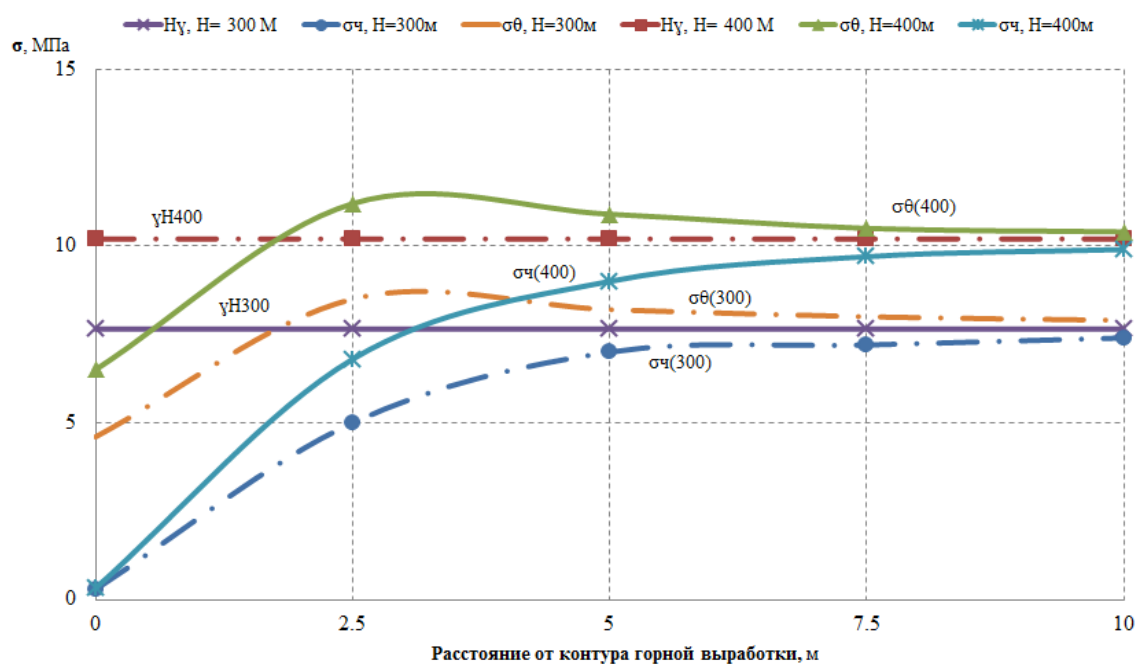


Рис. 2.13. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400\text{ м}$ ,  
 $R_{сж}=48,55\text{ МПа}$ ,  $S_{пр}=13\text{ м}^2$

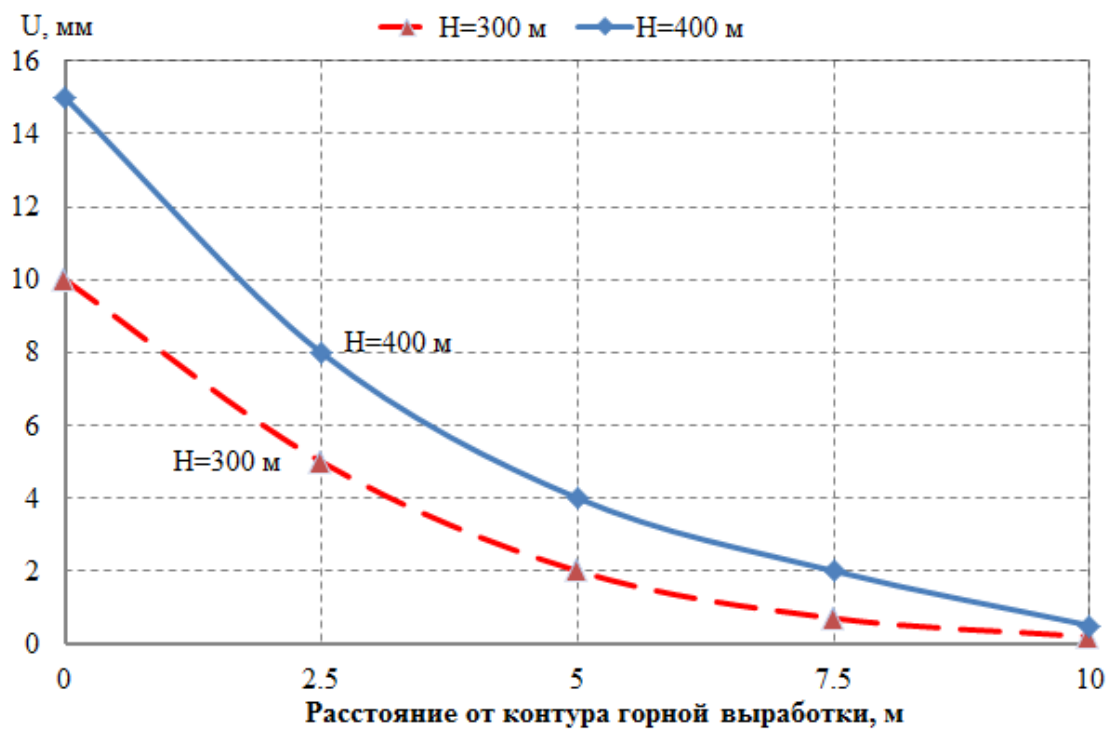
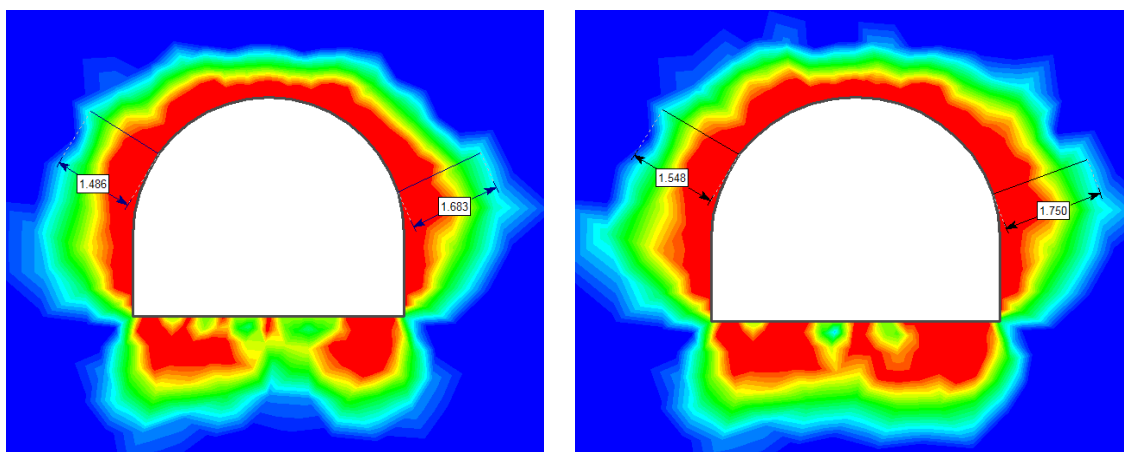


Рис. 2. 14. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$ МПа,  $S_{пр}=13$ м<sup>2</sup>.



А)  $H=300$ м,  $L_{рmax}=1,68$ м

Б)  $H=400$ м,  $L_{рmax}=1,75$ м

Рис. 2.15. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=50$ МПа,  $S_{пр}=13$ м<sup>2</sup>

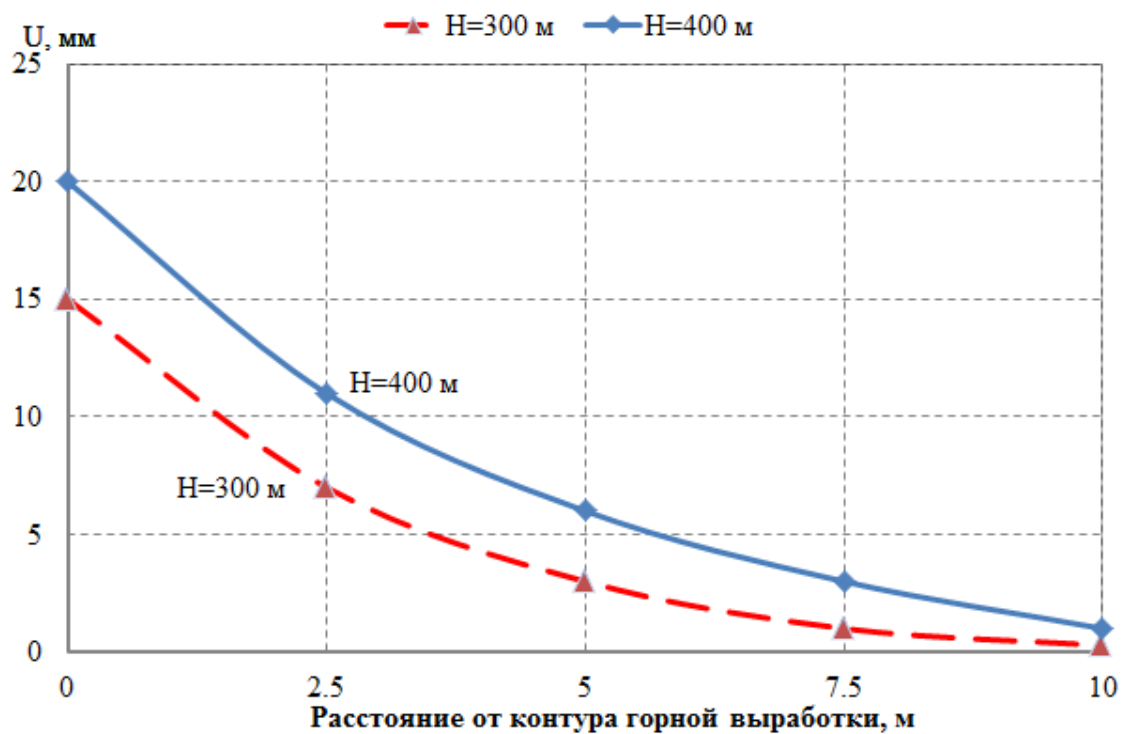


Рис. 2. 16. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=13$  м<sup>2</sup>.

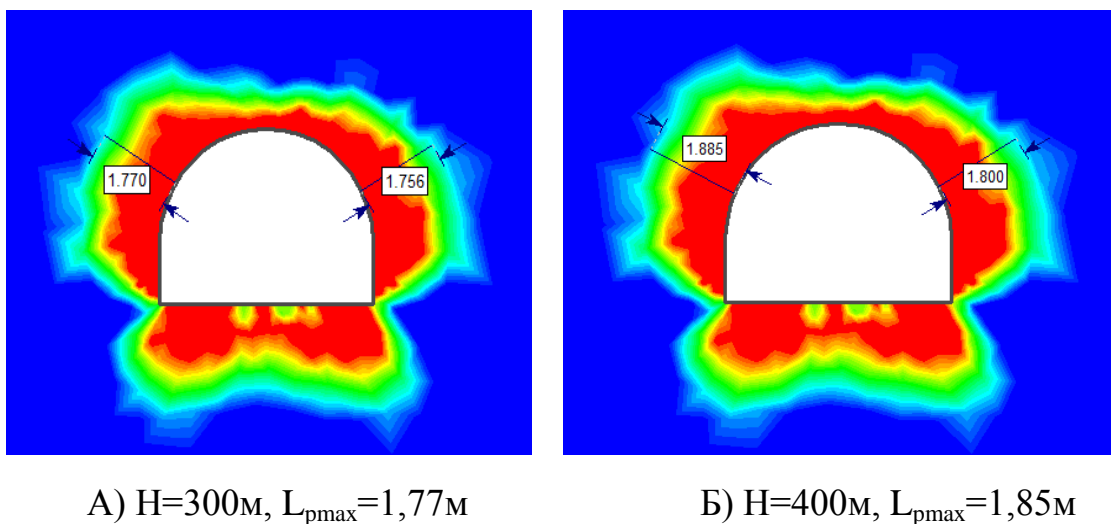


Рис. 2.17. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=13$  м<sup>2</sup>

Таблица. 2.9. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж}=(69,4 - 48,55)$  МПа,  $S_{пр}=13$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=69,4$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 48,5$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0.0255	5,4	0,41	10,14	0.52	4,6	0,35	15,04
	2,5		9,0	5,50	5,27		8,5	5,0	7,25
	5		8,7	7,20	2,19		8,2	7,0	3,51
	7,5		8,2	7,50	0,74		8,0	7,2	1,26
	10		8,0	7,50	0,18		7,9	7,4	0,27
400	0	0.026	7,4	0,53	15,05	0.55	6,5	0,32	20,23
	2,5		12,0	7,60	8,12		11,2	6,8	11,56
	5		11,5	9,80	4,23		10,9	9,0	6,39
	7,5		10,9	10,10	2,13		10,5	9,7	3,17
	10		10,6	10,20	0,52		10,4	9,9	1,02

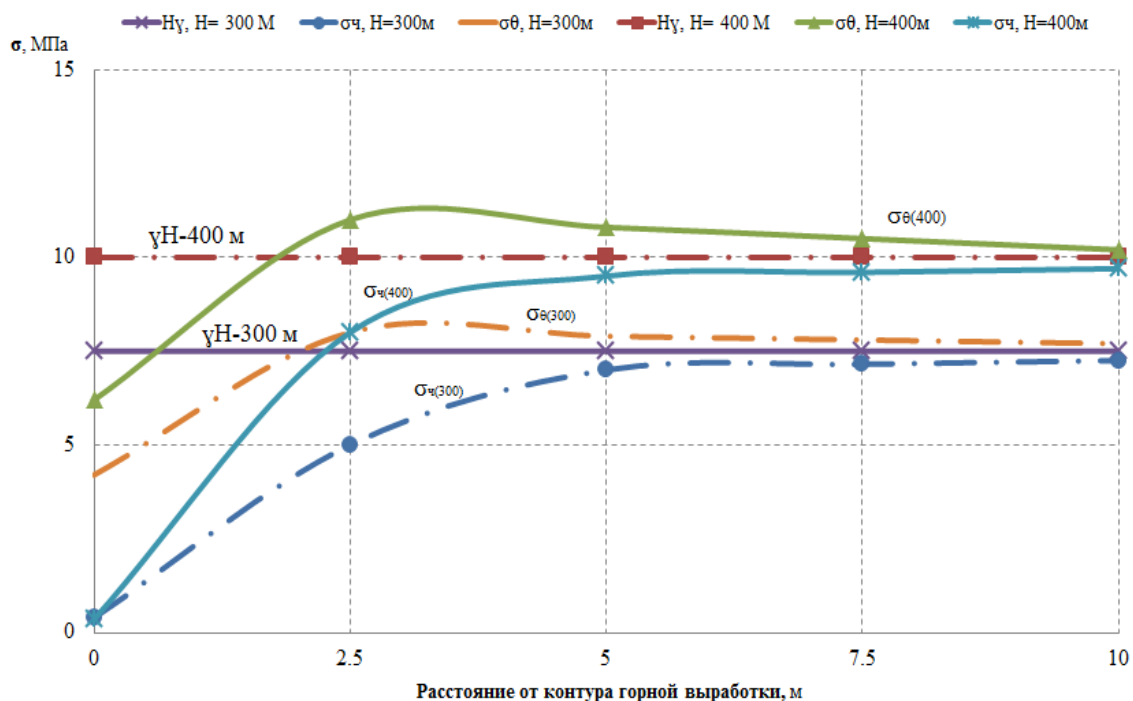


Рис. 2.18. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  
 $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}= 13 \text{ м}^2$

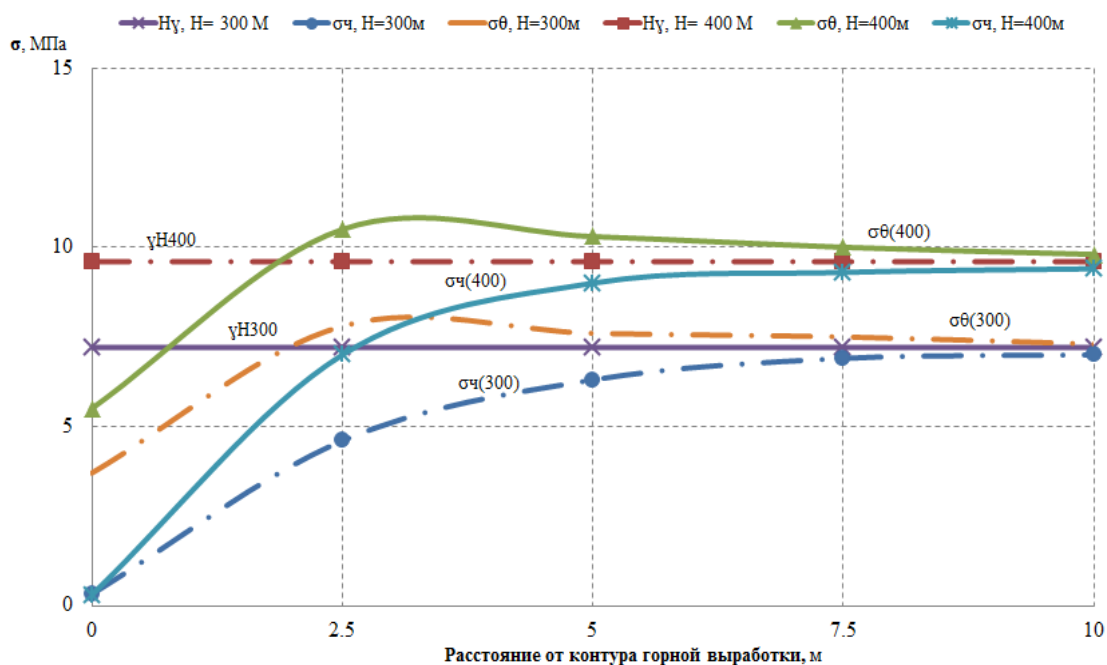


Рис. 2.19. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  
 $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}= 13 \text{ м}^2$



