

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева

УДК 622.27: 622.281.421

На правах рукописи

МОЛДАГОЖИНА МАРЖАН КУАНЫШБЕКОВНА

**Разработка комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей
способностью**

6D070700 –Горное дело

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
д.т.н., проф. Крупник Л.А.
д.т.н., проф. Кольга А.Д

Республика Казахстан
Алматы, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	
1.1 Назначение крепления горных выработок	8
1.2. Классификация крепи горных выработок	10
1.3 Материалы для крепи и области их применения	11
1.3.1 Деревянная крепь	12
1.3.2 Монолитная бетонная крепь	14
1.3.3 Набрызг-бетонная крепь	16
1.3.4 Штанговая крепь	20
1.3.5 Конструкция анкеров	24
1.3.6 Контроль качества установки анкеров	34
1.4 Область применения различных видов крепи	36
1.5 Постановка задач исследования	44
2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВМЕЩАЮЩИМИ ПОРОДАМИ	
2.1 Взаимодействие анкер-вмещающие породы	48
2.2 Модель системы «Анкер-вмещающие породы»	57
2.3 Технологические параметры системы «крепь-массив»	68
2.3.1 Исследование усилия расклинивания	68
2.3.2 Исследования несущей способности	69
2.3.3 Несущая способность гидрораспорных трубчатых анкеров	70
2.4 Материалы для трубчатых гидрораспорных анкеров	76
2.5 Разработка усовершенствованной конструкции гидрораспорных анкеров	78
2.6 Технология возведения трубчатой анкерной крепи (ТАК)	83
Выводы по 2 разделу	85
3 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАШИНЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАБРЫЗГ-БЕТОННОЙ КРЕПИ	86
3.1 Машина центробежного торкретирования МЦТ-12	87
3.2 Физическая модель МЦТ	88
3.3 Методика расчета узлов машины центробежного торкретирования	91
3.3.1 Полый вал шнека	96
3.3.2 Привод кожуха нагнетателя	99
Выводы по 3 разделу	100
4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ	101

ПАРАМЕТРОВ МЦТ и моделирование работы		
податливой комбинированной крепи		
4.1	Исследование надежности основных узлов МЦТ	104
4.1.1	Методика компьютерного моделирования основных узлов машины МЦТ-М	105
4.1.2	Основные положения метода конечных элементов	106
4.1.3	Выбор расчетной схемы центробежного нагнетателя	106
4.1.4	Результаты компьютерного моделирования	109
4.2	Пути совершенствования конструктивных параметров МЦТ	115
4.3	Моделирование работы комбинированной податливой крепи	116
4.4	Экономическая эффективность предлагаемой технологии возведения комбинированной податливой крепи	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		122
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		123
ПРИЛОЖЕНИЕ А		126
ПРИЛОЖЕНИЕ Б		127
ПРИЛОЖЕНИЕ В		128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований

Повышение эффективности подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых подземным способом, улучшение условий горных работ, рациональное использование недр невозможно без крепления горных выработок. Безремонтное поддержание горных выработок может быть достигнуто за счет правильного научно обоснованного выбора вида крепи и ее параметров.

В усложняющихся горнотехнических условиях перспективными следует считать анкерную и набрызгбетонную крепи, которые характеризуются высокой степенью механизации их возведения. Имеется большое число разновидностей анкеров, сконструированных с учетом многообразия горнотехнических условий месторождений.

Однако анализ имеющегося опыта возведения и эксплуатации анкерной крепи показывает, что причинами, снижающими надежность поддержания горных выработок являются недостатки технологии установки анкеров и несоответствие крепи горнотехническим условиям месторождений из-за недостоверных сведений о работе системы «анкерная крепь-горный массив». Недостатки и недочеты технологий, допускаемые непосредственно при установке анкеров, хотя и устранимы, но трудно контролируемы, а ошибки и просчеты, возникающие вследствие недостаточности сведений о фактической работе анкерной крепи, устранить значительно труднее.

Для возведения набрызгбетонной крепи применяется ряд машин, использующих для нанесения торкретсмеси сжатый воздух. Эти агрегаты имеют ряд существенных недостатков, снижающих эффективность возведения крепи. Среди них основные - высокий отскок материала, вовлекаемый в смесь воздух, ухудшающий условия твердения смеси и ряд других. Перспективным путем устранения этих недостатков является использование центробежной силы для нанесения торкретсмеси. Такие установки позволяют наносить слой набрызгбетона повышенной толщины за один проход и тем самым создают предпосылки для получения безопалубочной бетонной крепи со всеми ее преимуществами.

Однако технология и механизация этого способа возведения набрызгбетонной крепи недостаточно изучены, что не позволяет расширить область ее использования.

Наиболее перспективной является возведение податливой крепи, совмещающей анкерную и набрызгбетонную крепь.

Исследованию технологии и механизации возведения анкерной и набрызгбетонной крепи посвящены многие исследования. Однако ряд вопросов, связанных с работой системы «анкерная крепь - закрепляемый горный массив» и машин, использующих новый для крепления горных выработок способ нанесения торкрет-смеси-центробежную силу достаточно полно не исследован, что предопределило актуальность настоящих исследований.

Целью настоящей работы является повышение надежности крепления горных выработок путем создания податливой комбинированной крепи, включающей совместную работу анкерной и набрызгбетонной крепи.

Основная идея работы заключается в управлении несущей способности комбинированной крепи путем соответствия режимов ее возведения горнотехническими условиями месторождения.

При выполнении работы использовался комплексный метод исследований, включающий анализ и научное обобщение научно-технической информации, теоретические и лабораторные исследования, физическое и компьютерное моделирование объектов исследования, методы математической статистики для обработки результатов.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту

- комбинированная податливая крепь, обеспечивает эффективное взаимодействие с вмещающими породами за счет ступенчатого во времени восприятия смещения горных пород: в первоначальный период интенсивного смещения горных пород работают трубчатые гидрораспорные анкеры с заданной несущей способностью, а в конце этого периода горное давление воспринимается также аркой, возведенной набрызг-бетонной крепью.

- основным фактором, обеспечивающим несущую способность гидрораспорных трубчатых анкеров, является равномерной их распор в шпуре при установке, что обеспечивается технологией изготовления и параметрами установки;

- силовые характеристики анкерной крепи определяются полнотой контакта поверхности анкера и закрепляемой горной породы, её крепостью и трещиноватостью, длиной замковой части анкера, а также установочным давлением жидкости;

- напряженно-деформированное состояние элементов и узлов машины центробежного торкретирования в зависимости от нагрузки на них и характеристик материалов, из которых они изготовлены, можно описать дифференциальными уравнениями с учетом коэффициентов объекта и величины сил внешнего воздействия

Научная новизна заключается в следующем:

- установлены основные положения работы системы «гидрораспорный трубчатый анкер» закрепляемый породный массив;

- установлены расчетные зависимости несущей способности гидрораспорных трубчатых анкеров от установочного давления воды, диаметра шпура и трубы, из которой изготовлен анкер, длины замковой части трения, коэффициента трения, между анкером и горной породой:

- разработан метод определения несущей способности гидрораспорных трубчатых анкеров и предложена аналитическая формула для его реализации;

- разработана методика исследования напряженно-деформированного состояния элементов нагнетателя машины центробежного торкретирования на основе блочно-иерархического подхода и работы комбинированной податливой крепи

Обоснованность и достоверность научных положений результатов вал вводов и рекомендаций базируется на использовании апробированных методов и методик исследования, методе компьютерного моделирования, оценке полученных зависимостей методами математической статистики с достаточно высокими показателями и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Практическое значение работы состоит в следующем:

- разработана методика расчета и прогнозирования несущей способности трубчатых гидрораспорных анкеров для крепления выработок с длиной анкера от 2 до 4 м;

- предложены модификации гидрораспорных трубчатых анкеров с учетом характеристик закрепляемых горных пород и средств для их установки;

- разработаны методики инженерного расчета основных узлов машины центробежного торкретирования;

- предложена методика компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния узлов и элементов машины центробежного торкретирования в программном комплексе ANSYS.

Научное значение работы

Предложенная конструкция податливой комбинированной крепи на основе укрепления массива горных пород гидрораспорными трубчатыми анкерами в комплексе с набрызгбетонной крепью позволяет существенно повысить характеристики крепи и степень её механизации.

Реализация результатов работы

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по диссертации включены в лекционные и практические занятия по дисциплинам «Горные машины» (бакалавриат специальности 5В072400) и «Инновационная техника и технология в горно-металлургической отрасли» (магистратура 6М072400- для ГПИИР-2).

Апробация работы

Результаты исследований по диссертации докладывались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях: в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня», в Жезказганском университете имени А.О. Байконурова на Международных XV Байконуровских чтениях, на XIV Международной конференции в Мюнхене (Германия) «European Science and Technology» и на Международной конференции в Москве «Неделя горняка», научно-техническом семинаре кафедры «Технологические машины и оборудования» КазНТУ им. К.И. Сатпаева.

Публикации

По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале входящем в базу «SKOPUS», 1 доклад в

дальнем зарубежье, 2 доклада в ближнем зарубежье, 2 статья в изданиях рекомендованных КНОН МОН РК, 2 доклада на международных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 125 страницах машинописного текста, включая 84 рисунка, 25 таблиц и библиографии из 56 источников.

1 ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

1.1 Назначение крепления горных выработок

Проведение подземных горных выработок изменяет состояние горных пород с образованием зон повышенных и пониженных напряжений. Явления, связанные с деформацией, сдвижением, разрушением массива, давлением пород на крепь, принято называть проявлениями горного давления. Проявления горного давления зависят от горно-геологических условий и технологических особенностей разработки.

К горно-геологическим условиям относится глубина разработки, угол падения и мощность разрабатываемой залежи, структура и физико-механические свойства пород и полезного ископаемого.

К основным технологическим факторам относятся форма, размер и расположение выработок, способ и скорость их проведения, способ управления горным давлением.

Изменение напряженного состояния принято характеризовать коэффициентом концентрации напряжений- отношением напряжения, возникшего после проведения выработки, к напряжению, существовавшему ранее в той же точке в нетронутом породном массиве. Значение коэффициента концентрации может колебаться в широких пределах [1,2].

Характер распределения напряжений вокруг выработки зависит от ее формы и соотношения размеров поперечного сечения. В кровле и почве выработок при боковом распоре, меньшем единицы, возникают растягивающие усилия

$$\sigma_{min} = r_1 \frac{v}{1-v} \gamma H \cdot g \text{ Н/м}^2, \quad (1.1)$$

где r_1 - коэффициент концентрации растягивающих напряжений; $\frac{v}{1-v}$ - коэффициент бокового распора; $v = 0,1 \div 0,4$ коэффициент Пуассона; γ – плотность пород, т/м³; H -глубина от поверхности до выработки, м.

По мере удаления от контура выработки в глубь массива эти напряжения снижаются до нуля, а затем переходят в сжимающие и приближаются к первоначальной величине

$$\frac{v}{1-v} \gamma H \quad (1.2)$$

В боках выработки наблюдается значительное увеличение сжимающих напряжений:

$$\sigma_{max} = r_2 \gamma H \cdot g, \text{ Н/м}^2, \quad (1.3)$$

где r_2 -коэффициент концентрации сжимающих напряжений. По мере удаления в глубь массива сжимающие напряжения уменьшаются до первоначальной величины γH (рис.1.1).

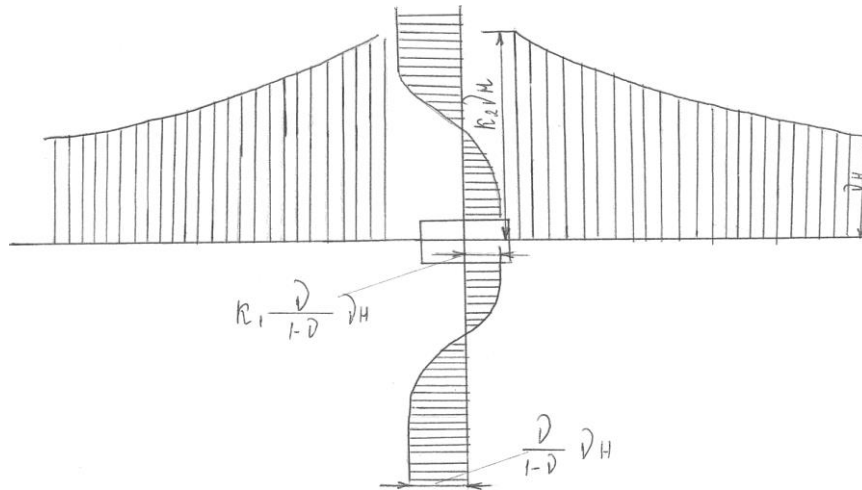


Рисунок 1.1 - Эпюры напряжений в массиве после проведения горной выработки

Концентрация напряжений вокруг выработки ограничивается некоторой зоной, размеры которой составляют $(3 \div 5)l$, где l -наибольший линейный размер сечения выработки. Вблизи контура обнажений напряжения могут превзойти предел прочности пород, в результате чего происходит их разрушение или пластическое течение.

Областью влияния горной выработки является часть породного массива, в пределах которого происходят сдвигание, деформации и разрушение пород. Часть области влияния горной выработки, примыкающую непосредственно к ее контуру, в пределах которой напряжения выше, чем в нетронутом массиве, называют зоной опорного давления.

Характер формирования области влияния горной выработки при прочих равных условиях зависит от физико-механических свойств горных пород. Из всего многообразия свойств и особенностей пород выделяют четыре характерных сочетания.

1) Породы кровли, боков и подошвы устойчивы. В этом случае

$$k_1 \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H < k_c \sigma_P \xi; \quad (1.4)$$

$$k_2 \gamma H < k_c \sigma_{сж} \xi, \quad (1.5)$$

где ξ - коэффициент длительной прочности; σ_P , $\sigma_{сж}$ - пределы прочности пород собственно на растяжение и сжатие в условиях двухосного напряженного состояния.

При соблюдении условий выражения (1.5) опасных деформаций в обнажениях пород не бывает.

2) Породы кровли выработки неустойчивы, а боков и почвы устойчивы

$$k_1 \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H < k_c \sigma_P \xi; \quad (1.6)$$

$$k_2 \gamma H < k_c \sigma_{сж} \xi \quad (1.7)$$

В этом случае в кровле породы будут разрушаться. При развитии трещиноватости в зоне, прилегающей непосредственно к кровле выработки, отдельные куски, глыбы и участки породы теряют связь с массивом и выпадают. Постепенное обрушение пород продолжается до образования поверхности неправильного очертания, которая приближается к своду. Его называют сводом обрушения. За его пределами образуется свод естественного равновесия пород.

3) Породы в кровле и в боках выработки неустойчивы, в почве устойчивы:

$$k_1 \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H < k_c \sigma_P \xi; \quad (1.8)$$

$$k_2 \gamma H < k_c \sigma_{сж} \xi. \quad (1.9)$$

В этом случае область неупругих деформаций распространяется на кровлю и бока выработок.

4) Породы неустойчивы в кровле, боках и подошве выработки. Область неупругих деформаций в этом случае распространяется во все стороны от выработки.

Устойчивость обнаженной породы в вертикальных стволах круглого поперечного сечения ВНИМИ предложил оценивать, исходя из условия.

$$k^3 \gamma H \leq k \delta \xi, \quad (1.10)$$

где k_3 - коэффициент концентрации напряжений.

Для поддержания горных выработок от их разрушения на период эксплуатации они подвергаются креплению различными способами.

1.2. Классификация крепи горных выработок

Горную крепь подразделяют: [3]

- по основному материалу, из которого она изготовлена - деревянная, металлическая, бетонная, железобетонная, сталеполимерная;
- по конструкции - рамная, монолитная, анкерная, смешанная и комбинированная;
- по сроку службы - временная или постоянная;
- по характеру взаимодействия с массивом горных пород - поддерживающая, упрочняющая, ограждающая и изолирующая;
- по характеру работы - жесткая и податливая.

Крепь должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать рабочее состояние выработок и безопасные условия работы в них в течение всего срока службы;
- сумма первоначальных затрат на изготовление, установку крепи и затрат на эксплуатацию в течение всего срока службы выработки должна быть минимальной;

- крепь не должна препятствовать выполнению производственных процессов, вызывать технические осложнения при проведении эксплуатации выработок.