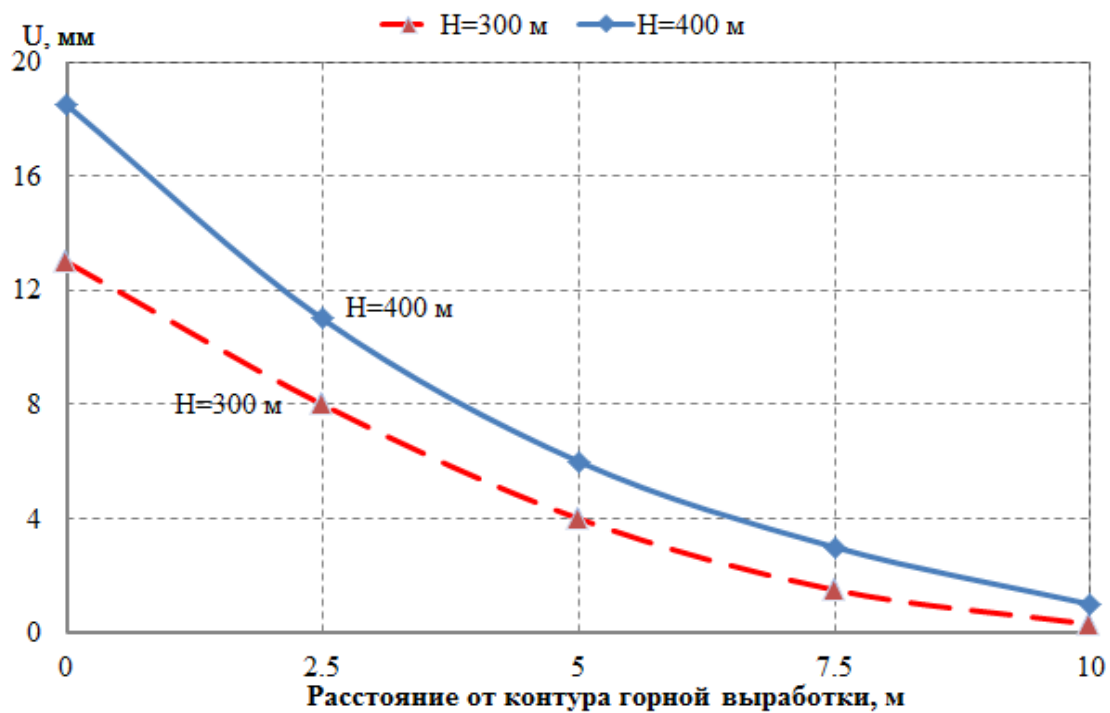
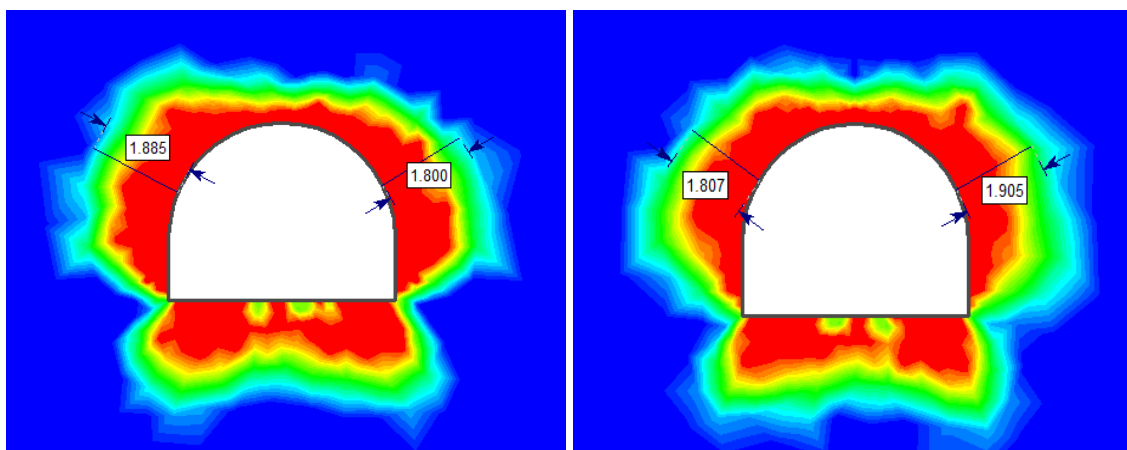


Рис. 2. 20. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=16м^2$ .



А)  $H=300м$ ,  $L_{рmax}=1,86м$

Б)  $H=400м$ ,  $L_{рmax}=1,90м$

Рис. 2.21. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=13м^2$

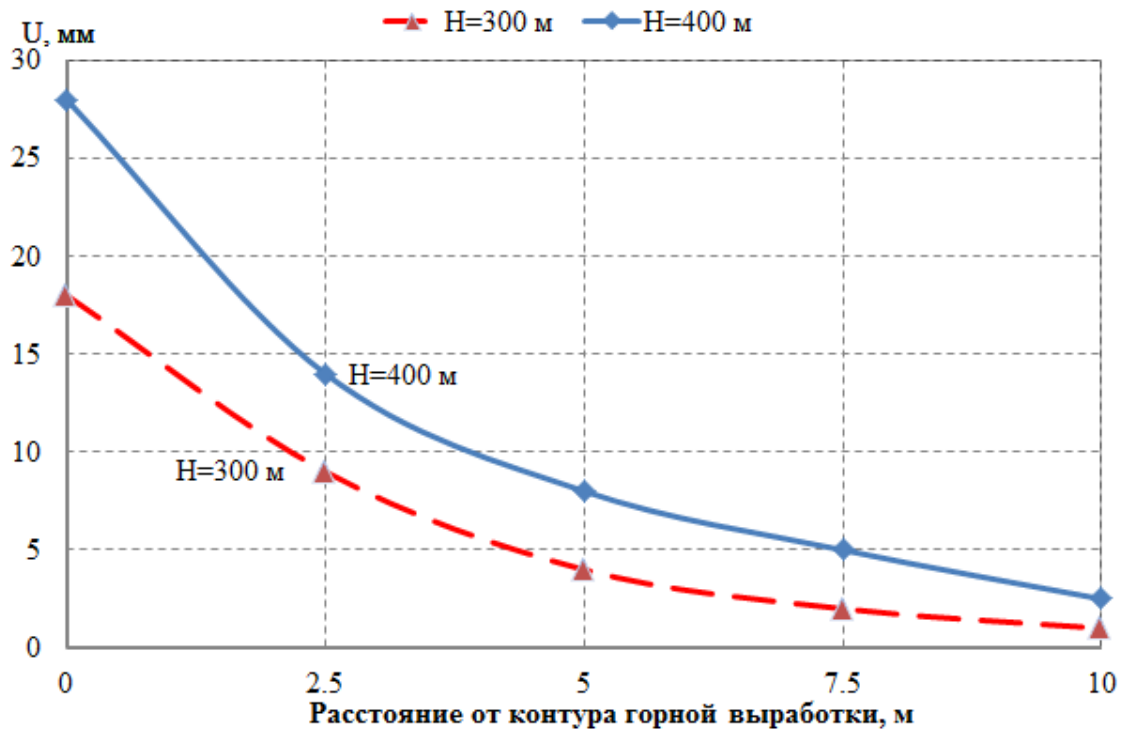
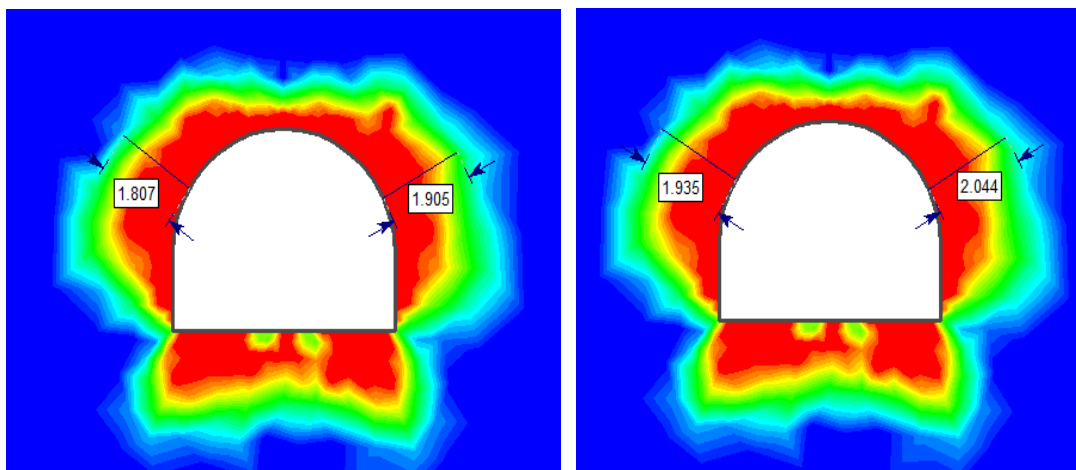


Рис. 2. 22. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=13\text{ м}^2$ .



А)  $H=300\text{ м}$ ,  $L_{рmax}=1,91\text{ м}$

Б)  $H=400\text{ м}$ ,  $L_{рmax}=2,04\text{ м}$

Рис. 2.23. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=13\text{ м}^2$

Таблица. 2.10. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж} = (44,24 - 28,9)$  МПа,  $S_{пр}=13$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=44,24$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 28,9$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0,0245	4,2	0,31	13,12	0,51	3,7	0,25	18,03
	2,5		8,0	5,0	8,37		7,8	4,6	9,34
	5		7,9	7,0	4,13		7,6	6,3	4,57
	7,5		7,8	7,15	1,54		7,5	6,9	2,31
	10		7,7	7,25	0,32		7,3	7,0	1,62
400	0	0,025	6,2	0,38	18,51	0,55	5,5	0,3	28,14
	2,5		11,0	8,0	11,32		10,5	7,0	14,33
	5		10,8	9,5	6,14		10,3	9,0	8,54
	7,5		10,5	9,6	3,24		10,0	9,3	5,07
	10		10,2	9,7	1,09		9,8	9,4	2,51

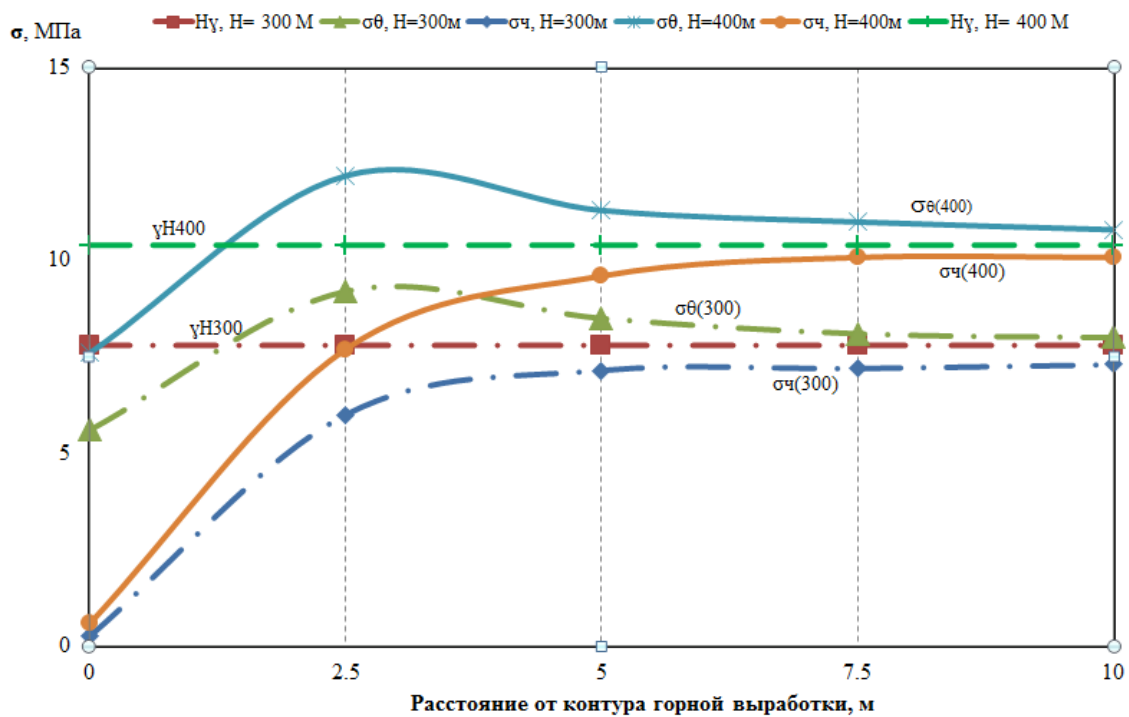


Рис. 2.24. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400\text{ м}$ ,  
 $R_{сж}=69,4\text{ МПа}$ ,  $S_{пр}=16\text{ м}^2$

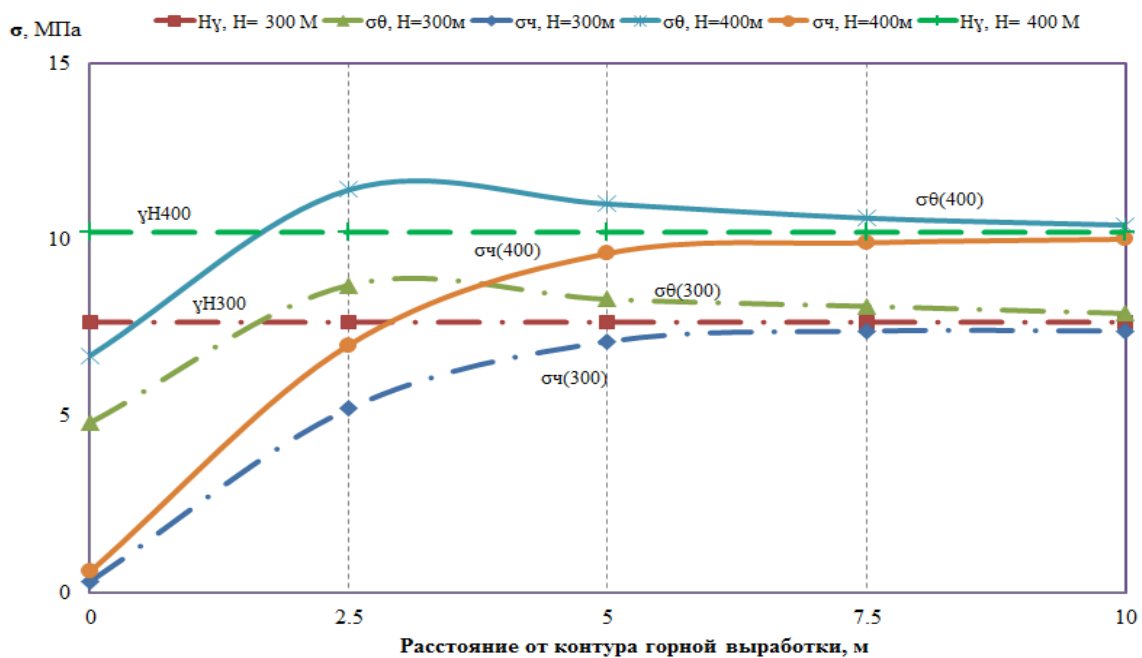


Рис. 2.25. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400\text{ м}$ ,  
 $R_{сж}=48,55\text{ МПа}$ ,  $S_{пр}=16\text{ м}^2$

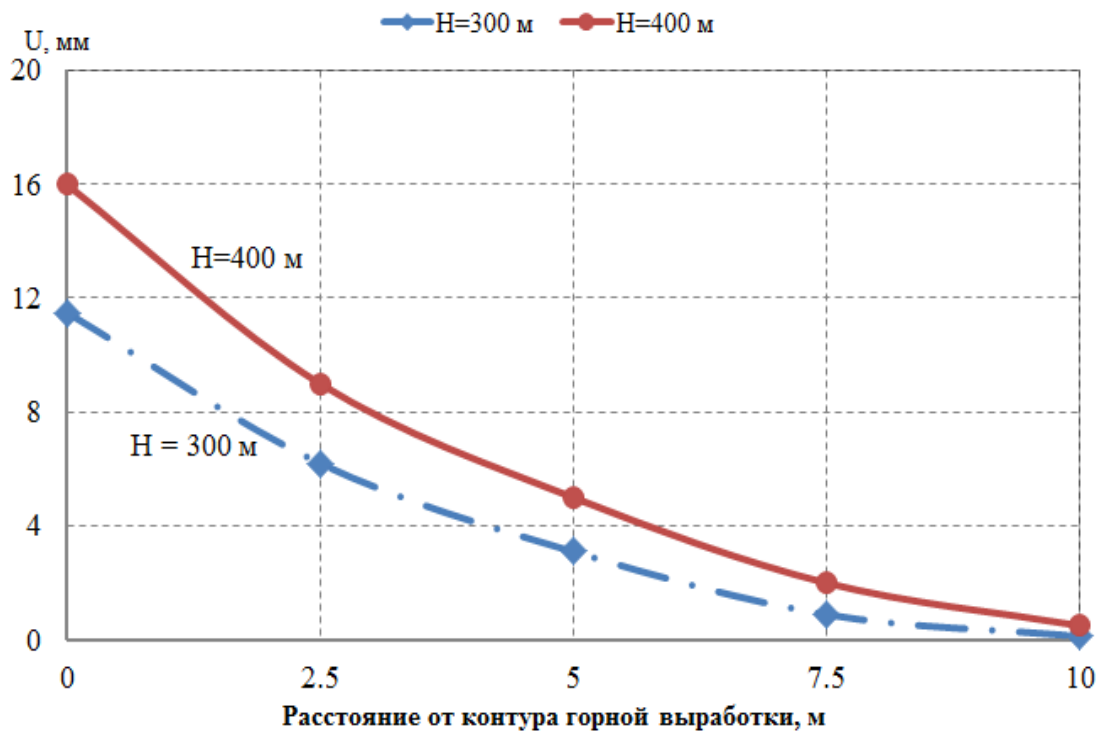
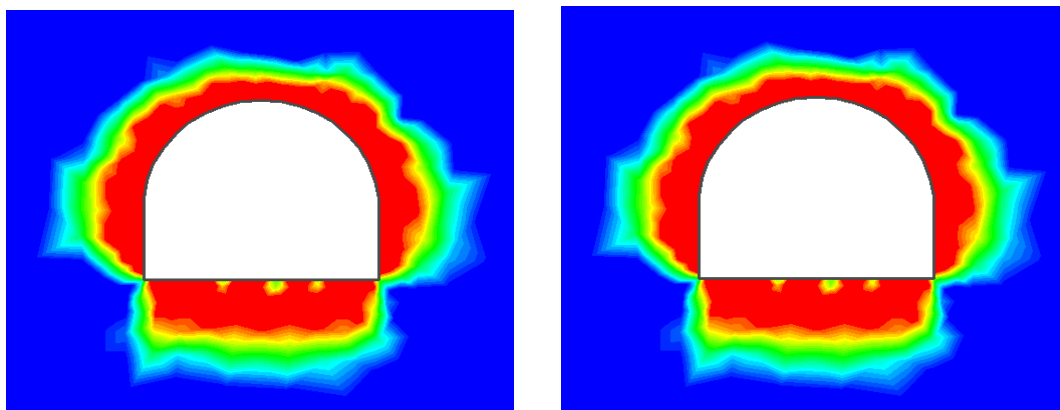


Рис. 2. 26. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$ .