Крепи подготовительных и капитальных горных выработок по конструктивным и технологическим признакам разделяют на рамную, сплошную и анкерную.

1.3 Материалы для крепи и области их применения

Крепёжные материалы делятся [4]:

- по использованию в конструкции крепи - на основные, применяемые в несущих конструкциях крепей (металл, бетон, дерево, пластмассы и др.), вяжущие, служащие для приготовления растворов, и вспомогательные (водоизоляционные материалы, химические реагенты и др.);

- по сроку службы в выработках - на долговечные (бетон, металл и др.) и недолговечные (дерево);

- по характеру деформации под нагрузкой - на хрупкие (бетон, камни и др.) и упругопластические (металл).

Крепёжные материалы должны обладать высокой удельной прочностью, иметь низкую стоимость, не быть легковоспламеняющимися, обладать стойкостью против коррозии и гниения.

Крепёжные материалы выбирают в зависимости от конструкции крепи, срока службы и назначения выработок, величины горного давления и экономических факторов.

Крепь горных выработок является несущей конструкцией, возводимой для предотвращения обрушения окружающих выработку пород и сохранения проектных размеров выработки на период ее эксплуатации.

Тип, размеры и материал крепи должны соответствовать горно-геологическим условиям и сроку службы выработки. Стоимость сооружения и ремонта крепи за весь период её службы должны быть минимальными.

Деревянную крепь рационально применять при установившемся умеренном горном давлении в выработках со сроком службы 2-3 года, а при пропитке крепи антисептиками - до 5-6 лет. Несущая способность деревянной крепи составляет 0,03-0,05 МПа.

Металлическая крепь широко используется для крепления капитальных и подготовительных горных выработок вследствие её высокой несущей способности, долговечности, огнестойкости и возможности повторного использования. Она применяется при сроке службы выработки от 3 до 25 лет. Выработки обычно крепят арочной податливой трехзвенной (КПМ-А3) или пятизвенной (КПМ-А5) крепями из спец профиля СВП.

Монолитную бетонную (железобетонную) крепь применяют при проведении капитальных горных выработок с большим сроком службы, находящихся вне зоны активного опорного давления в породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М.Протоdjаконов $f = 1-9$. В основном, монолитную бетонную крепь применяют для крепления выработок околоствольных дворов,

квершлагов, штреков, капитальных бремсбергов и уклонов, проводимых по слабым породам.

Анкерная крепь-это пространственная система стержней (анкеров), закрепленных в породном массиве, вмещающем выработку. Обеспечивает возможность использования несущей способности породного массива, снижения материалоемкости, применяемых в сочетании с ней крепей и может использоваться:

- в качестве самостоятельной в квершлагах, полевых штреках, бремсбергах, уклонах и ходках, в выемочных штреках, вентиляционных сбойках и разного рода нарезных выработках;

- в комбинации с набрызг-бетонном в подготовительных выработках, пройденных в трещиноватых породах;

- в качестве временной в сопряжениях горных выработок, камерах и нишах, с последующим креплением их подпорной крепью;

- как средство борьбы с пучением почвы - в необводненных породах капитальных и подготовительных выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ.

К породам, в которых целесообразно использовать анкерные крепи, относятся глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники, известняки и другие скальные породы, коэффициент крепости которых по шкале проф. М.М.Протоdjаконова не ниже 4.

Набрызг-бетон применяется для крепления горных выработок, проведенных в крепких устойчивых породах с $f > 9$, в сочетании с анкерной крепью - может применяться для пород с $f = 6-9$. Торкретирование заключается в том, что на породу, крепь или другую поверхность с помощью сжатого воздуха наносят раствор из смеси цемента, заполнителей и воды, который прочно схватывается с поверхностью и затвердевает.

Крепь из железобетонных тюбингов применяют в капитальных горных выработках, расположенных вне зоны влияния очистных работ, при нагрузке на крепь до 150-200 кПа. Основное преимущество данного вида крепи - высокая степень надежности. Крепь способна воспринимать нагрузку сразу после ее установки.

Предусматривается крепление горных выработок, проводимых по породам с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протоdjаконова $f = 3$ и выше. При этом диапазон крепостей для различных видов крепи следующий: $f = 3-9$ - деревянная, монолитная бетонная; $f \geq 7-12$ -набрызг-бетонная; $f \geq 4-9$ - штанговая и комбинированная.

Крепление осуществляется в соответствии с «Типовыми паспортами крепления горных выработок для рудников цветной металлургии» [5].

1.3.1 Деревянная крепь

Деревянную крепь (рис. 1.2) применяют в выработках со сроком службы до 5-6 лет, находящихся в условиях незначительного и средней величины давления

горных пород. При благоприятных горно-геологических условиях и консервированном лесе срок службы деревянной крепи может быть увеличен.

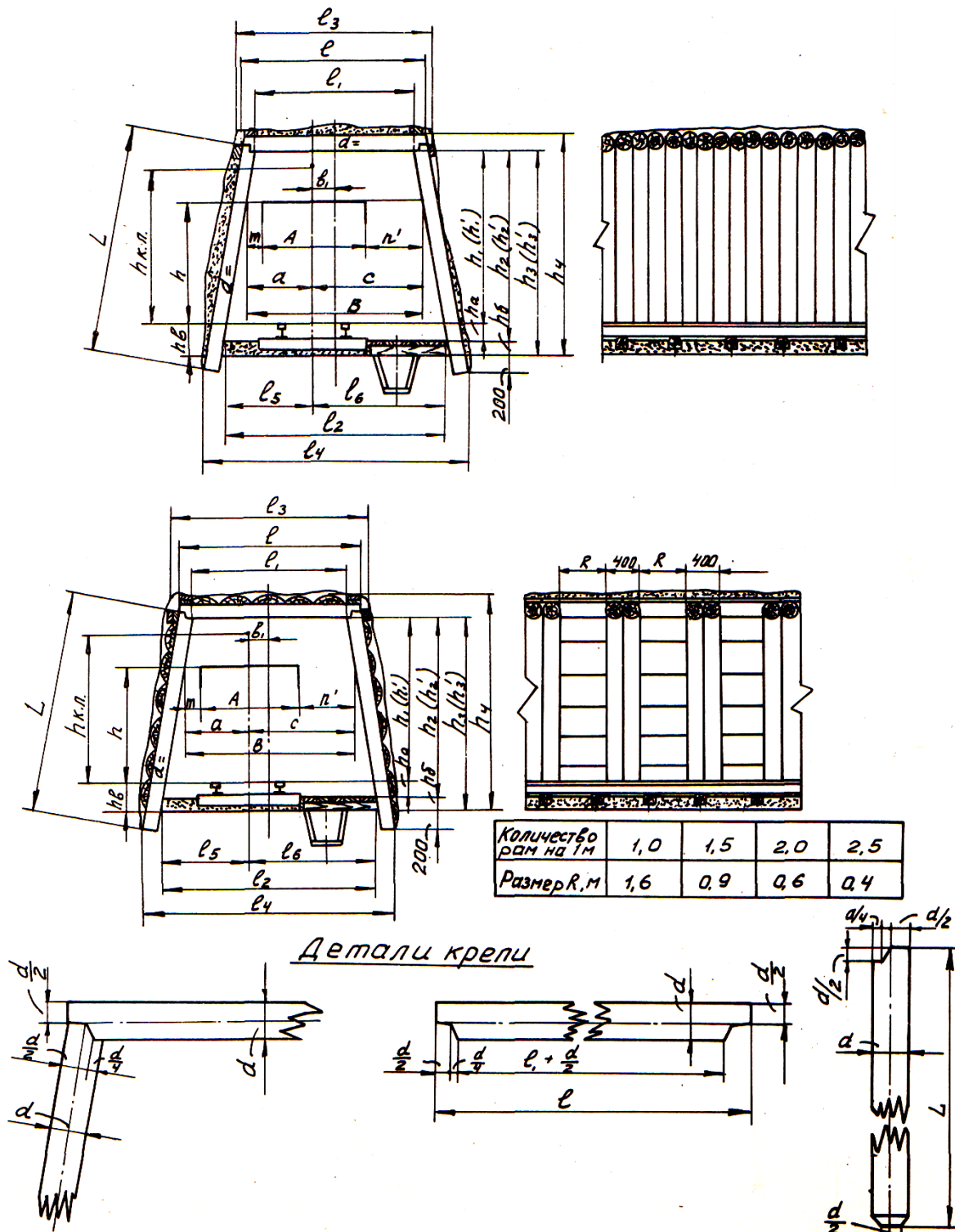


Рис. 1.2 - Конструкция деревянной крепи

В работе определены параметры распорной крепи при выемке запасов маломощных рудных месторождений системами разработки с открытым выработанным пространством.