А)  $H=300\text{м}$ ,  $L_{рmax}=1,79\text{м}$

Б)  $H=400\text{м}$ ,  $L_{рmax}=1,89\text{м}$

Рис. 2.27. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$

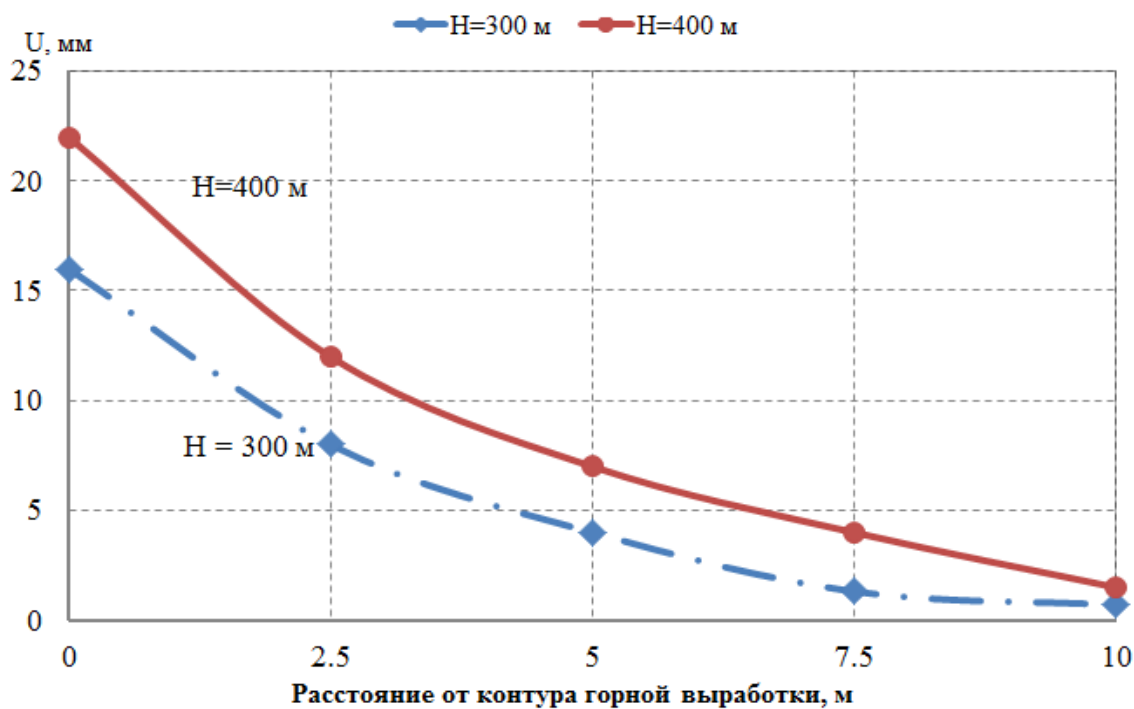
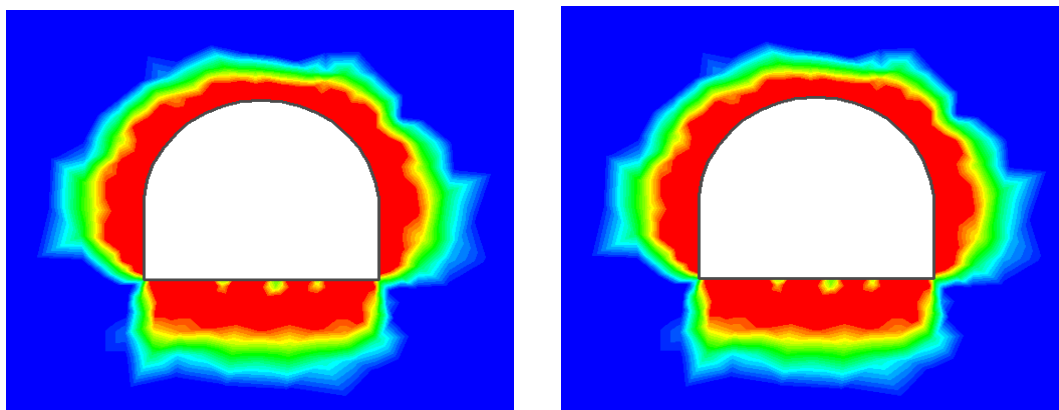


Рис. 2. 28. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$ .



А)  $H=300\text{м}$ ,  $L_{рmax}=1.91\text{м}$

Б)  $H=400\text{м}$ ,  $L_{рmax}=2,04\text{м}$

Рис. 2.29. Величина зоны разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$

Таблица. 2.11. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж} = (69,4 - 48,55)$  МПа,  $S_{пр}=16$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=69,4$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 48,5$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0.0245	5,6	0,45	11,44	0.51	4,8	0,37	16,12
	2,5		9,2	6,0	6,27		8,7	5,2	8,34
	5		8,5	7,15	3,09		8,3	7,1	4,25
	7,5		8,1	7,2	0,84		8,1	7,4	1,98
	10		8,0	7,3	0,28		7,9	7,4	0,56
400	0	0.025	7,6	0,58	16,15	0.55	6,7	0,4	22,10
	2,5		12,2	7,7	9,02		11,4	7,0	12,59
	5		11,3	9,6	4,98		11,0	9,6	7,48
	7,5		11,0	10,8	2,01		10,6	9,9	4,13
	10		10,8	10,8	0,89		10,4	10,0	1,59

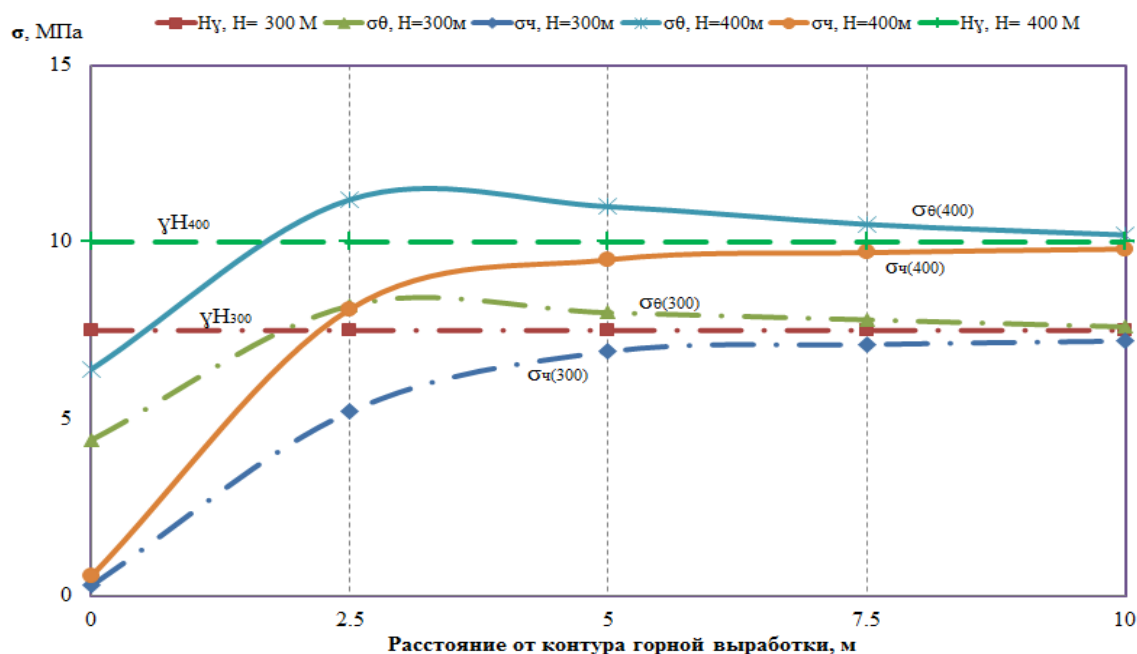


Рис. 2.30. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\text{ч}$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{\text{сж}}=44,24$  МПа,  $S_{\text{пр}}= 16$  м<sup>2</sup>

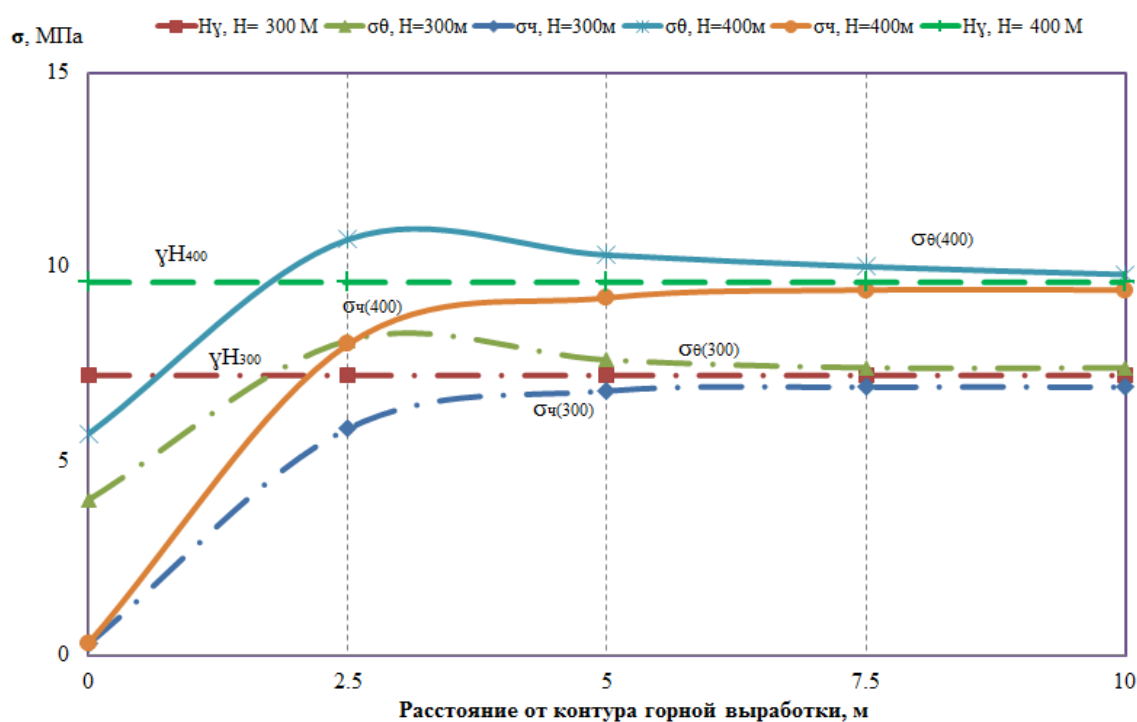


Рис. 2.31. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\text{ч}$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{\text{сж}}=28,9$  МПа,  $S_{\text{пр}}= 16$  м<sup>2</sup>



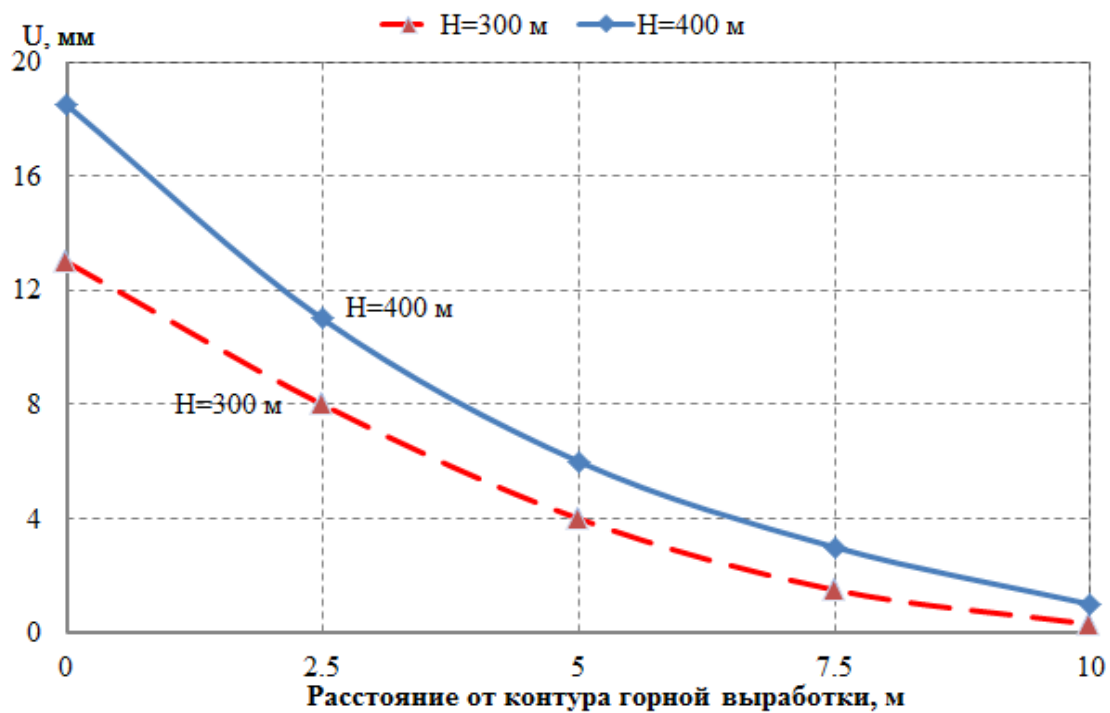
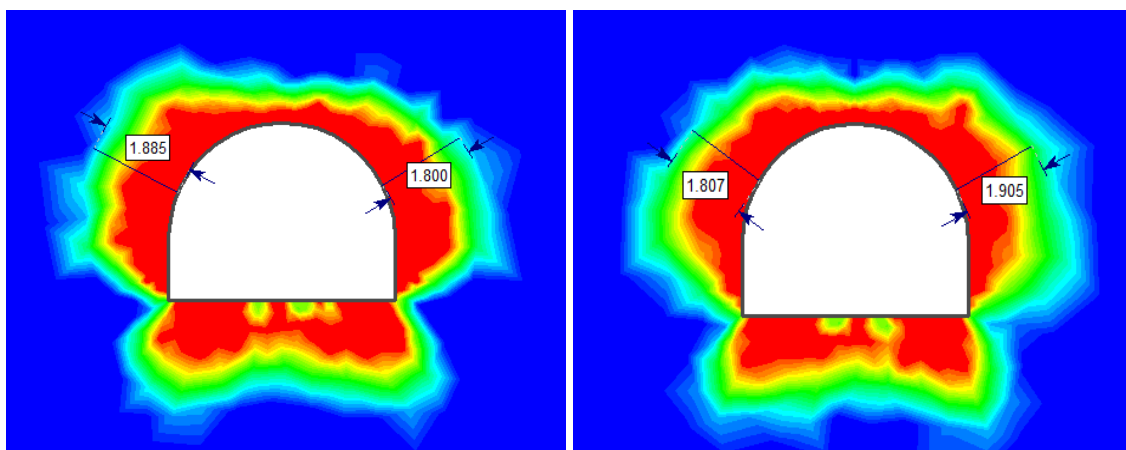


Рис. 2.32. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=16\text{ м}^2$ .



А)  $H=300\text{ м}$ ,  $L_{рmax}=1,86\text{ м}$

Б)  $H=400\text{ м}$ ,  $L_{рmax}=1,91\text{ м}$

Рис. 2.33. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=16\text{ м}^2$

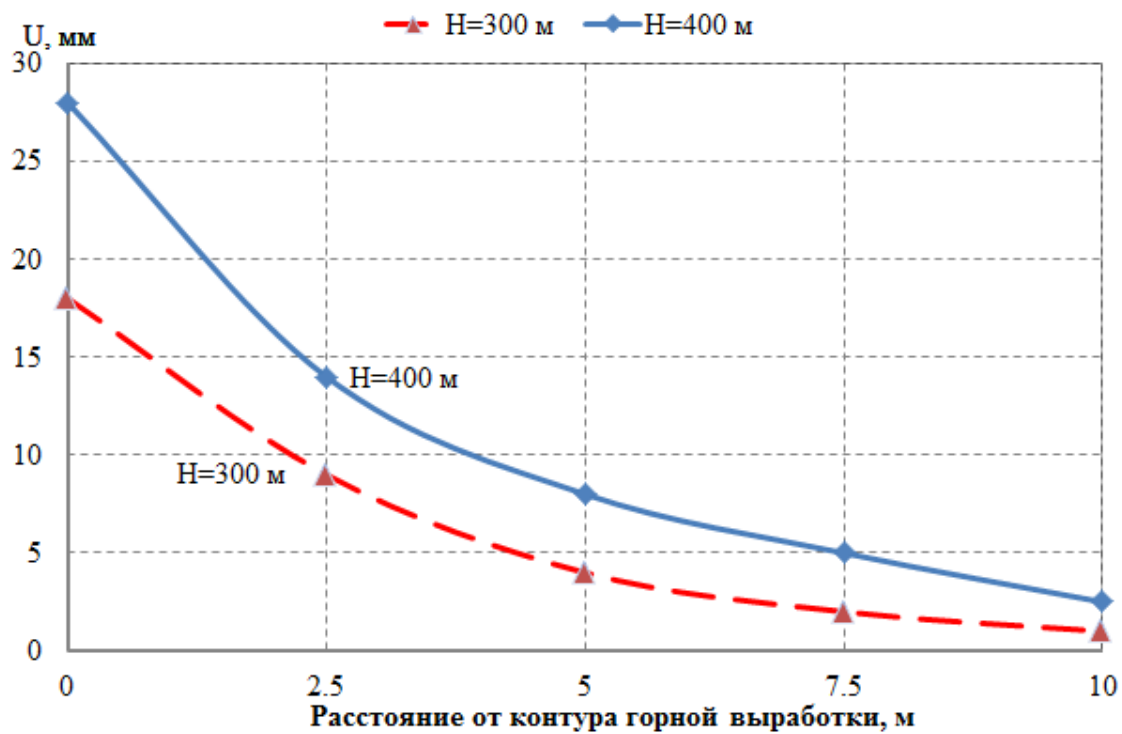
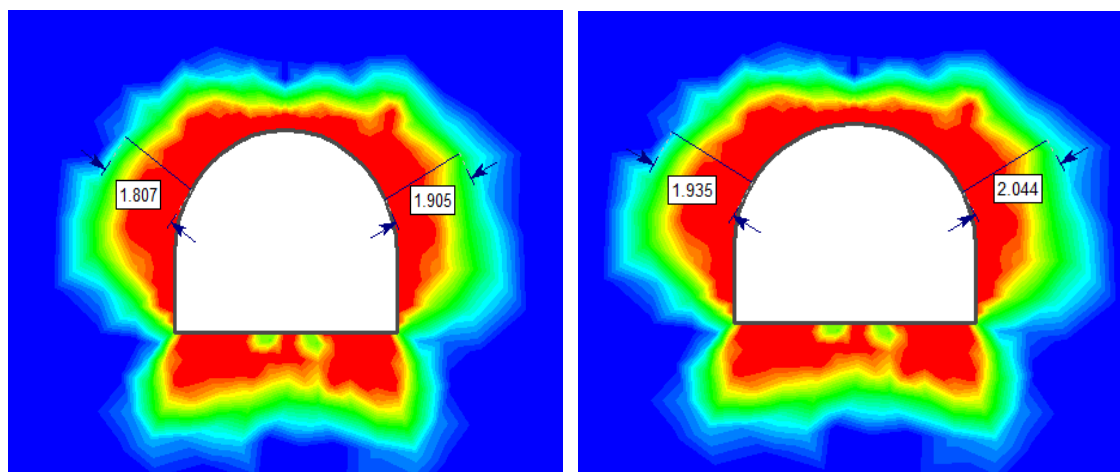


Рис. 2.34. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$ .