Крепление очистных забоев применяется при неустойчивых руде и вмещающих породах. Наиболее простые виды крепи - деревянные стойки и распорки, крепежные рамы, станки, костры.

Крепление очистного забоя деревянной крепью в настоящее время чаще всего встречается в практике отработки жильных месторождений мощностью не более 2,0-2,5 м и месторождений со слабыми рудами и вмещающими породами системой слоевого обрушения, при разработке золотых россыпных месторождений в условиях вечной мерзлоты системой разработки длинными столбами с выемкой заходками.

Работа крепи определяется ее рабочим сопротивлением P_a и податливостью δ_a , величина которых зависит от угла падения залежи α :

$$P_a = P_o \cdot \sqrt{\delta_o \cdot \cos \alpha} = \delta_o \cdot \sqrt{\cos \alpha}, \text{ МПа}, \quad (1.11)$$

где P_o и δ_o - необходимые сопротивление и податливость крепи при $\alpha = 0$.

Деревянная крепь в настоящее время имеет ограниченное применение. Это связано с несколькими факторами. Её установка связан с ручным трудом, что требует значительного времени и больших трудозатрат. Лес для возведения деревянной крепи очень дорог, что существенно увеличивает себестоимость добычи полезного ископаемого.

1.3.2 Монолитная бетонная крепь [5,6].

Бетонную крепь (рис. 1.3) применяют для крепления выработок с большим сроком службы и при значительном горном давлении. Бетон слабо сопротивляется растягивающим и изгибающим усилиям, поэтому крепи придают форму, при которой возникают только сжимающие напряжения.

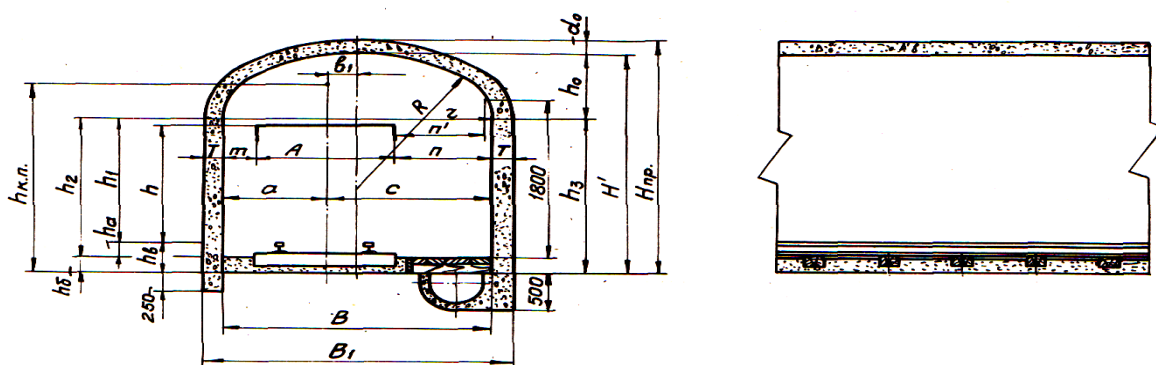


Рис. 1.3 - Конструкция монолитной бетонной крепи

Монолитная бетонная крепь применяется в породах III и ниже категориях устойчивости. Толщина стен, сводов крепи в зависимости от ширины выработки и коэффициента крепости пород принимаются, исходя из опыта проектирования, эксплуатации горных выработок и нормативных данных и представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 - Толщина стен и сводов бетонной крепи

Ширина выработки в свету, м	Коэффициент крепости пород f					
	3		4 - 6		7 - 9	
	Толщина крепи, мм					
	в своде	в бортах	в своде	в бортах	в своде	в бортах
1,800 - 2,4	170	200	170	200	170	200
2,401 - 3,4	200	250	170	200	170	200
3,401 - 4,4	200	300	200	250	170	250
4,010 - 4,6	200	300	200	300	200	250
4,601 - 5,0	250	350	200	300	200	250
5,001 - 5,2	250	350	250	300	200	300
5,201 - 5,4	300	400	250	300	200	300

Бетоны по плотности разделяют на тяжелые и легкие. Для горной крепи применяют в основном тяжелые бетоны с плотностью 2200-2300 кг/м³.

По расходу цемента на 1 м³ бетонной смеси различают: жирные (более 250 кг/м³), средние (200-250 кг/м³) и тощие (менее 200 кг/м³). Для горной крепи чаще применяют жирные и средние бетоны.

По консистенции бетонные смеси различают: жесткие, пластичные и литые. Жесткие смеси содержат 6,0-6,5% воды от массы сухой смеси. При укладке они требуют вибрирования или трамбования. Пластичные бетоны содержат 6,5- 8,0% воды и хорошо укладываются при слабом трамбовании. Литые бетоны содержат 8-12% воды и свободно растекаются и укладываются в конструкции опалубки.

Для изготовления горной крепи применяют жесткий бетон. Пластичные бетоны чаще используют при возведении железобетонных конструкций, а литые в случае применения бетоноукладчиков и бетононасосов.

Прочность бетона характеризуется его маркой, которая представляет собой предел прочности на сжатие кубических образцов в 28-дневном возрасте.

Монолитная бетонная крепь с вертикальными стенами и сводчатым перекрытием возводится из бетона марки 150.

Бетонная крепь представляет собой конструкцию из искусственного камня, полученного в результате затвердения смеси из вяжущего заполнителя и воды. Вяжущие и вода являются активными, а песок и щебень инертными составляющими смеси.

Монолитные бетонные крепи имеют преимущественно сводчатое очертание и представляют собой конструкцию жесткого типа.

Перед возведением монолитной бетонной крепи производят установку по контуру горной выработки опалубки. Торцевую стенку опалубки перед началом бетонирования с целью предотвращения вытекания бетона в выработку насухо заделывают. За опалубку бетон подают бетоноукладчиками с помощью сжатого воздуха. Бетонирование производят секциями по 5...6м

Бетонная крепь позволяет эксплуатировать выработку длительное время. Однако этот вид крепи дорогой, требует использования специальных материалов, (цемента, песка, щебня) которые должны соответствовать требованиями ГОСТов специальную подготовку. Возведение и разборка опалубки производится вручную и требуют значительного времени.

1.3.3 Набрызг-бетонная крепь [5,7,8]

Набрызг-бетонная крепь (рис. 1.4) возводится в крепких трещиноватых породах для предохранения их от выветривания и предотвращения от отдельных вывалов. Толщина крепи принимается одинаковой по всему периметру выработки. Проектная марка набрызг-бетона 300-400. Для получения набрызг-бетона используется цемент и песок при их соотношении 1:3 до 1:5 и мелкий щебень. Цемент рекомендуется марки не ниже 400.

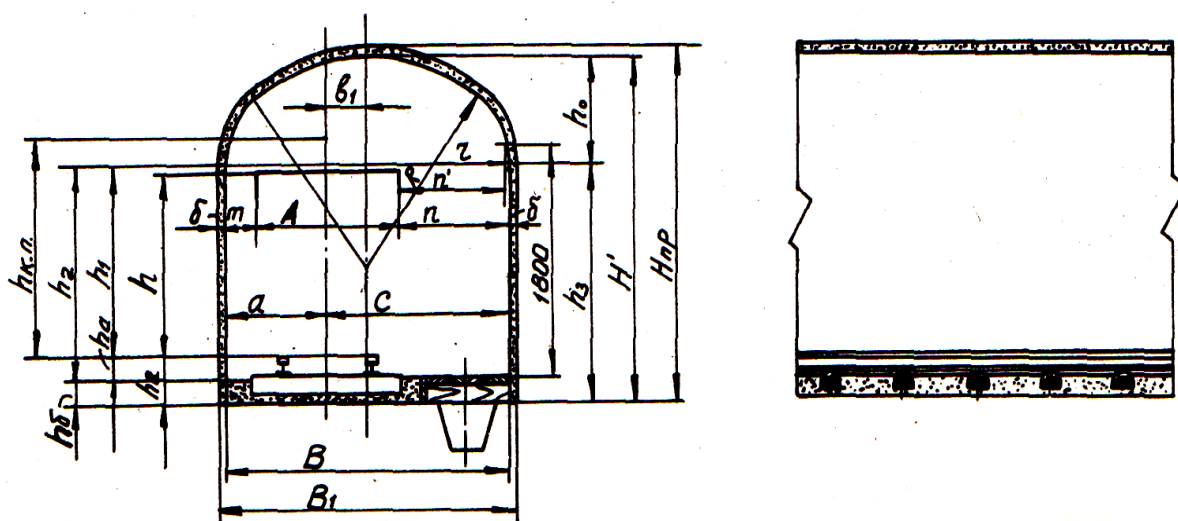


Рис. 1.4 - Конструкция набрызг-бетонной крепи

Толщина слоя набрызг-бетонной крепи в зависимости от крепости пород представлена в таблице 1.2

Таблица 1.2 - Толщина набрызг-бетонной крепи.

Коэффициент крепости пород f	Толщина крепи, см
7- 9	4-6
10-12	3-5
более 12	2-3

Расход набрызг-бетона на 1 м выработки определяется по формуле:

$$Q = 1,15 \cdot n \cdot P, \text{ м}^3, \quad (1.12)$$

где n - толщина набрызг-бетона, м; P - периметр выработки, закрепляемой набрызг-бетоном, м.

Классы и марки набрызг-бетона по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости должны назначаться как для конструкций из монолитного бетона, укладываемого с применением опалубки, в соответствии с требованиями соответствующих СНиПов.

Возраст набрызг-бетона, отвечающий его классу по прочности на сжатие и осевое растяжение, следует назначать при проектировании, исходя из возможных реальных сроков загрузки конструкции проектными нагрузками, способа возведения и условий твердения бетона. При отсутствии этих данных класс набрызг-бетона может устанавливаться в возрасте 28 суток по табл. 1.3

Таблица 1.3 - Классы набрызг-бетона в зависимости от средней прочности на сжатие

Классы набрызг-бетона по прочности на сжатие	B25	B30	B35	B40	B50
Средняя прочность на сжатие бетонов, МПа, при коэффициенте вариации 0,135	32,7	39,2	45,7	52,4	65,4

Расчет набрызг-бетонного покрытия как несущей конструкции

Нагрузки на набрызг-бетонную крепь принимают по результатам натурных исследований в условиях строительства. До проведения указанных исследований нагрузки на набрызг-бетонную крепь могут быть оценены расчетным путем в соответствии с действующими нормами проектирования тоннельных сооружений.

Толщину набрызг-бетонного покрытия, используемого в качестве несущей конструкции, определяют следующим образом. Если по условиям технологии проходки выработки возможно обеспечение гладкого контура (механизованная проходка), то набрызг-бетонное покрытие следует проектировать как распорную конструкцию, работающую совместно с прилегающим грунтом, в которой предельное состояние покрытия обуславливается работой на сжатие. В этом случае для определения толщины покрытия следует руководствоваться положениями, приведенными выше.

Если по условиям технологии проходки нельзя гарантировать создание гладкого контура выработки (рис.1.5) и, следовательно, работу покрытия как распорной конструкции нельзя принять, то покрытие из набрызг-бетона следует рассчитывать как жесткую пластину, работающую в упругопластическом режиме от нагрузки в виде локального вывала.

Для предварительной (ориентировочной) оценки несущей способности набрызг-бетонного покрытия как распорной подземной конструкции, работающей преимущественно на сжатие, используют проверку условия:

$$\frac{V_n}{R} \leq \frac{R_g}{E_n}, \quad (1.13)$$

где V_n - минимальное радиальное смещение контура выработки, м R_g - расчетное

сопротивление набрызг-бетонного покрытия на сжатие по первой группе предельных состояний, МПа; R - радиус свода выработки, м; E_n - модуль упругости набрызг-бетона (начальный) на сжатие, МПа.

Если указанное условие выполняется, то полагают, что прочность набрызг-бетонного покрытия будет обеспечена. В противном случае рекомендуется применение анкер-набрызг-бетонной крепи.

Если прочность грунта недостаточна для обеспечения устойчивости выработки, то при ровном контуре толщину набрызгбетона назначают, исходя из расчета набрызг-бетонного покрытия как монолитной обделки. При этом, учитывая, что технология возведения набрызгбетонной обделки по сравнению с опалубочным бетонированием позволяет существенно снизить разуплотнение массива, особенно в сводовой части выработки, и тем самым способствует большей стабилизации напряженно-деформированного состояния массива, допускается принимать расчетную нагрузку на крепь в этом случае на 30% меньше по сравнению с нагрузкой на монолитную обделку для этих же условий. Учет влияния неровностей фактического контура выработки на несущую способность такой крепи следует проводить в соответствии с требованиями, приведенными ниже.

Отклонение реального контура поверхности выработки от гладкого может явиться причиной появления в вершинах неровностей нежелательных растягивающих напряжений. В этом случае необходимо обеспечить корректировку толщины набрызгбетонного покрытия h_H из условия недопущения растягивающих напряжений в вершинах неровностей.

Характеристиками неровностей являются их среднее число на контуре K_k и их средняя амплитуда:

$$a_k = \frac{a_1 + \dots + a_k}{K_k}, \quad (1.14)$$

где a_i при $i=1, \dots, K_k$ определяется как расстояние от наиболее выступающей точки реального контура до хорды, стягивающей два соседних наиболее глубоких участка впадин (рис. 1.5). При этом в расчетах рекомендуется учитывать неровности с амплитудой $a_i^3 \cdot 10$ см, число которых находится, как правило, в пределах от 8 до 20.

При отсутствии фактических данных среднее число неровностей на контуре K_k рекомендуется определять расчетным путем как половину отношения длины контура к расстоянию между контурными шпурами. В этом же случае среднюю амплитуду неровностей рекомендуется принимать равной допустимой норме перебора.

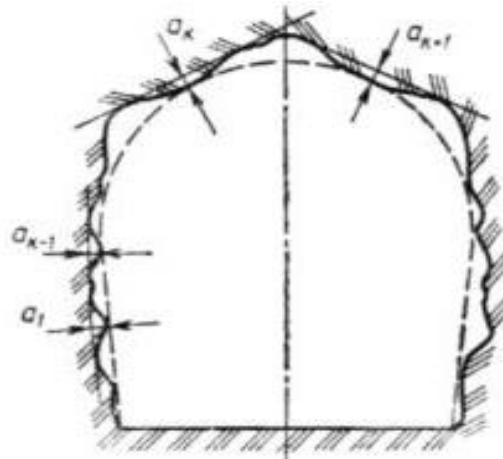


Рис. 1.5 - Определение параметров неровностей контура выработки при расчете набрызгбетонной крепи: проектное очертание выработки

Расстояние между шпурами в метрах при опытных взрывах в зависимости от крепости и трещиноватости грунта ориентировочно следует определять по табл. 1.4 а допустимую норму перебора в сантиметрах - по табл. 1.5.

Таблица 1.4 - Расстояние между шпурами в зависимости от степени трещиноватости горных пород

Коэффициент крепости пород	Степень трещиноватости пород		
	нетрещиноватые	слаботрещиноватые	трещиноватые и сильнотрещиноватые
4-6	0,6	0,7	0,8
6-8	0,5	0,6	0,7
8-10	0,4	0,5	0,6
10-12	0,3	0,4	0,5

Таблица 1.5 - Допустимый перебор опытных взрывах

Выработка	Величина перебора, см	
	$1 < f < 4$	$4 < f < 12$
Тоннели	10	15
Штольни	8	8

Обеспечение и контроль качества набрызгбетонного покрытия

Нанесение набрызгбетонного покрытия при креплении подземных выработок должно выполняться специализированной бригадой, имеющей в своем составе опытного крепильщика, на которого возлагается операционный контроль (контроль качества выполнения всех технологических операций по нанесению покрытия). Входной контроль качества используемых материалов и

готовых смесей следует осуществлять в соответствии с общими правилами контроля выполнения строительных работ. Операционный контроль в соответствии со СНиП III-44-77 должен включать в себя проверку соответствия технологического процесса (приготовление и транспортировка исходной набрызгбетонной смеси; подготовка поверхности под набрызг; техническое состояние комплекса оборудования; режимы нанесения набрызгбетонного покрытия; соблюдение требований по уходу за уложенным бетоном) требованиям, установленным проектом производства работ.