А)  $H=300\text{м}$ ,  $L_{рmax}=2,1\text{м}$

Б)  $H=400\text{м}$ ,  $L_{рmax}=2,24\text{м}$

Рис. 2.35. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=16\text{м}^2$

Таблица. 2.12. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж} = (44,24 - 28,9)$  МПа,  $S_{пр}=16$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=44,24$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 28,9$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0.0245	4,4	0,34	14,15	0.53	4,0	0,26	19,23
	2,5		8,2	5,2	8,37		8,1	5,8	9,34
	5		8,0	6,9	4,13		7,6	6,8	4,57
	7,5		7,8	7,1	1,54		7,4	6,8	2,31
	10		7,6	7,2	0,32		7,4	6,9	1,62
400	0	0.025	6,4	0,36	19,11	0.55	5,7	0,31	28,54
	2,5		11,2	8,1	11,32		10,7	8,0	14,33
	5		11,0	9,5	6,14		10,3	9,2	8,54
	7,5		10,5	9,7	3,24		10,0	9,4	5,07
	10		10,2	9,8	1,09		9,8	9,4	2,51

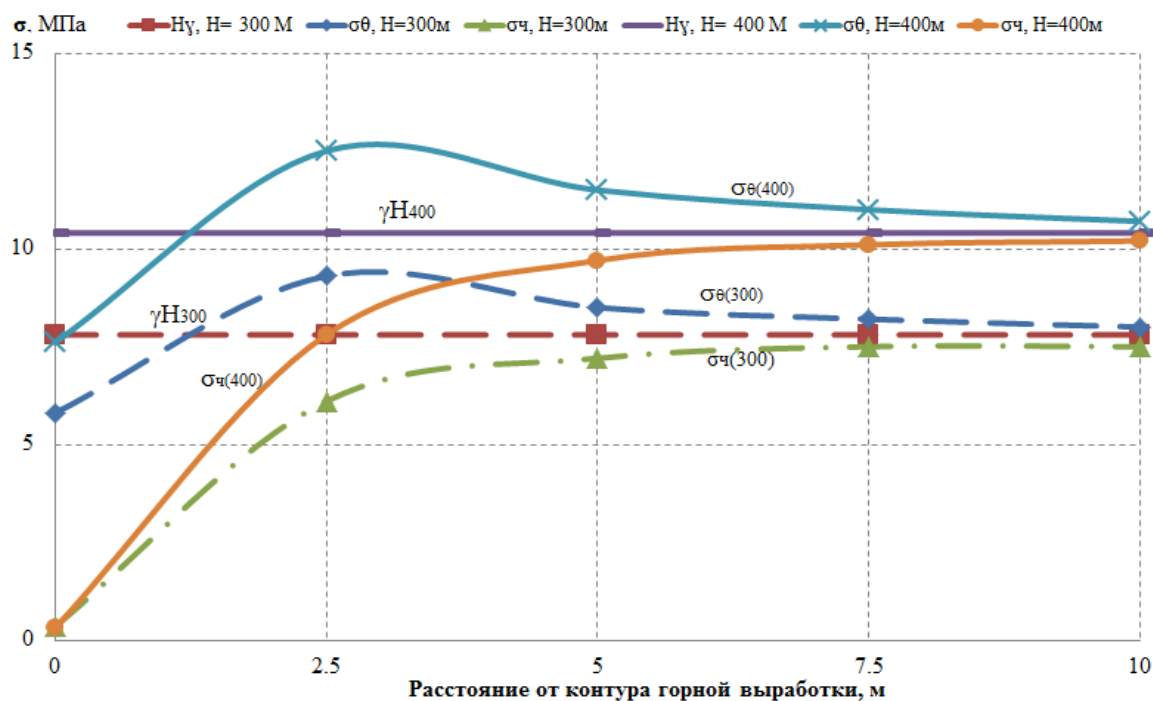


Рис. 2.36. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$ МПа,  $S_{пр}= 18$  м<sup>2</sup>

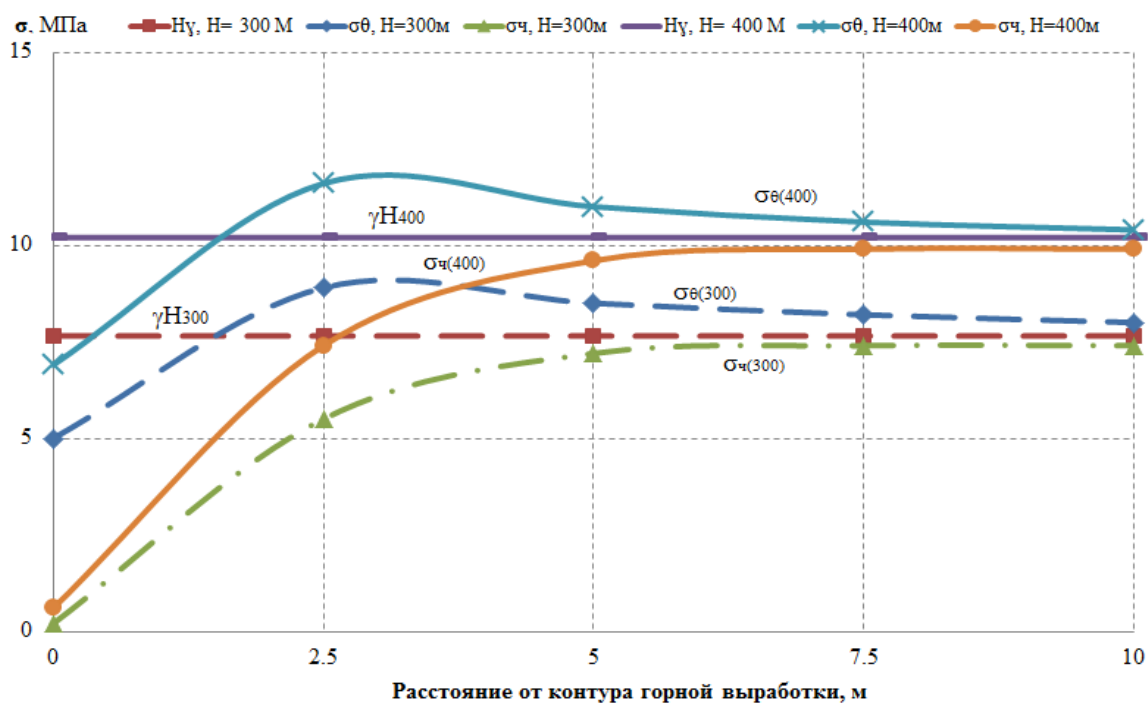


Рис. 2.37. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta - \sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$ МПа,  $S_{пр}= 18$  м<sup>2</sup>

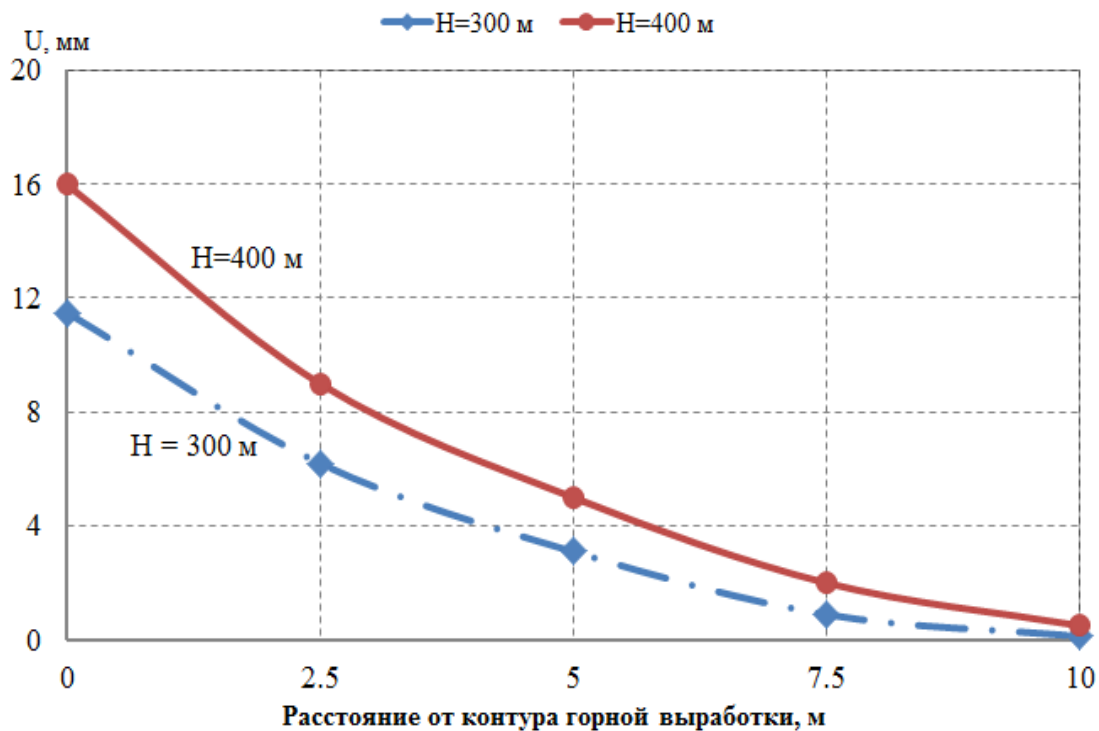
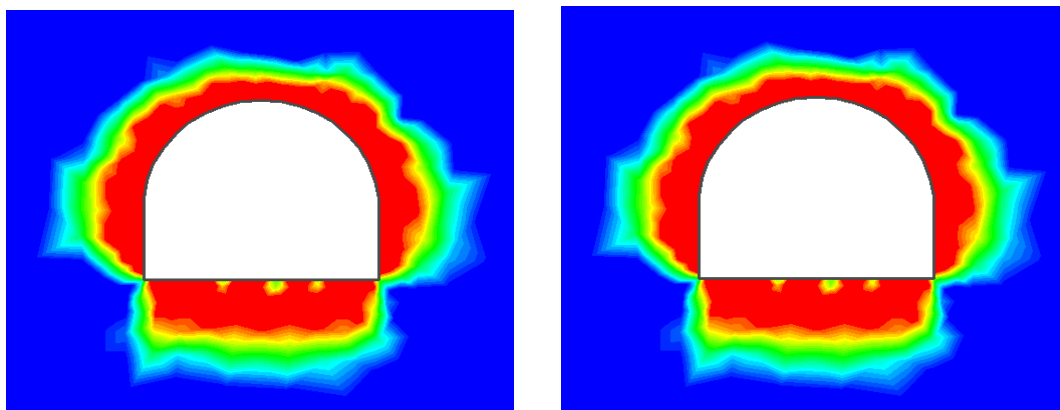


Рис. 2. 38. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$  МПа,  $S_{пр}=18\text{м}^2$ .



А)  $H=300\text{м}$ ,  $L_{p\max}=1,91\text{м}$

Б)  $H=400\text{м}$ ,  $L_{p\max}=2,15\text{м}$

Рис. 2.39. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=69,4$  МПа,  $S_{пр}=18\text{м}^2$

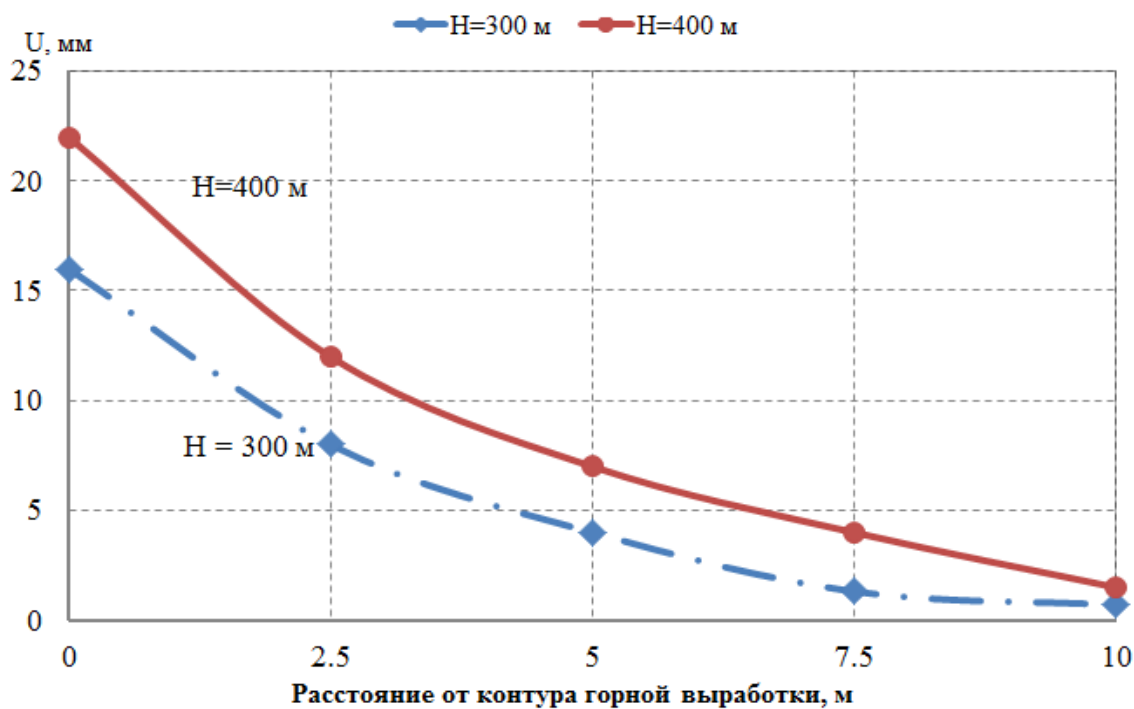
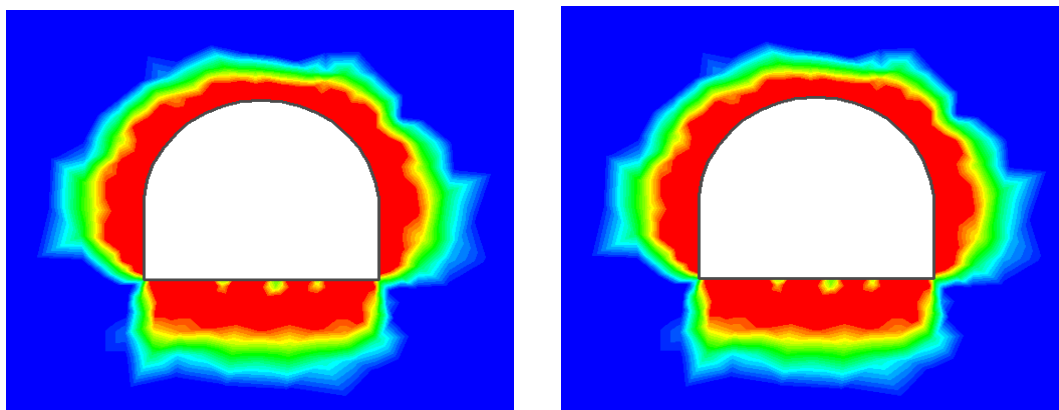


Рис. 2. 40. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=18м^2$ .