Контроль за приготовлением сухой смеси и транспортировкой (расход компонентов и время перемешивания) рекомендуется проводить непосредственно на месте приготовления (на БСУ). Режим набрызгбетонирования и соответствие работ по набрызгбетонированию ППР контролируется производителем работ.

Горно-технические условия предприятий весьма разнообразны, поэтому даже на одном предприятии невозможно решить вопросы устойчивости горных выработок только набрызг-бетонной крепью. К тому же они решают только локальные вопросы и требует жесткого контроля за качеством возводимой крепи, регулярного осмотра и ликвидации обнаруженных дефектов (оплывов, отслоения, выкраивания и т.д.), что требует дополнительных временных и материальных затрат. Следует отметить и такой недостаток набрызг-бетонной крепи как большой отскок наносимого материала что засоряет горные выработки и требует увеличенного расхода торкрет-смеси.

1.3.4 Штанговая крепь [8,9,10]

Штанговая крепь (рис. 1.6) применяется в качестве самостоятельной крепи. Для крепления предусматриваются штанги, контактирующие с породами по всей длине посредством связующей массы. В качестве связующей массы используется цементно-песчаная смесь составов: 1:1 и 1:2. Возможно использование полимерных составов. Необходимым условием надежности штанговой крепи является полное заполнение шпура связующей массой после введения в него стержня штанги и соблюдение проектных (паспортных) параметров крепи в целом.

Сущность крепления горных выработок штанговой крепью заключается в том, что слои непосредственной кровли подшиваются к более прочной основной кровле или скрепляются между собой штангами. Скрепление пород кровли осуществляется металлическими, железобетонными, деревянными или сталеполимерными штангами.

Штанговая крепь применяется в породах III категории устойчивости. В породах IV категории устойчивости анкерная крепь применяется в комбинации с другими типами крепи. При расчете параметров штанговой крепи диаметр стержня штанги принят равным 16 мм. Штанги располагаются по квадратной сетке, т. е. расстояние между штангами в ряду и расстояние между рядами штанг в проекте принято одинаковым (рис. 1.7).

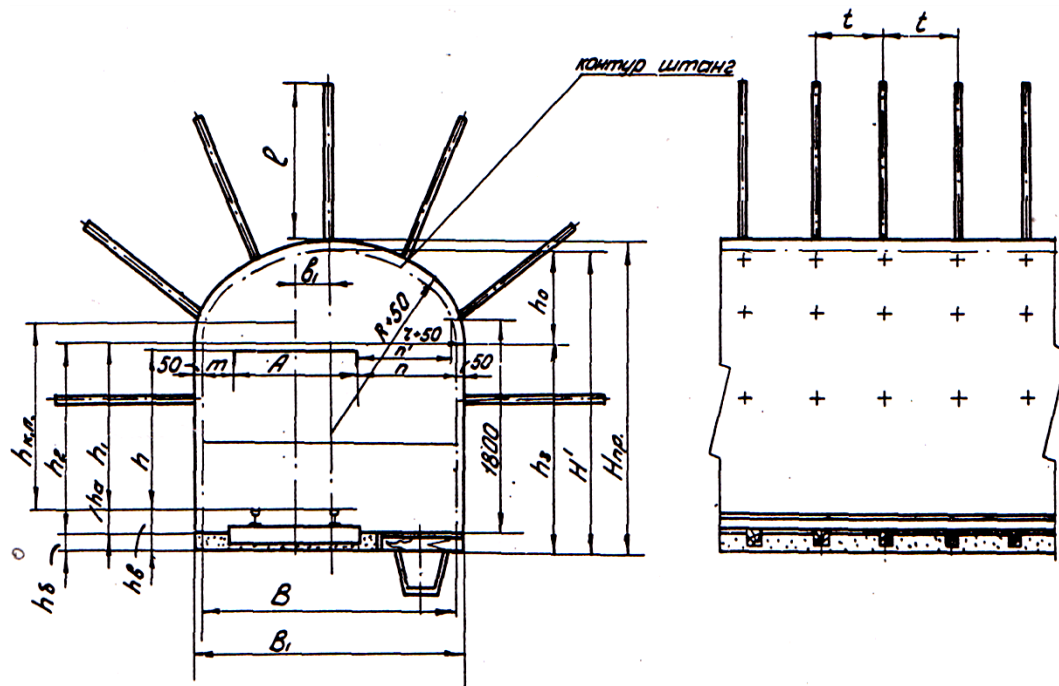


Рис. 1.6 - Штанговое крепление горных выработок.

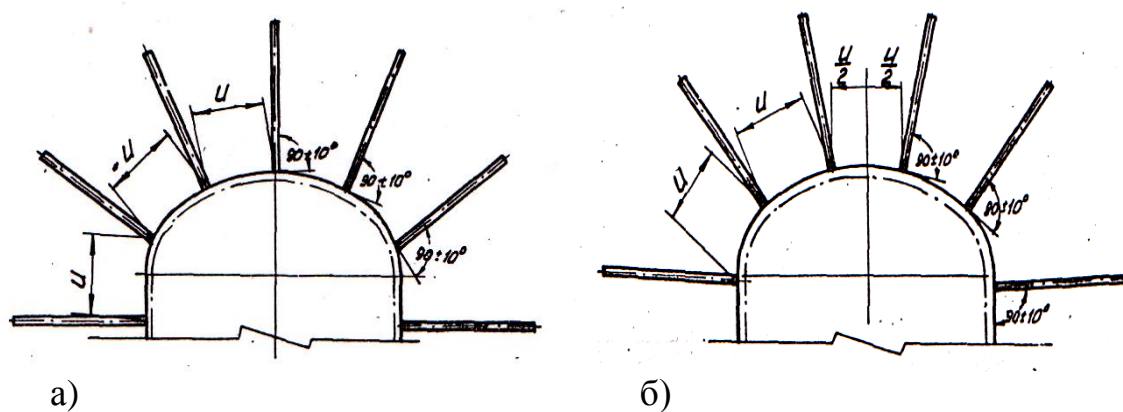


Рис. 1.7 - Размещение штанг при нечетном их количестве (а)
И при четном их количестве (б)

Длина штанг определяется по эмпирической формуле, хорошо согласующейся с данными практики: [11]

$$L = (B_1 / \sqrt{f}) + k_1, \quad (1.15)$$

где B_1 - ширина выработки, м; f - коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова; k_1 - коэффициент, принимаемый равным 0,4-0,5 при ширине выработки $B_1 < 3,5$ м и 0,15-0,20 при $B_1 > 3,5$ м.

Конструкция опорной плитки для штанговой крепи представлена на рис. 1.8

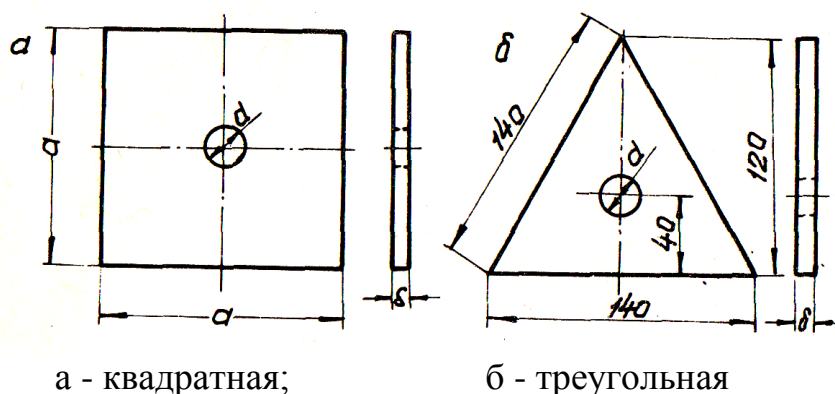
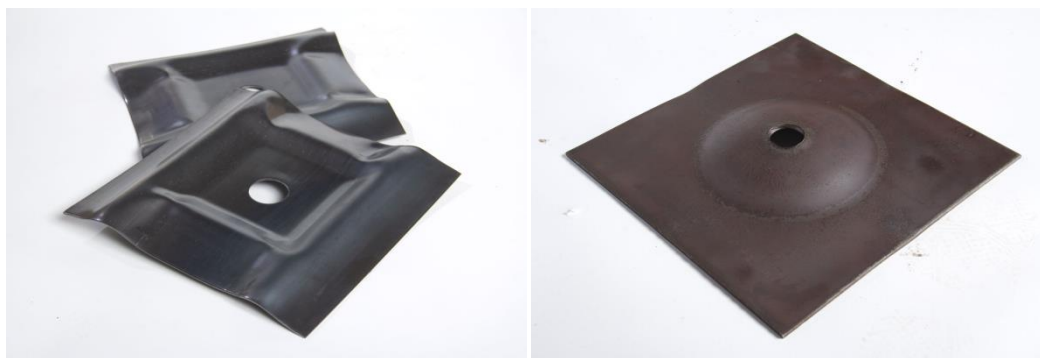


Рис. 1.8 - Опорная плитка

Цементно-песчаный раствор для установки железобетонных штанг:

- марка цемента, не ниже 400;
- крупность зерен песка, мм, не более 3;
- вода с водородным показателем pH и содержанием сульфатов (в пересчете на SO₄) от массы воды, не более 1;
- состав смеси (цемент : песок) 1:1, ..., 1:2;
- водоцементное отношение 0,40-0,45.

Расход цементно-песчаного раствора на установку 1 комплекта железобетонных штанг (табл. 1.9) рассчитан с учетом полного заполнения шпура.

Расстояние между штангами по периметру выработки определяется по формуле:

$$U = \sqrt{F_a \cdot \sigma_m \cdot k_n / b \cdot \gamma \cdot k_3}, \text{ см,} \quad (1.16)$$

где F_a - площадь сечения арматурного стержня, см²; σ_m - предел текучести для арматурной стали класса А-II, равный 3000 кг·с/см²; кН/м³; k_n - коэффициент, учитывающий снижение прочности пород во времени, принятый равный 0,5; b - высота свобода обрушения, см; γ - средний объемный вес породы, кг/см³; k_3 - коэффициент запаса, принятый равным 3.

Номинальные сечения стержней периодического профиля для штанг указаны в таблице 1.7.

Таблица 1.6 - Расход цементно-песчаного раствора

Длина штанги, м	Диаметр шпура, мм				
	32	36	40	42	46
	Объем раствора, л				
1,2	0,96	1,32	1,50	1,65	1,98
1,3	1,04	1,43	1,62	1,79	2,14
1,4	1,12	1,54	1,75	1,93	2,31
1,5	1,20	1,65	1,87	2,08	2,48
1,6	1,28	1,76	2,00	2,21	2,64
1,7	1,36	1,87	2,12	2,34	2,80
1,8	1,44	1,98	2,25	2,48	2,97
1,9	1,52	2,09	2,37	2,62	3,14
2,0	1,60	2,20	2,50	2,76	3,30
2,1	1,68	2,31	2,62	2,90	3,46
2,2	1,76	2,42	2,75	3,04	3,63
2,3	1,84	2,53	2,87	3,17	3,80
2,4	1,92	2,64	3,00	3,31	3,96
2,5	2,00	2,75	3,12	3,44	4,12

Таблица 1.7 - Номинальные сечения стержней периодического профиля для штанг

Номинальный диаметр стержней, мм	Площадь поперечного сечения, см ²	Периметр, см	Теоретический вес 1 пог. м., кг
14	1,54	4,40	1,21
16	2,01	5,02	1,58
18	2,54	5,65	2,00
20	3,14	6,28	2,47
22	3,80	6,81	2,98

Для обеспечения надежности штанговой крепи необходимо выполнение условия:

$$P \geq \sigma_m \cdot F_a, \quad (1.17)$$

где P - несущая способность замка штанги, кг·с.

Высота свода обрушения в выработках определяется по формуле:

$$v = k_2(B_1/2 + k_2 \cdot H_{np} \cdot \text{Ctg}(90 + \varphi)/2/f),$$

где B_1 - ширина выработки в проходке, м; H_{np} - высота выработки в проходке, м; φ - угол внутреннего трения пород, град; k_2 - коэффициент структурного ослабления пород, принимаемый равным 2.

Высота свода обрушения (рис. 1.9) может также определяться по методике

проф. М.М. Протодяконова:

$$e = a / f, \text{ м}, \quad (1.19)$$

где a - половина ширины выработки в проходке, м.

Количество штанг в ряду для пород с коэффициентом крепости $f > 9$ определяется по формуле:

$$N_p = (P - (B_1 + 2 \cdot h_2) / U) + 1 \quad (1.20)$$

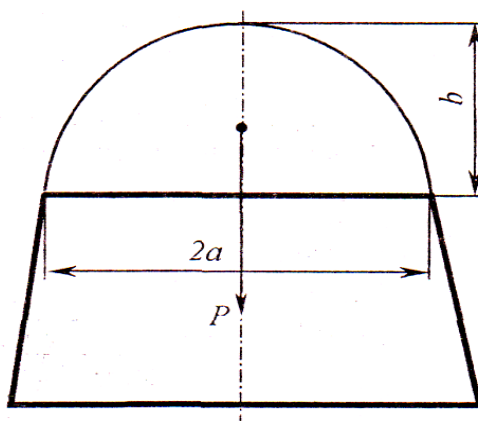


Рис. 1.9 - Схема к расчету высоты свода обрушения по методике проф. М.М. Протодяконова

Количество штанг в ряду для пород с коэффициентом крепости $f = 4-9$ определяется по формуле:

$$N_p = (P - (B_1 + 2 \cdot h_{ш}) / U) + 1, \quad (1.21)$$

где P - периметр выработки, м; U - расстояние между штангами, м; h_2 - высота стенки выработки, м; $h_{ш}$ - расстояние от почвы до нижней штанги в стенках выработки, принимаемое равным 1,0-1,5 м.

Количество штанг на 1 м²:

$$N_m = 1 / a^2, \text{ шт.} \quad (1.22)$$

Количество штанг на 1 м выработки:

$$N_w = \frac{N_p}{U}, \text{ шт.} \quad (1.23)$$

1.3.5 Конструкция анкеров [11,12,13]

Железобетонная штанговая крепь представляет собой сочетание двух материалов: цементно-песчаного раствора и металлической арматуры, а собственно штанга образуется в результате заполнения бетоном шпура и введения армирующего стержня. Работа железобетонной штанги обеспечивается сцеплением бетона с арматурой и породой стенок шпура.

Применяются железобетонные штанги из арматурного стержня периодического профиля № 16-18, закрепленного по всей длине в шпуре цементно-песчаным раствором.

Для приготовления раствора применяется цемент марки 400÷500.

Рациональным раствором считается состав со следующим соотношением основных компонентов: Ц:П=1:1, В/Ц=0,45.

Фирма MINOVA выпускает анкерную крепь с кованными головками (рис. 1.10), при этом разрывное усилие на кованой головке не менее разрывного усилия на анкерном стержне (24-25 т).



Рис. 1.10 - Анкерная крепь с кованными головками.

Крепь анкерная типа АВГ (рис. 1.10), предназначена для крепления кровли подготовительных выработок с прочностью углей и пород на сжатие соответственно не менее 10 и 25 МПа и бортов выработок с прочностью углей и пород на сжатие соответственно не менее 6 и 20 МПа при химическом способе закрепления в шпуре стержня анкера, выполненного из арматурного проката винтового или серповидного периодического профиля, имеющего на установочном конце высаженную или прикрепленную сваркой многогранную головку с шайбой или сферической поверхностью под упорную шайбу.

Крепь анкерная АВГ состоит из стержня периодического профиля, имеющего на установочном конце высаженную многогранную головку с шайбой или сферической поверхностью под упорную шайбу и применяется с ампулами с быстротвердеющими составами, время отверждения которых должны быть в пределах 30...170 с.