А)  $H=300м$ ,  $L_{рmax}=1,99м$

Б)  $H=400м$ ,  $L_{рmax}=2,3м$

Рис. 2.41. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=48,55$  МПа,  $S_{пр}=18м^2$

Таблица. 2.13. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж} = (69,4 - 48,55)$  МПа,  $S_{пр}=18$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=69,4$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 48,5$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0.024	5,8	0,48	12,54	0.53	4,8	0,39	17,52
	2,5		9,3	6,1	6,27		8,7	5,2	8,35
	5		8,5	7,2	3,09		8,3	7,1	4,25
	7,5		8,2	7,5	0,84		8,1	7,4	1,98
	10		8,0	7,5	0,25		7,9	7,5	0,51
400	0	0.0245	7,6	0,60	18,55	0.55	6,7	0,42	23,19
	2,5		12,5	7,8	9,02		11,4	7,0	12,56
	5		11,5	9,7	4,98		11,0	9,6	7,48
	7,5		11,0	10,1	2,01		10,6	9,9	4,13
	10		10,7	10,2	0,80		10,4	10,0	1,59

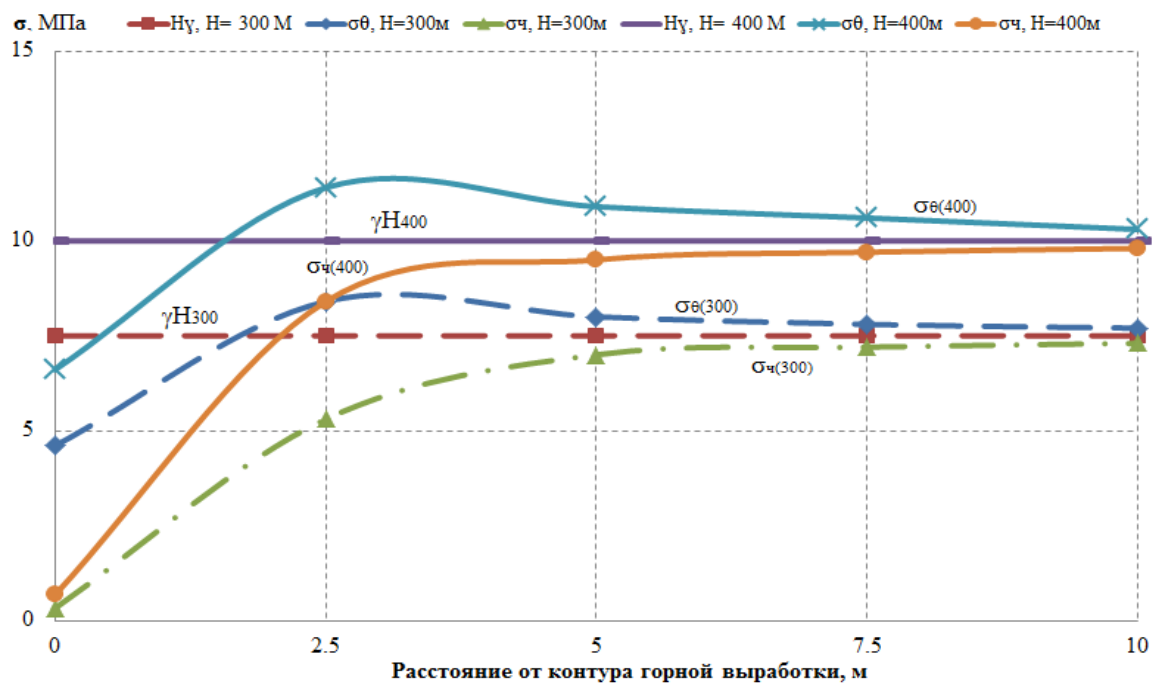


Рис. 2.42. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta$  –  $\sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}= 18$  м<sup>2</sup>

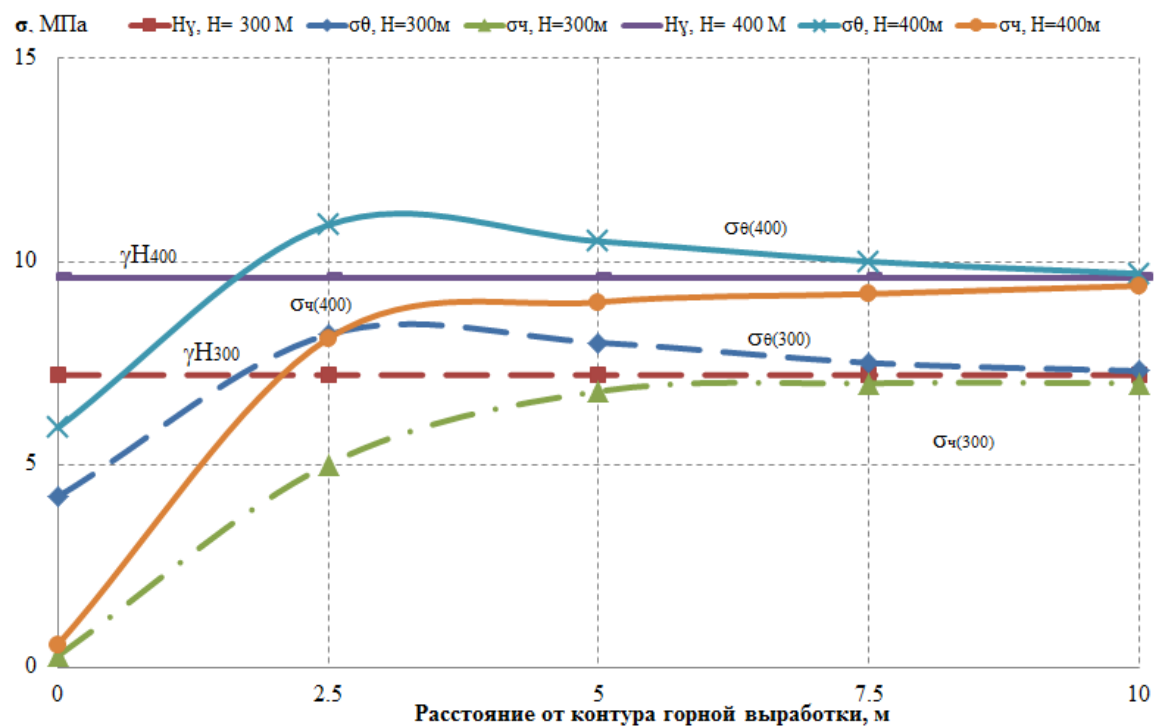


Рис. 2.43. Графики распределения начальных напряжения  $\sigma_\theta$  –  $\sigma_\chi$  в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}= 18$  м<sup>2</sup>



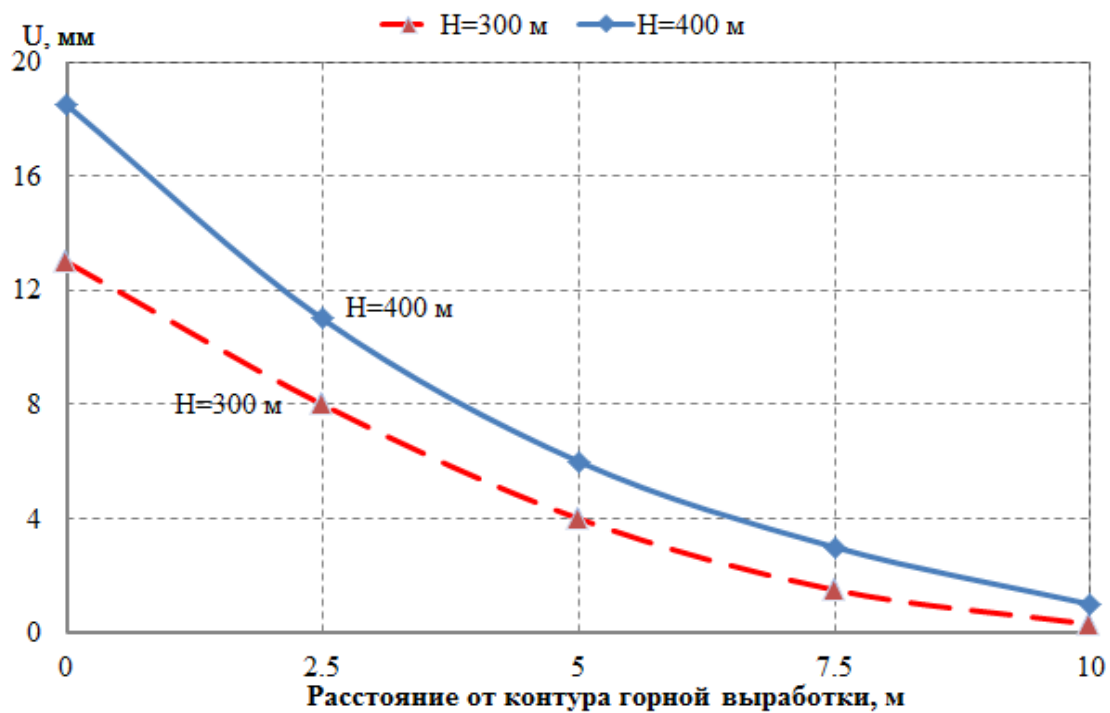
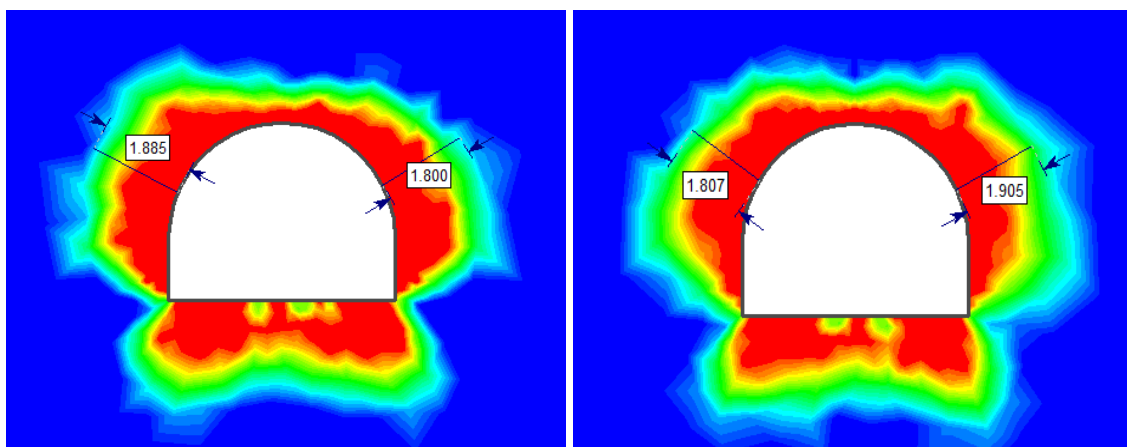


Рис. 2. 44. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=18м^2$ .



А)  $H=300м$ ,  $L_{рmax}=2,2м$

Б)  $H=400м$ ,  $L_{рmax}=2,54м$

Рис. 2.45. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=44,24$  МПа,  $S_{пр}=18м^2$

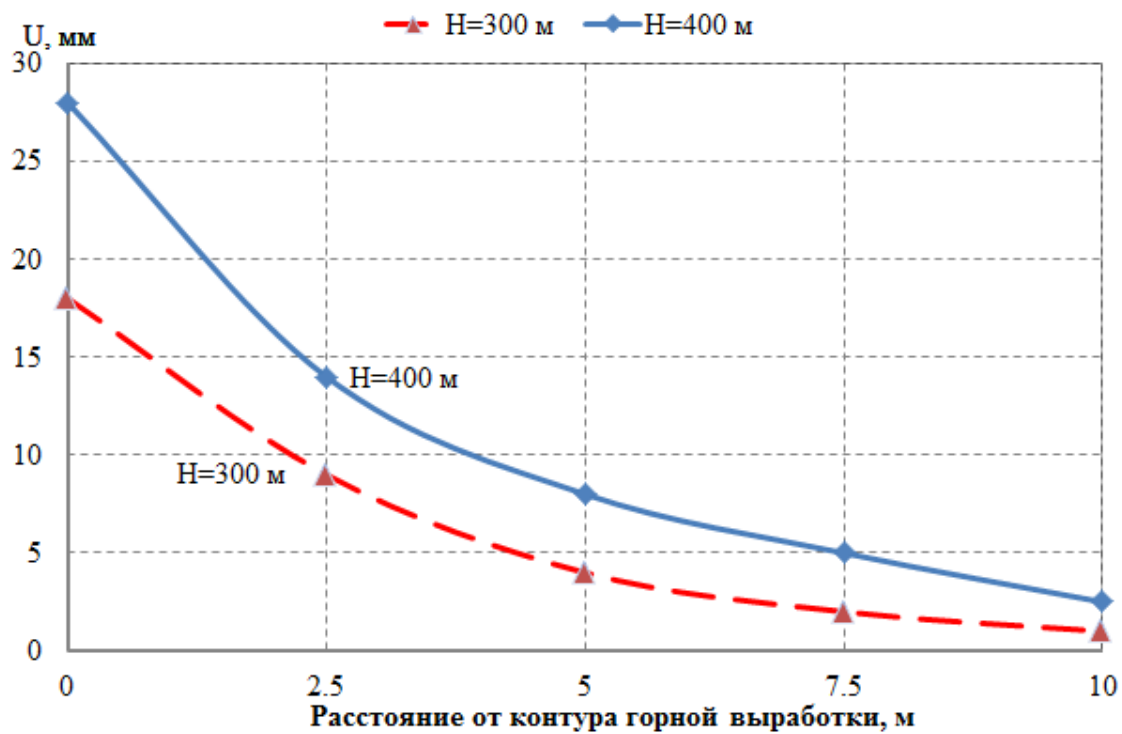
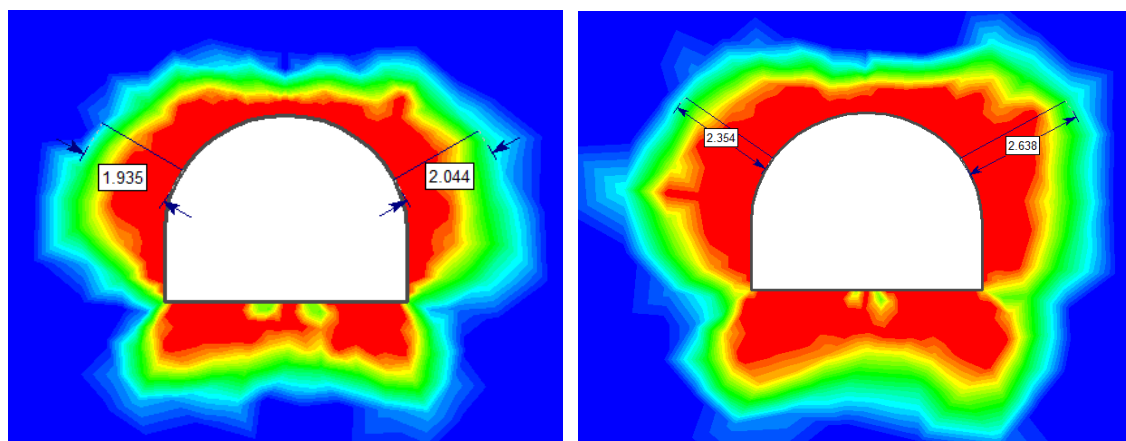


Рис. 2. 46. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=18\text{м}^2$ .



А)  $H=300\text{м}$ ,  $L_{рmax}=2,49\text{м}$

Б)  $H=400\text{м}$ ,  $L_{рmax}=2,64\text{м}$

Рис. 2.47. Величие зона разрушения вокруг горных выработок в зависимости от  $H=300-400$  м,  $R_{сж}=28,9$  МПа,  $S_{пр}=18\text{м}^2$

Таблица. 2.14. Распределение начальных напряжений  $\sigma_\theta$ - $\sigma_\chi$  и смещений в массиве горных пород вокруг  
выработок при  $H=300\div 400$  м,  $R_{сж} = (44,24 - 28,9)$  МПа,  $S_{пр}=18$  м<sup>2</sup>.

Н, м	Расстояние от контура горной выработки, м	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Вертикальные при $R_{сж}=44,24$ МПа			Коэффициент бокового распора $\lambda$	Вертикальные при $R_{сж}= 28,9$ МПа		
			$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм		$\sigma_\theta$ , МПа	$\sigma_\chi$ , МПа	$U_B$ , мм
300	0	0.024	4,6	0,36	15,50	0.53	4,2	0,28	21,43
	2,5		8,4	5,3	9,37		8,2	5,0	11,04
	5		8,0	7,0	5,11		8,0	6,8	5,07
	7,5		7,8	7,2	1,54		7,5	7,0	2,31
	10		7,7	7,3	0,32		7,3	7,0	1,86
400	0	0.0245	6,6	0,39	20,41	0.55	5,9	0,33	31,40
	2,5		11,4	8,4	13,12		10,9	8,1	17,33
	5		10,9	9,5	6,19		10,5	9,0	9,54
	7,5		10,6	9,7	3,27		10,0	9,2	5,07
	10		10,3	9,8	1,00		9,7	9,4	2,61

## 2.7. Анализ результатов лабораторных и аналитических исследований.

Лабораторные исследования, выполненные в Ханойском институте горного дела по определению величины (параметров) остаточной прочности горных пород месторождения Хечам за счет эффекта длительной прочности показывают, что горные породы, окружающие выработки, представлены в основном крепкими песчаниками и алевролитами с пределом прочности при сжатии 86,8 и 63,2 МПа. Лабораторные исследования показывают, что песчаники и алевролиты теряют свою первоначальную прочность в течение 15-28 суток в 1,43 – 1,53 раза соответственно (таблицы 2.1, 2.2, 2.3). В результате обработки данных полученных лабораторными методами получены эмпирические зависимости вида  $R_{сж}^t = f(R_{сж}, t)$ , которые зависываются в виде: [89]

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

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

В результате обработки данных аналитических исследований выполненных методом конечных элементов для полученного распределения напряжений в массива горных пород окружающих выработки, смещений массива пород и величины их разрушения вокруг выработок с учетом предела длительной прочности пород были построены графики смещений массива горных пород, представленные на рисунках 2,48 - 2,52 которые показывают, что в исследуемом диапазоне прочностных свойств горных пород и параметров выработок (при  $R_{сж}^t = 69,4 \div 28,9$  МПа, глубине заложения горных пород от 300 до 400 мм и сечении горных выработок в свету  $S_{св} = 13-18 \text{ м}^2$ ), величина смещений горных пород на контуре выработок составляет от 10 до 27 мм. [88]

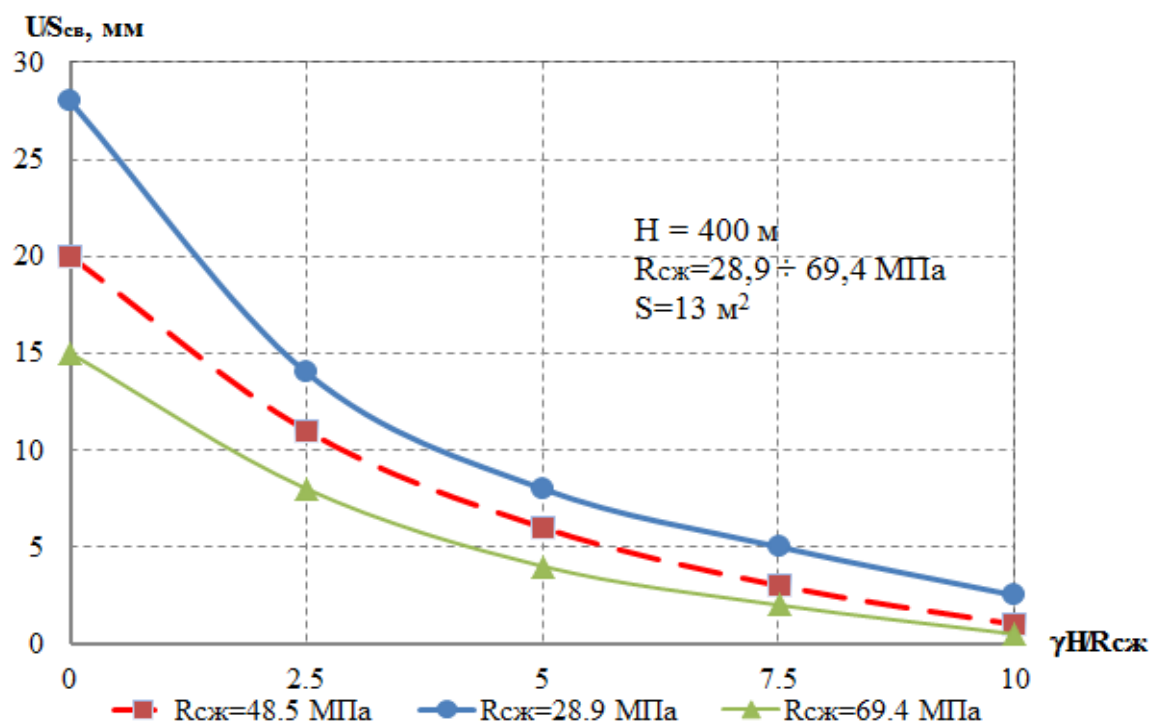


Рис 2. 48. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=400$  м,  $R_{сж}=28,9-69,4$  МПа,  $S=13$  м<sup>2</sup>.

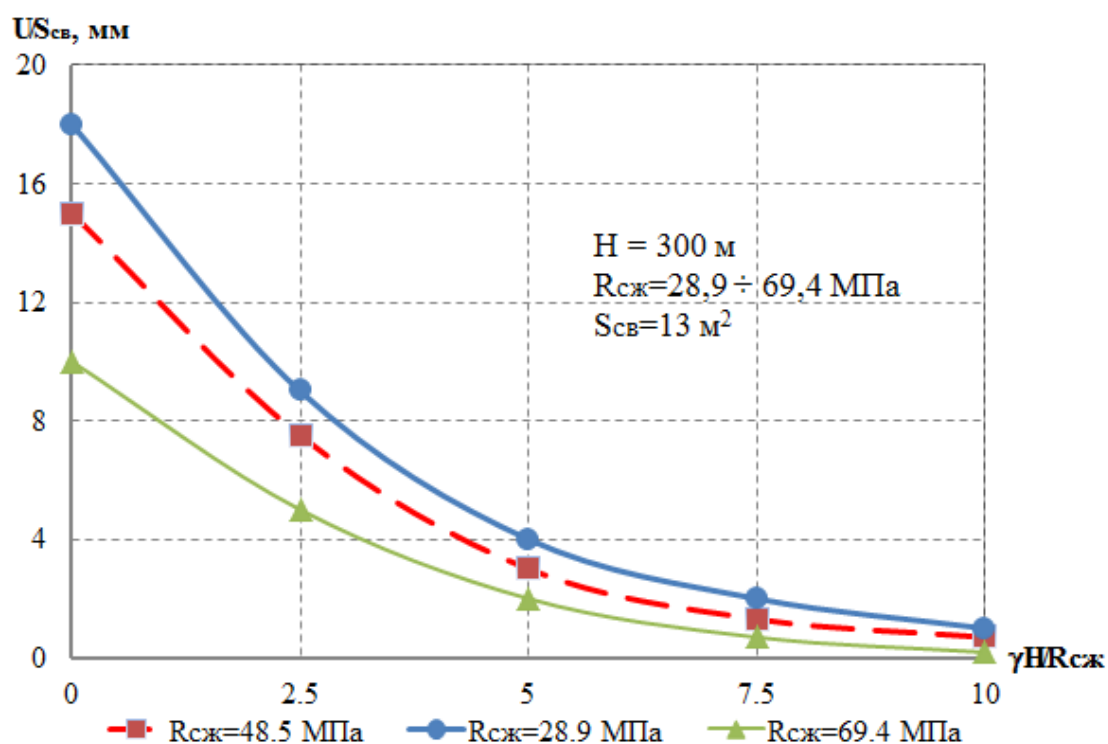


Рис 2. 49. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300$  м,  $R_{сж}=28,9-69,4$  МПа,  $S=13$  м<sup>2</sup>.

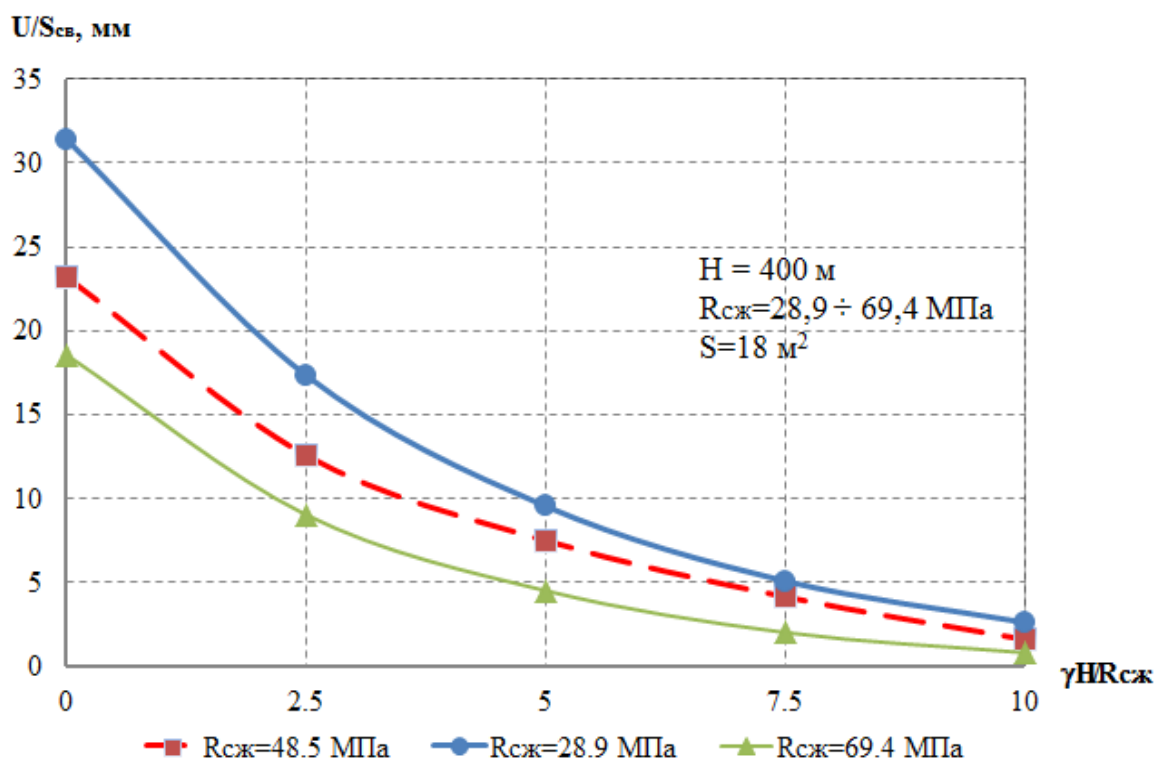


Рис 2. 50. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=400 \text{ м}$ ,  $R_{сж}=28,9-69,4 \text{ МПа}$ ,  $S=18 \text{ м}^2$ .

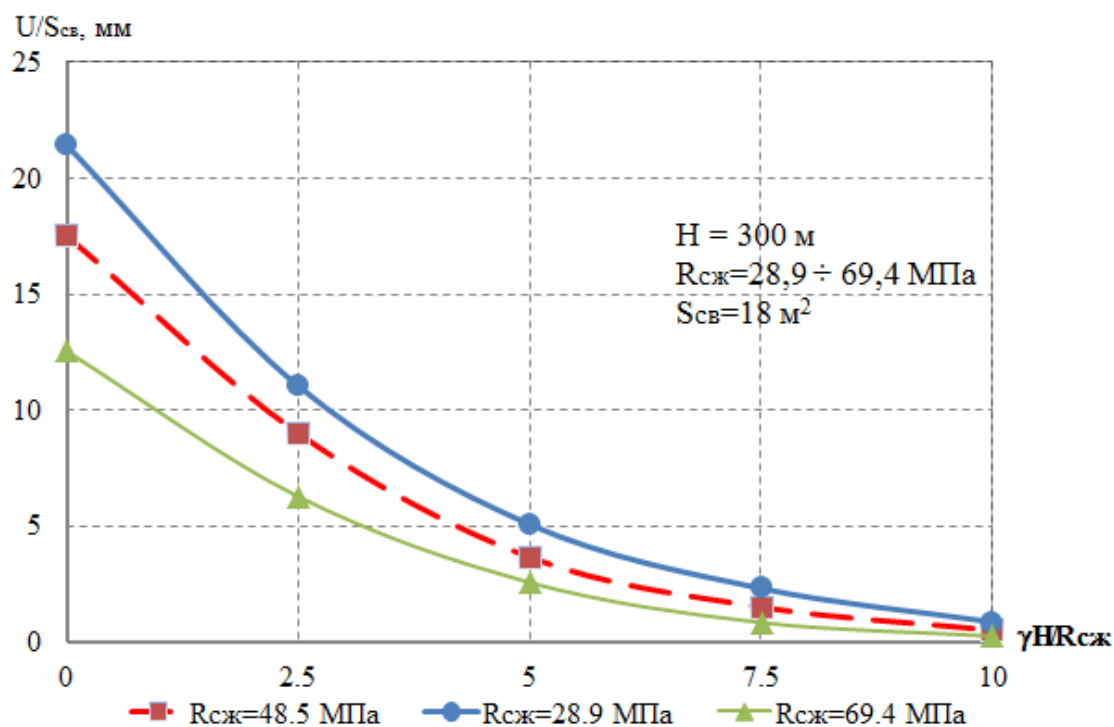


Рис 2. 51. Графики смещений в массиве горных пород в кровле выработок при  $H=300 \text{ м}$ ,  $R_{сж}=28,9-69,4 \text{ МПа}$ ,  $S=18 \text{ м}^2$ .

Причем, не значительно зависит от сечения выработки в свету, но существенно зависит от прочности горных пород, глубины заложения выработок; так при  $H=300$  м и  $400$  м,  $S_{св}=13$  м<sup>2</sup> величина смещений контура выработок при прочности пород контура выработок составляет  $10\div 16$  мм при  $R_{сж}^t=69,4$  МПа смещениях, соответственно, а при  $R'_{сж}=28,9$  МПа  $U=18\div 28$  мм, соответственно. Так же при  $H=300\div 400$  м,  $S_{св}=18$  м<sup>2</sup>, величина смещения контура выработок при  $R_{сж}^t=69,4$  МПа  $U=11\div 17$  мм, а при  $R'_{сж}=28,9$  МПа  $U=18\div 27$  мм, соответственно [90]. Математическая обработка результатов аналитических исследований позволяет получить следующую зависимость  $U=f(H, R_{сж}, S, L)$ .

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

Результаты аналитических исследований по определению величины зоны естественного равновесия горных пород вокруг выработок сведенны в таблицу 2.15.

Таблица 2.15

Размеры зоны равновесного состояния горных пород  
вокруг выработок

Без учета длительной прочности горных пород				С учетом длительной прочности горных пород			
Песчаник $R_{сж}^t=69,4$ МПа		Алевролит $R_{сж}^t=44,24$ МПа		Песчаник $R_{сж}^t=48,55$ МПа		Алевролит $R_{сж}^t=28,9$ МПа	
H=300м	H=400м	H=300м	H=400м	H=300м	H=400м	H=300м	H=400м
Сечение в свету $S_{св}=13$ м <sup>2</sup> .							
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 $S_{св}=16$ м <sup>2</sup> .							
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 $S_{св}=18$ м <sup>2</sup> .							
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

## Выводы по главе 2

Лабораторные исследования, выполненные в Ханойском институте горного дела, и аналитические исследования, выполненные автором по программе «Phase 2», позволяют сделать следующие выводы.

1. Горные породы месторождения Хечам при длительном воздействии на них постоянных напряжений теряют свою первоначальную прочность в  $1,43 \div 1,53$  раза в течение  $15 \div 30$  суток. Длительная прочность горных пород описывается следующими эмпирическими зависимостями: для песчаников  $R_{сж}^t = f(t) = -5,87 \ln(t) + 77,68$ ; для алевролитов  $R_{сж}^t = f(t) = -5,2 \ln(t) + 41,10$ .

2. Нормальные тангенциальные напряжения массива горных пород достигают максимального значения на расстоянии  $1,0 \div 1,2 \Gamma_0$  (где:  $\Gamma_0$  – радиус выработки) от контура горных выработки и составляют  $1,3 \gamma H$ , но полностью стабилизируются на расстоянии  $2,8 - 4,5 \Gamma_0$  от контура горных выработок.

3. В результате аналитических исследований получена зависимость ожидаемых смещений массива породного контура горных выработок с учетом их длительной прочности и определяются

по формуле: 
$$\frac{U}{S_{св}} = A \left( \frac{\gamma H}{R_{сж}} \right)^2 - B \frac{\gamma H}{R_{сж}} + C.$$

4. 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  $20 \div 25\%$  и могут достигать от  $1,38$  до  $2,64$  м в зависимости от глубины заложения выработок и прочности горных пород.



### **Глава 3. Исследования проявления горного давления в выработках**

#### **3.1. Исследования проявления горного давления в выработках в натурных условиях.**

##### **3.1.1. Методика исследований**

Для получения данных о характере проявлений горного давления шахтные натурные исследования должны включать в себя визуальные наблюдения с целью качественной оценки состояния крепи и вмещающих пород, изучение полного комплекса физико-механических свойств горных пород и определение количественных закономерностей сдвижения массива пород в окрестности выработок.

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 диаметром 32 мм, устанавливались глубинные репера анкерного типа (рис 3.1). Относительные смещения реперов в вертикальном направлении измерялись с помощью линеек, установленных в устье шпура. Линейка А присоединяется с реперу А через одну проволоку, линейка В – с репером В через другую проволоку.

Все станции устанавливались на расстоянии 1,5 м от груди забоя выработки. Непременным условием при установке станции был отбор проб горных пород с последующем определением их физико-механических свойств.

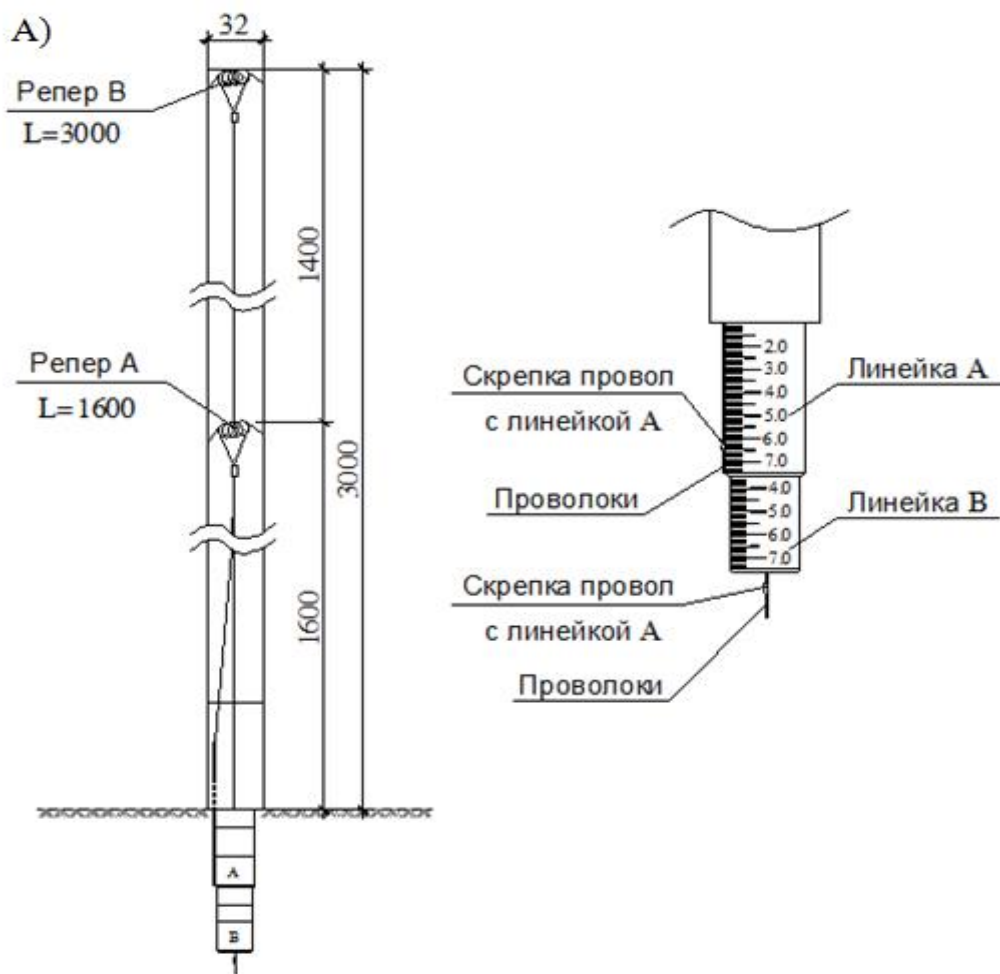
В комплекс исследований физико-механических свойств горных пород входили:- предел прочности при сжатии, МПа;

- предел прочности при растяжении, МПа;

- угол внутреннего трения, град;
- удельный вес  $\gamma$ , мН/м<sup>3</sup>;
- сцепление, МПа.

Прочностные показатели пород в районе замерной станции определялись по стандартной методике на образцах правильной цилиндрической формы диаметром  $30 \pm 1$  мм с отношением высоты к диаметру равным двум.

При определении геомеханического состояния окружающего массива определялась средневзвешенная прочность пород в кровле выработки на расстоянии трех ее радиусов.



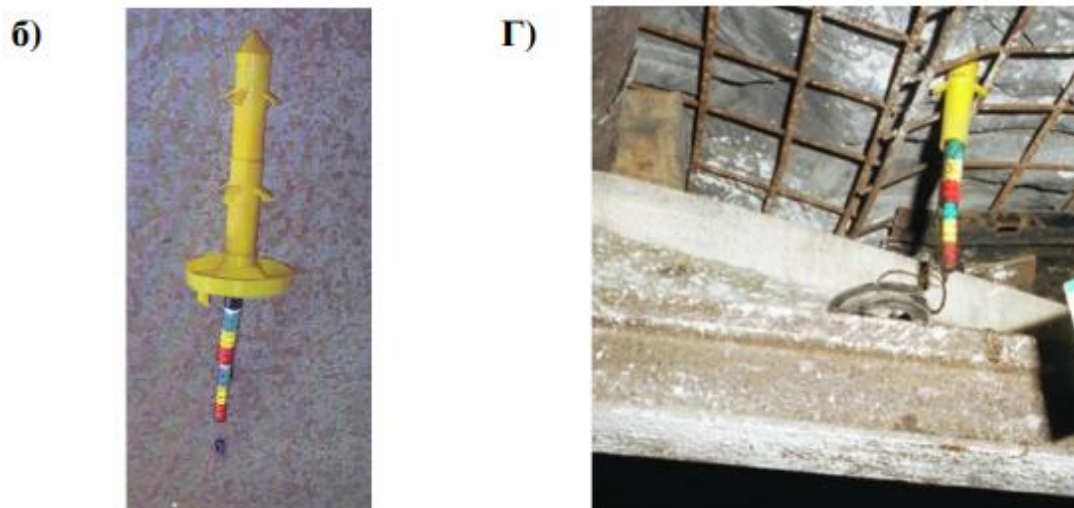


Рис 3.1. Схема замера смещения массива горных пород

А) – строение замерной станции; б) – измерительной репер типа анкера; Г) – замерная станция по измерению смещения горных пород в выработку в натуральных условиях.

### 3.1.2. Результаты инструментальных наблюдений

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  $R_{сж}=60$  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  $S_{св}=13\text{м}^2$ , закрепленных арочной металлической крепью из СПВ-22. Отсюда видно, что величина отношения  $\gamma H/R_{сж}$  в местах наблюдательных станций составляет 0,81.

Характеристики установленных замерных станций и горно-геологические условия их заложения представлены в табл 3.1.

## Характеристики замерных станций

Таблица 3.1

Шахта, выработки	Горно-геологическая характеристика условий заложения станций						
	$S_{св}, м^2$	$P, мН/м^3$	$R_{сж}, МПа$	$H, м$	$E, МПа$	$\varphi, град$	$U, мм$
«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

Графики деформации горных пород в кровле горных выработок представлены на рис 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6.

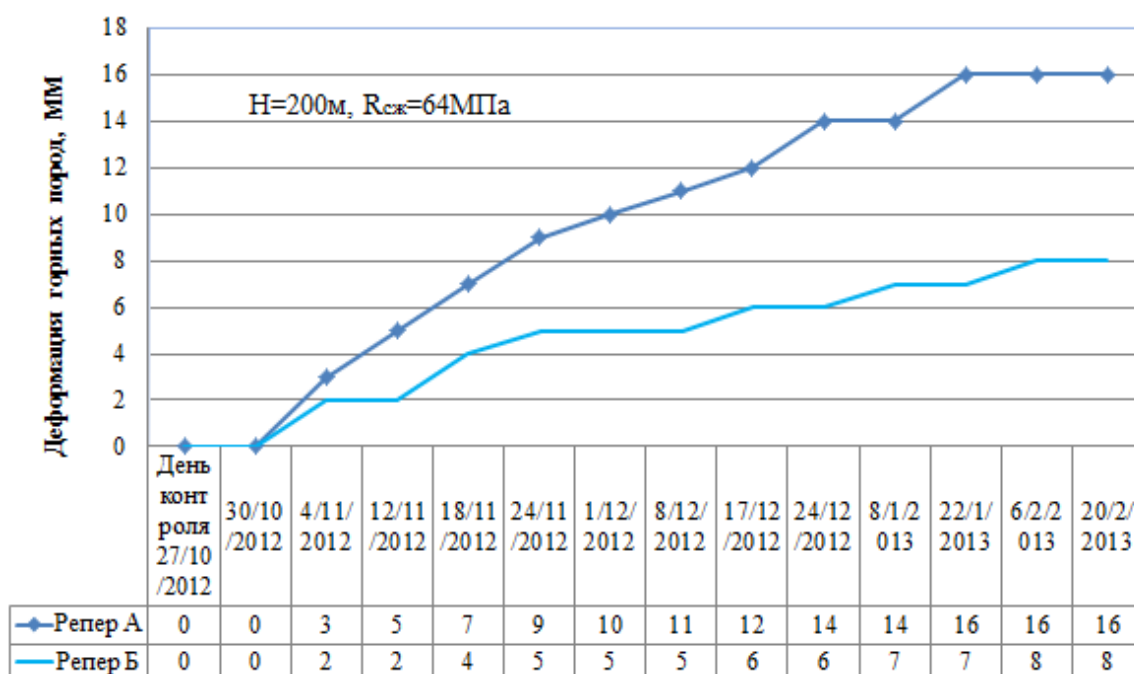


Рис 3.2. График деформации горных пород в кровле выработок №1

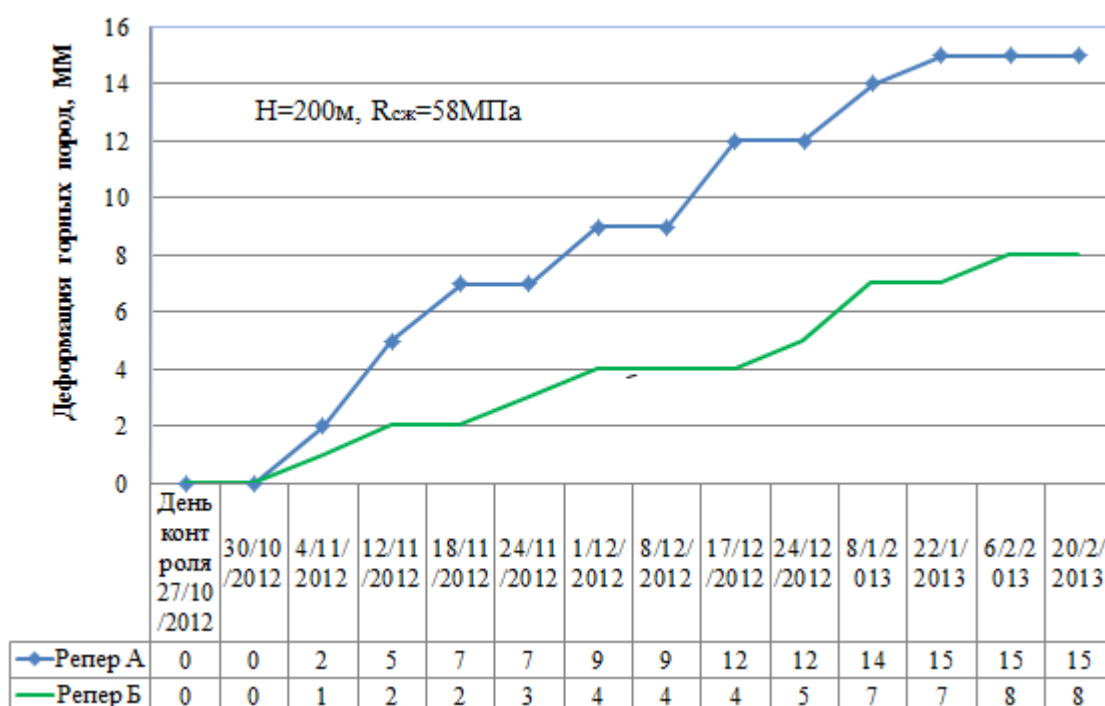


Рис 3.3. График деформации горных пород в кровле выработок №2  
Таблица 3.5.

Результаты деформации горных пород в кровле выработок  
на станции № 3

	Станция № 3	
	Репер А (мм)	Репер Б мм)
День расположения инструмента контроля	25/10/2012	
Место расположения инструмента	0	0
День контроля 27/10/2012	0	0
30/10/2012	0	0
04/11/2012	2	2
12/11/2012	5	5
18/11/2012	7	7
24/11/2012	8	8
01/12/2012	8	8
08/12/2012	9	9
17/12/2012	12	12
24/12/2012	12	12
08/01/2013	15	15
22/01/2013	16	16
06/02/2013	16	16
20/02/2013	16	16

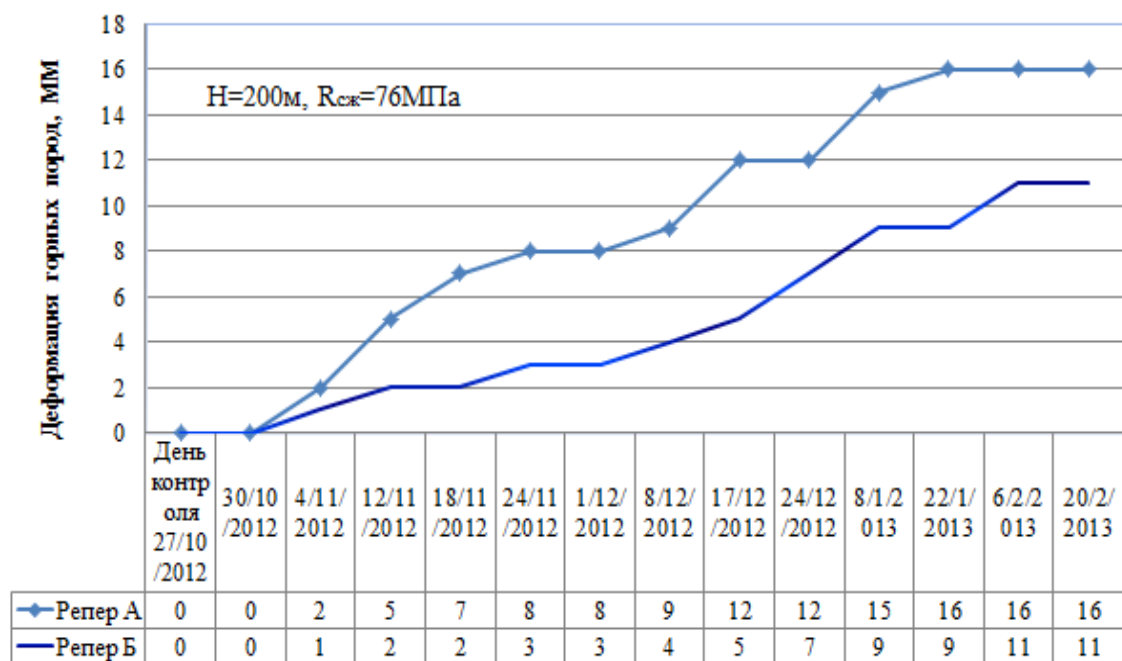


Рис 3.4. График деформации горных пород в кровле выработок №3

Таблица 3.6.

Результаты деформации горных пород в кровле выработок  
на станции № 4

	Станция № 4	
	Репер А (мм)	Репер Б мм)
День расположения инструмента контроля	15/11/2012	
Место расположения инструмента	0	0
День контроля 27/10/2012	0	0
30/10/2012	0	0
04/11/2012	2	2
12/11/2012	4	4
18/11/2012	6	6
24/11/2012	6	6
01/12/2012	8	8
08/12/2012	10	10
17/12/2012	10	10
24/12/2012	12	12
08/01/2013	14	14
22/01/2013	14	14
06/02/2013	16	16
20/02/2013	16	16

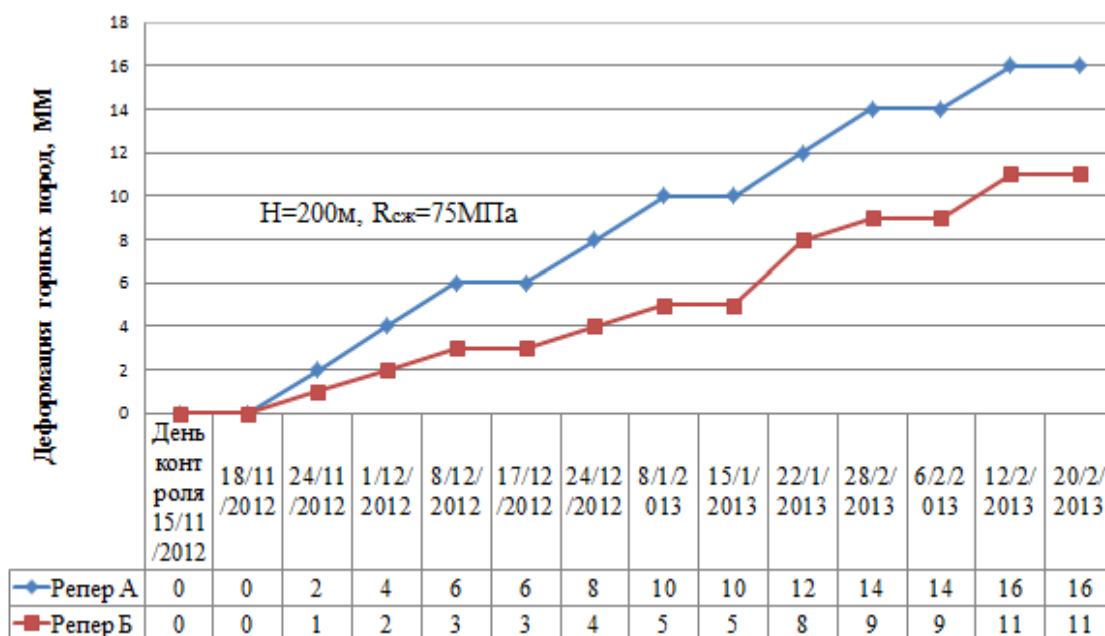


Рис 3.5. График деформации горных пород в кровле выработок №4

Таблица 3.7.

Результаты деформации горных пород в кровле выработок  
на станции № 5

	Станция № 5	
	Репер А (мм)	Репер Б мм)
День расположения инструмента контроля	15/11/2012	
Место расположения инструмента	0	0
День контроля 27/10/2012	0	0
30/10/2012	1	1
04/11/2012	3	3
12/11/2012	4	4
18/11/2012	7	7
24/11/2012	8	8
01/12/2012	10	10
08/12/2012	10	10
17/12/2012	12	12
24/12/2012	12	12
08/01/2013	13	13
22/01/2013	13	13
06/02/2013	15	15
20/02/2013	17	17

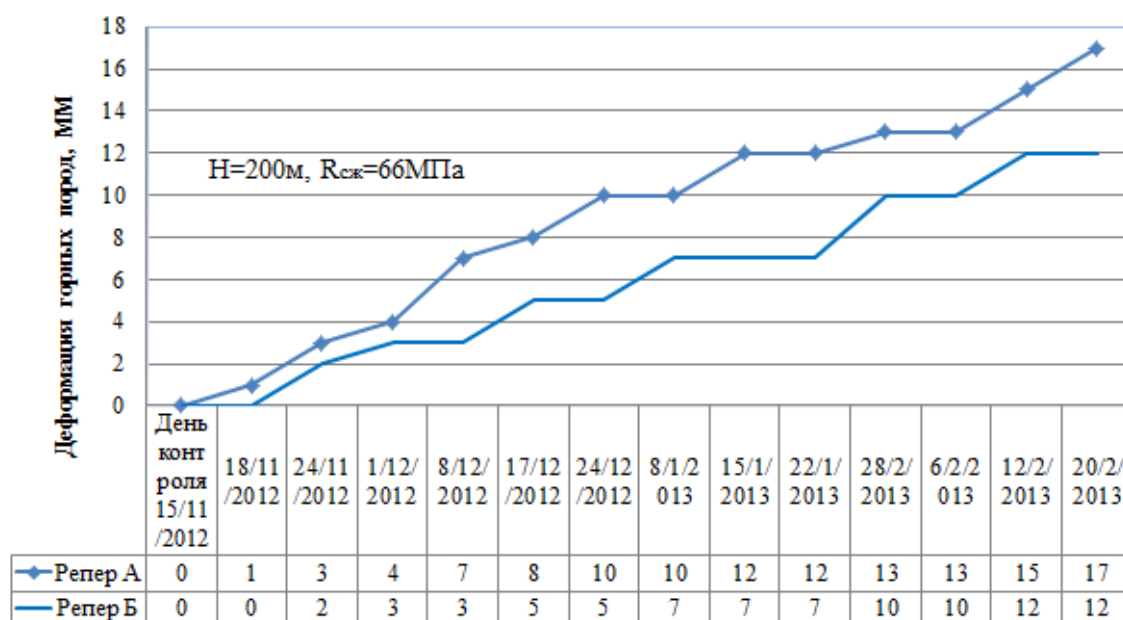


Рис 3.6. График деформации горных пород в кровле выработок №5

### 3.2. Выводы по 3 главе

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 составляет 15-17мм, что соответствует расчетным смещений массива, полученным аналитическим методом по программе «Phase 2» (разница не превышает 15%).



## **Глава 4. Обоснование конструктивных параметров крепления горизонтальных горных выработок в горно-геологических условиях месторождения Хечам**

### **4.1. Общие положения**

На шахтах месторождения Хечам основные горные выработки закреплены металлической арочной крепью (90%), монолитной бетонной - 1,8%, анкерной и анкер-набрызгбетонной крепью - 2,5%, из них в состоянии не соответствующем креплению, в том числе в нарушенном состоянии - 11% горных выработок.

Анализ условий применения различных конструкций крепей и физико-механических свойств горных пород показывает, что капитальные горные выработки строят, в основном, в крепких породах с пределом прочности при сжатии от 50 до 80 МПа.

Анализ применения различных конструкций крепи в подобных условиях в России и в горно-рудной промышленности других развитых стран (Канада, Австралия, Австрия, ОАР и др.) показывает, что в таких горно-геологических условиях применяют конструкции с малой материалоемкостью, обеспечивающие устойчивое состояние выработок при небольшой стоимости крепи. Известно, что в общей цене 1м горной выработки стоимость крепи из металлического профиля или железобетонная крепь составляет около 50% всех затрат на строительство.

Поэтому проведенные исследования показывают, что с учетом деформационных свойств массива горных пород в горно-геологических условиях месторождения Хечам могут успешно применяться анкера различных конструкций. [88]

#### **4.2. Методика выбора типа крепи и определения ее параметров на основе аналитических, лабораторных и натурных исследований.**

В соответствие с целью и задачами, поставленными в данной работе, основные параметры крепи определяются в следующей последовательности:

- 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 и аналитических исследований и полученных результатов определяется прочностные свойства горных пород с учетом длительной прочности, затем определяется размер ожидаемой зоны равновесного состояния, которая образуется вокруг выработок в течение 15-20 суток с момента проходки выработки. Расчеты производятся по приведенным в гл. 2 [91] зависимостям (2.17, 2.18).

- В соответствии с выполненными расчетами определяется длина анкеров на первой и второй стадии крепления выработки, причем анкера второй стадии устанавливают с отставанием от забоя выработки на 15-30 суток с момента проходки выработки.

- 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 таблицей 4.4.

На основе выполненных исследований составлена блок-схема расчета, которая представлена на рис 4.1, и далее - рекомендуемые

типы, конструкции и параметры анкерных крепей для их применения на шахтах месторождения Хечам (табл. 4.2. - 4.4)



Рис 4.1. Блок-схема расчета крепи

#### **4.3. Рекомендуемые конструкции анкеров для крепления капитальных горных выработок шахт месторождения Хечам.**

Анализ существующих и сертифицированных конструкций анкеров для крепления горных выработок позволяет рекомендовать следующие конструкции.

1. Металлические анкера с закреплением в данной части скважины с помощью полимерных ампул (рис 4.2 и 4.3). Характеристики анкера приведена в табл. 4.1



Рис 4.2. Конструкция стержня

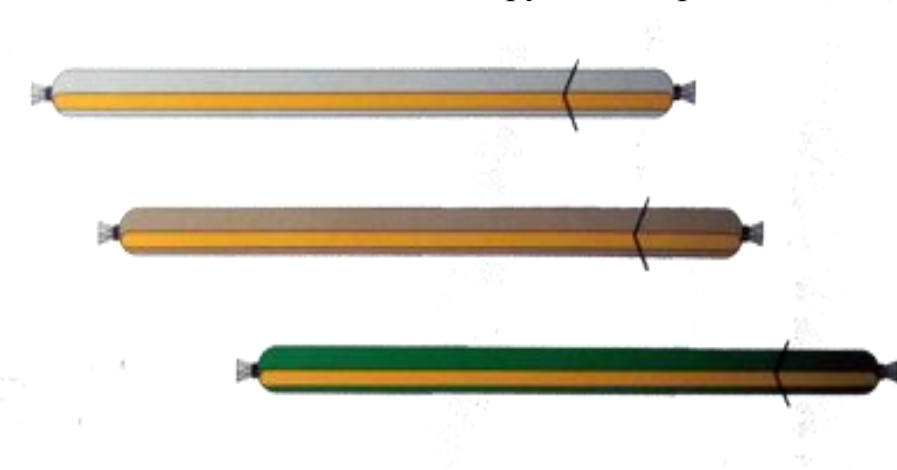


Рис.4.3. Плимерные ампулы для крепления анкеров в горном массиве

Таблица 4.1

## Технические характеристики полимерны ампул

Время размешивания при 25° С, сек	8 -25
Время отверждения (удержания) при 25° С, сек	10 – 30
Длина ампулы, мм	350
Диаметр ампулы, мм	23
Срок хранения при 20оС	3 месца

Таблица 4.2

## Диаметры анкера, полученные в результате стендовых испытаний

№	Диаметр стержня, мм	Диаметр скважины,мм	Длина ампулы ,мм	Максимальная несущая способность, Т
1	22	32	150	8,8
2	22	32	180	9,6
3	22	32	220	11,2
4	22	32	260	13,4
5	22	32	280	15,2

В последние годы в Кузнецком угольном бассейне разработаны и широко применяются канатные анкера с высокой (360 кН) несущей способностью. Разработанные конструкции вполне соответствуют условиям их применения на шахтах месторождения Хечам.

## 2. Технические характеристики канатных анкеров

Технические характеристики канатных анкеров приведены в табл 4.3, а конструктивные особенности и технология их установки приведена в расчете [2]. Анкер канатный типа АК01/АК02 состоит из каната арматурного условным диаметром 15 мм, условным пределом текучести 1410 Н/мм<sup>2</sup> (144кгс/мм<sup>2</sup>) ГОСТ 13840-68 с узлами уширения, шнеком проволочным, спиралью опорной на головным конце, соединенной с канатом муфты, гайка и опорных элементов (шайбы). Закрепляется ампульным, нагнетательным или ампульно-нагнетательным. Анкер канатный АКУ01/АКУ02 состоит из стержня, образован-

ного из трех канатов арматурных условным диаметром 12 мм, условным пределом текучести 1410 Н/мм<sup>2</sup> (144кгс/мм<sup>2</sup>) ГОСТ 13840-68 с кольцами-обжимками, соединенной со стержнем муфты, гайка и опорных элементов (шайбы). Закрепляется ампульным, нагнетательным или ампульно-нагнетательным. Способ закрепления, выбор закрепляющего материала выбираются на стадии проектирования паспорта крепления выработки.

Таблица 4.3

Основные параметры и размеры анкеров канатных

Основные параметры и размеры	АК01/АК02	АКУ01/АКУ02
1. Минимальный интервал закрепления, мм	1100 длина шпура	1500 длина шпура
2. Расчетная несущая способность, кН	210	360
3. Относительное удлинение анкера канатного при расчетной несущей способности, %, не более	1,3	1,3
4. Прочность соединения гайки с муфтой, кН, не менее	270	400
5. Время достижения рабочего состояния (210 кН) крепи, час + Смолами (ампульный и ампульно-нагнетательный способ) +Быстротвердеющими минеральными компцзиями, мин		
	1	1
	16	16
6. Рекомендуемая величина предварительного натяжения анкеров, закрепленных ампулами АМК сразу после установки (1-2 мин), кН	25 ÷ 30	-
7. Стержень грузонесущей канат арматурный ГОСТ 13840-68		
+ диаметр, мм	15,2	28 (3x12,4)
+ разрывное усилие, кН	232	492
8. Муфта		
+ диаметр наружный, мм	40	55
+ длина, мм	120; 140	130
9. Гайка		
+ высота, мм	40	50
+ размер под ключ, мм	55	75

**Типы и параметры анкерных крепей, рекомендуемые для крепления горных выработок  
на шахтах месторождения Хечам**

Таблица 4.4

Тип породы	Глубина заложения выработки, м	Прочность пород при сжатии, МПа			Сечение выработки в свету, м <sup>2</sup>	Тип анкера	Длина анкера, м	Тип замка	Несущая способность, кН
		В образце	В массиве	С учетом длительной прочности					
Песчаник	200	85	70	50	13 16	Металлический, сталеполимерный	1,8	Ампулый	205 240
	300	85	70	50	16 18	Металлический, сталеполимерный канатный	1,68; 1,81; 1,98	Ампулый	205 240 360
	400	85	70	50	18 и более	Металлический, канатный	2,1; 2,34	Ампулый	205 360
Алевролит	200	60	45	30	13 16	сталеполимерный канатный	1,7	Ампулый	240 360
	300	60	45	30	16; 18	сталеполимерный канатный	1,8; 2,1	Ампулый	240 360
	400	60	45	30	18 и более	сталеполимерный канатный	2,2; 2,64	Ампулый	240 360

\*Тип замка: ампульный минерант на всю длину анкера

## 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 ( $\Gamma_0$ ).



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.

### Список литературы

1. Амусин Б. З., Фадеев А. В. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики. – М. : Недра, 1975 г.
2. Ануфриев В. Е., Лупий М. Г. и др: Опыт применения канатных анкеров и. т. д. – Кемерово, 2008 г.
3. Ардашев К. А. Геомеханические основы рационального проектирования и строительства капитальных выработок // Шахтное строительство. - М., 1978 г. № 1.
4. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Оценка устойчивости горных выработок// Шахтное строительство. - М., 1978 г. № 2.
5. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. – М. : Недра, 1984 г.
6. Барон Л. И., Логунцов Б. М., Позин Е. З. Определение свойства горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1962 г.
7. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. – М. : Недра, 1980 г.
8. Булычев Н. С., Амусин Б. З., Оловянный А. Г. Расчет крепи капитальных горных выработок. – М.: Недра, 1974 г.
9. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений. – М. : Недра, 1982 г.
10. Булычев Н. С. О критериях устойчивости окружающих выработки пород // Устойчивость и крепление горных выработок: Сб. науки. тр. ЛГИ. Л.: 1976 г.
11. Ветров С. В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М. : Наука, 1975 г.
12. Гелескул М. Н., Каретников В. Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. – М.: Недра, 1982г.

13. Голодковская Г. А., Лукошин А. Г., Мостков В. М., Павлушин О. П. Определение расчетного коэффициента крепости пород в массиве // Гидротехническое строительство. – 1977 г. № 1. – Изд. ”Энергия”.

14. Динник А. Н., Моргаевский А. П., Савин Г. Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок // Тр. совещания по правлению горным давлением. – М. – Л. : АН СССР, 1938 г.

15. Ержанов Ж. С., Айталиев Ш. М., Масанов Т. К. Устойчивость горизонтальных выработок а наклонно-слоистом массиве. – Алма-Ата: Наука, 1971 г.

16. Ерофеев Л. М. Инструкция по проектированию крепей капитальныхгорных выработок для условий угольных шахт Кузбасса. – Кемерово: Кузниишахтострой, 1978 г.

17. Ерофеев Л. М. Прогнозирование проявлений горного давления для горизонтальных горных выработок при условии образования сводов устойчивых равновесий. Тр. Кузниишахтостроя. – Кемерово, 1974 г.

18. Ерофеев Л. М. Прогнозирование проявлений горного давления для горизонтальных горных выработок при условии образования сводов устойчивых равновесий // Строительство предприятий угольной промышленности / ЦНИЭИуголь. 1977 г. - № 7.

19. Ерофеев Л. М. Определение условий работы крепей капитальных и горизонтальных горных выработок и разработка основных принципов их проектирования // Горное давление в капитальных и подготовительных выработках. – Новосибирск: СО АН СССР, 1975 г.

20. Ерофеев Л. М. Проектирование крепей капитальных горных выработок // Шахтное строительство, 1978 г. -№ 2.

21. Ерофеев Л. М., Мирошникова Л. А. Повышение надежности крепи горных выработок. –М.: Недра, 1989 г.
22. Ерофеев Л. М. К вопросу о влиянии вертикального размера образца на величину прочности хрупких материалов при одноосном сжатии. – Тр. Кузниишахтостроя. – Кемерово, 1974 г. - № 12.
23. Ерофеев Л. М. Методика натурных исследований проявлений горного давления в капитальных горизонтальных горных выработках на шахтах Кузбасса // Тр. ВНИМИ. – 1966 г. – Вып. 15.
24. Ефимов В. И., Лидер В. А., и др. Результаты испытания железобетонных анкеров // Сб. Вопросы безопасности при разработке угольных месторождений Кузбасса / Кузбассуглетехнология. – Кемерово. -1991. - № 4.
25. Заславский Ю. З., Дружко Е. Б. Новые виды крепи горных выработок. – М.: Недра. -1989 г.
26. Заславский Ю. З., Мостков В. М. Крепление подземных сооружений. –М.: Недра, 1979 г.
27. Изаксон В. Ю. Об устойчивости незакрепленных горных выработок // Сб. Проектирование и строительство угольных предприятий. -№ 4. – 1986 г.
28. Инструкция по проектированию крепей капитальных горных выработок для условий угольных шахт Кузбасса. – Кемерово: Кузниишахтострой. – 1978 г.
29. Инструкция по расчету и применению анкерного крепления на угольных шахтах России.
30. Картозия Б. А. Пшеничный В. А. Теоретические основы крепления горных выработок крепью регулируемого сопротивления /

Специальные способы строительства подземных сооружений и шахт. – М.: МГИ. -1984 г.

31. Кузнецов Г. Н. И др. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок // Современные проблемы механики горных пород. –Л.: Наука, 1972 г.

32. Кузнецов Г. Н., Будько М. Н. Оценка степени трещиноватости пород на их устойчивость в горных выработках методом моделирования. – Л. : ВНИМИ, 1964 г.

33. Курленя М. В. Результаты экспериментальных исследований напряженного состояния угольных массивов Кузбасса // Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, 1973 г.

34. Либерман Ю. М. Давление на крепь капитальных выработок. – М.: Наука, 1969 г.

35. Лехницкий С. Г. Распределение напряжений вблизи горизонтальной выработки эллиптического сечения в трансверсально-изотропном массиве с наклонными плоскостями изотропии // Механика твердого тела. – М., 1966 г. -№ 2.

36. Максимов А. П. Горное давление на крепь выработок. – М. : Наука, 1973 г.

37. Методика определения прочности горных пород на образцах правильной формы / -М.: ИГД Скочинского, 1976 г.

38. Мирошникова Л. А., Франкевич Г. С. Изучение проявлений горного давления и выбор типов крепей в капитальных горных выработках шахт Карагандинского бассейна // Тр. Кузниишахтостроя. – Кемерово, 1979 г. -№ 18.

39. Мостков В. М. Строительство подземных сооружений большого сечения. – М.: Недра, 1974 г.

40. Мюллер Л. Инженерная геология. Механика скальных массивов. – М.: Мир, 1971 г.
41. Мельников Н. И. Анкерная нрепъ. –М.: Недра, 1980 г.
42. Нестеренко Г. Т., Палий В. Д. Некоторые результаты и пути совершенствования натурных испытаний прочностных и деформационных свойств горных пород // Современные проблемы механики горных пород. –Л.: Наука, 1972 г.
43. Николаенко Н. Н., Байкенжин М. А. Взаимодействие породного массива с анкерной крепью различных конструкций // Известия ВУЗов / Горный журнал. -1984. - № 8.
44. Оловянный А. Г. Некоторые задачи механики массивов горных пород. СПб.: Изд-во ВНИМИ, 2003 г.
45. Отчет о результатах работы угольной компании «Винакомин» за 2005-2009гг. Ханой, 2010.
46. Отчет угольной компании «Винакомин» об использовании угля в народном хозяйстве СРВ. Ханой, 2010.
47. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. –М.: Недра.
48. Попов В. Л. Проектирование строительства подземных сооружений и шахт. –М.: Недра, 1989 г.
49. Перспективный план развития угольной промышленности Вьетнама в период 2005-2010гг. Ханой 2005г.
50. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. С. Петербург 1998 г.
51. Паспорта прочности горных пород и методы их определения / Протоdjаконов М. М. –М.: Наука, 1964 г.

52. Протодяконов М. М. и др. Методы исследования механических свойств горных пород в условиях объемного напряженного состояния. –М.: АН СССР, 1963 г.
53. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1984.
54. Руководство по проектированию подземных горных выработок расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. –М.: Стройиздат, 1984 г.
55. Руппенейт К. В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. –М.: Недра, 1975 г.
56. Свойства горных пород при различных видах и режимах напряжения. А. И. Барон и др. –М.: Недра, 1984 г.
57. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Госстрой. СССР. –М.: Стройиздат, 1962 г.
58. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Под ред. Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, М. М. Протодяконова. –М.: Недра, 1975 г.
59. Ставрогин А. Н., Лодус Е. В. Ползучесть и временная зависимость прочности горных пород. –физ-мех. проблемы разработки полезных ископаемых, 1974 г. -№ 6.
60. Сахно О. Г. Эффективная конструкция податливой анкерной крепь. Шахтное строительство. – 1986. -№ 1.
61. Свойства горных пород и методы их определения. –М.: Недра, 1969 г.
62. Семений А. Ю., Соколов Н. В., и др. Повышение работоспособности крепей / Бесопасность труда в промышленности. 1985 г.

63. Сечения горных выработок, закрепленных металлической арочной крепью из взаимозаменяемого профиля для условий Кузбасса (типовой проект 401-11-53). –М.: 1975 г.
64. Справочник по креплению горных выработок. / М. Н. Гелескул, В. Н. Хорин, Е. С. Киселев и др. – М.: Недра, 1976 г.
65. Терминологический словарь. – Горное дело. –М.: Недра, 1981 г.
66. Терцаги К. Теория механики грунтов. –М.:Госстройиздат, 1942г.
67. Технологические схемы проведения горизонтальных протяженных горных выработок сечением в проходке более  $18 \div 20 \text{ м}^2$  и наклонных стволов. –Кемерово, 1979 г.
68. Технологические схемы упрочнения массива горных пород цементацией при проведении капитальных горных выработок в зонах геологических нарушений. –Кемерово: Кузнецкшахтострой, 1980 г.
69. Технология, механизация и организация проведения горных выработок: Учебник для вузов / В. В. Бокий, Е. А. Зиминая, В. В. Смирняков, О. В. Тимофеев. – 3-е изд. Перераб. И доп. –М.: Недра, 1983г.
70. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Минуглепром СССР. Л.: ВНИМИ, 1985 г.
71. Тэнсэпэн Э. Совет по применению штанговой крепью. Донецк 1975 г.
72. Терцаги К. Теория механики грунтов. –М.: Госгортехиздат, 1961 г.
73. Филатов Н. А. Зависимость прочностных и деформационных свойств образцов из эквивалентных материалов от направления ее слоистости // Тр. ВНИМИ. – Л., 1966 г.



74. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М. : Недра, 1976 г.
75. Феннер Р. Исследование горного давления // горное давление. - М.: Госгортехиздат, 1961 г.
76. Франкевич Г. С. Обоснование параметров в разработка крепей капитальных горных выработок с управляемой несущей способностью. Дис. докт. техн. наук. – М.: МГГУ, 1998 г.
77. Шаумян Л. В. Физико-механические свойства массивов скальных горных пород. –М.: Наука, 1978 г.
78. Широков А. П. Анкерная крепь в горнодобывающей промышленности. –Кемерово, 1973 г.
79. Широков А. П. Основные рекомендации и опыт применения анкерной крепи в Кузнецком бассейне. –Прокопьевск, 1970 г.
80. Широков А. П. Теория и практика применения анкерной крепи. –М.: Недра, 1981 г.
81. Широков А. П., Горбунов В. Ф. Повышение устойчивости горных пород. –Новосибирск: Наука, 1983 г.
82. Широков А. П. Лидер В. А., Писляков В. Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. –М.: Недра, 1976 г.
83. Штефан П. Опыт применения анкерной крепи / Глюкауф, 1987 г. -№ 9.
84. Штефан П. Поведение анкеров в слоистых породах и вытекающие из этого требования / Глюкауф, 1985. -№ 8.
85. Штумпф Г. Г., Стрыгин Б. И. Исследование совместной работы анкерной и рамной крепи в горных выработках. Уголь, 1975 г. -№ 8.
86. Югон А., Кост А. Штанговое крепление горных пород. –М.: Госгортехиздат, 1962 г.

87. Ягодкин Г. И., Тедер Р. И., Чирков С. Е. Определение прочностных и упругих свойств горных пород Ленинск-Кузнецкого каменноугольного месторождения Кузбасса // Механические свойства горных пород. –М.: Изд. АН СССР, 1963 г.

88. 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.

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

90. 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». – 2014г. –Том 52.-№1В.-С.58-64.

91. 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.

92. 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.

93. **Нгуен Виет Динь.** Обоснование параметров зон равновесного состояния горных пород вокруг выработок и определения конструктивных параметров анкерной крепи в условиях месторождения ХеЧам / Деп. рук. //Горный информационно-аналитический бюллетень .- №1059/12-15 от 10.09.2015 (0,35 п.л)

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**



ГРУППА КОМПАНИЙ УГОЛЬНО-МИНЕРАЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВЬЕТНАМА «VINACOMIN»  
ХАНОЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ  
ул. Фан динь Жот - г. Ханой, страна - Вьетнам



## СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы соискателя  
Нгуен Виет Динь на тему: «Обоснование параметров анкерных  
крепей капитальных горных выработок с учетом их взаимодействия  
с массивом во времени»**

Настоящей справкой подтверждается, что результаты диссертационной работы **Нгуен Виет Динь**, выполненной в Московском Горном Институте (МГИ) - НИТУ «МИСиС», не содержат секретных сведений и приняты к использованию в нашей компании при проектировании горных выработок. Кроме того, результаты диссертации были использованы при анализе и проектировании строительства горных выработок на шахтах месторождения Хечам.

Директор Ханойского института  
Горной Науки и Технологии



Чан Ту Ба