Крепь анкерная типа А-В из стали винтового профиля предназначена для крепления кровли подготовительных выработок с прочностью углей и пород на сжатие соответственно не менее 10 и 25 МПа и бортов выработок с прочностью углей и пород на сжатие соответственно не менее 6 и 20 МПа при химическом способе закрепления в шпуре стержня анкера, выполненного из арматурного проката винтового профиля.

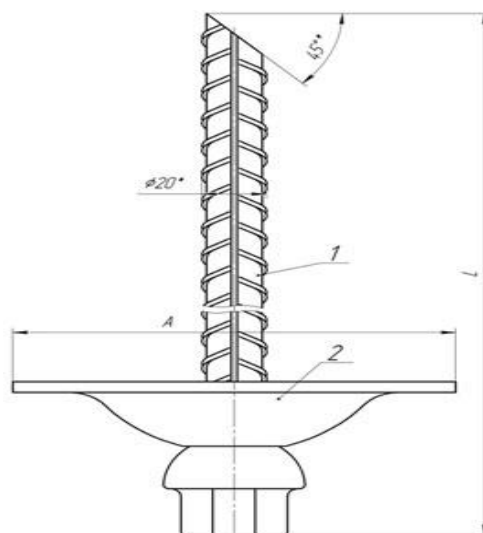


Рис. 1.11 - Крепь анкерная с высаженной головкой
 1 - стержень с высаженной головкой; 2 - шайба анкерная выпуклая

Крепь анкерная типа КРА (рис. 1.12) предназначена для крепления кровли и боков основных и подготовительных выработок, а также для анкерования оборудования к почве выработок. Закрепление в шпуре осуществляется за счет распирания щечек специальной клиновой гайкой, накручивающейся на стержень анкера. Крепь также может использоваться для анкерования оборудования к почве.

Основные параметры и размеры КРА16: диаметр стержня - 16 мм, диаметр шпура 33-35/40-45 мм, разрывное усилие сварного узла - не менее 110 кН, длина стержня - 1600-2500 мм.

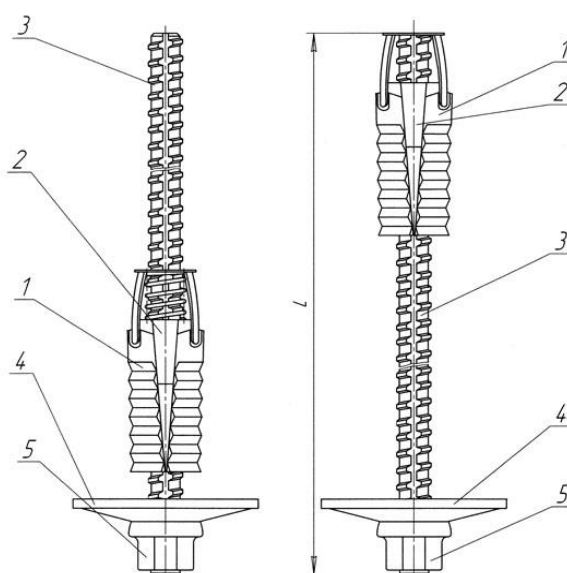


Рис. 1.12 - Крепь анкерная типа КРА
 1 - щёчки клинораспорного замка; 2 - клин с винтовой резьбой; 3 - стержень анкера; 4 - шайба анкерная выпуклая; 5 - гайка специальная сферическая.

Сталеполимерная анкерная крепь

Сталеполимерная анкерная крепь отличается использованием для закрепления армирующего стержня в породе высокопрочных быстротвердеющих составов на основе смол органического или минерального происхождения. В практике, в основном, получили распространение составы на основе синтетических термореактивных смол, таких, как эпоксидные, полиэфирные, мочевино-формальдегидные, полиуретановые и др.

Сталеполимерные анкеры способны практически мгновенно после установки вступать в активную работу с массивом и обеспечивать высокую несущую способность даже в трещиноватых породах.

Сталеполимерная анкерная крепь состоит из комплекта: металлический анкерный стержень; опорная шайба (минимальный размер 65×65 мм); натяжная гайка различной конфигурации и ампул (рис. 1.13).

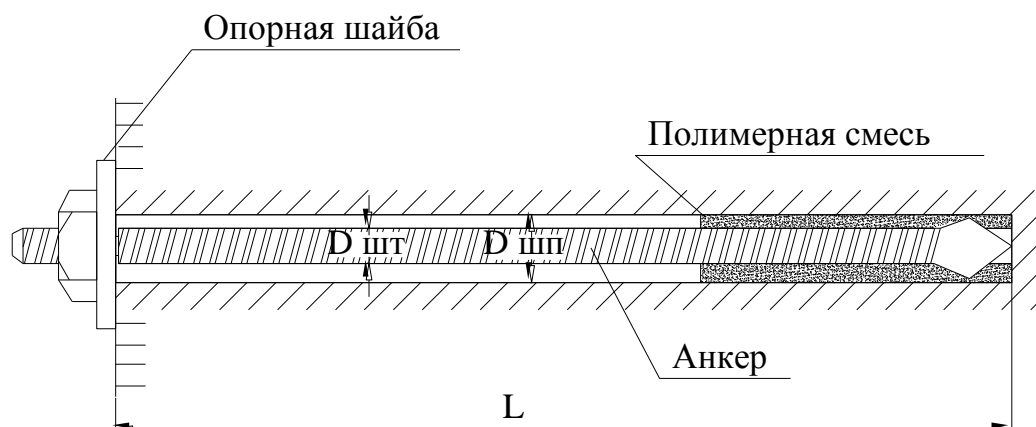


Рис. 1.13 - Вид сталеполимерного анкера в массиве

Для закрепления стержней сталеполимерных анкеров в скважинах следует применять различные сертифицированные и допущенные к применению на шахтах ампулы с быстротвердеющими смолами.

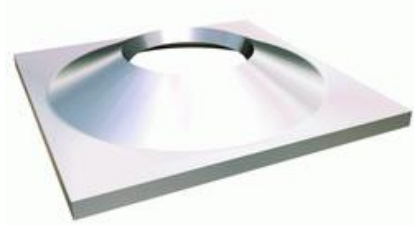
У сталеполимерных штанг устанавливают несущую способность по несущей способности замковой части.

Сталеполимерные анкеры в условиях небольшого горного давления и сухих породах допускается закреплять одной ампулой. В условиях обводненных пород

и горного давления средней интенсивности закрепление стержней должно производиться, как правило, двумя и более ампулами на длине не менее 1,0 м.

В капитальных выработках и на сопряжениях с длительным сроком службы в качестве анкеров в кровле и боках следует принимать сталеполимерные анкера с закреплением стержней ампулами с быстротвердеющими смолами по всей длине скважин.

В качестве стержней для сталеполимерных анкеров при их расчетной длине меньше высоты выработки следует использовать, как правило, рифленые прутки из среднеуглеродистой стали и малоуглеродистой конструкционной стали диаметром 20-24 мм со стандартной резьбой для гайки.



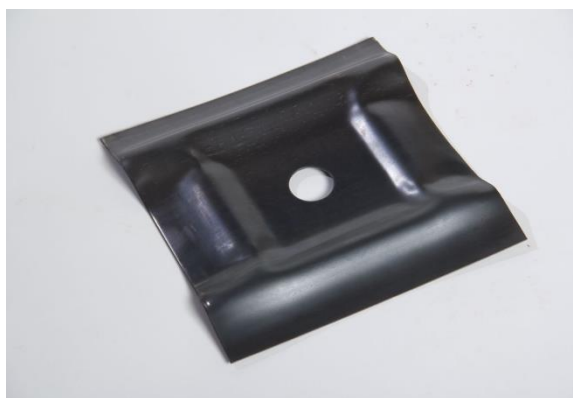
а) шайба АКВ.002



шайба ШС-1



шайба ШС-2



б) подхваты ПЗ00 и ПШЗ00

Рис. 1.14 - Фотографии шайб под сталеполимерную штанговую крепь производства Кузнецкого машиностроительного завода (а), ООО "ОКС" (г. Кемерово) (б)

Стеклопластиковые анкера

Анкер (рис. 1.15) предназначен для крепления бортов и почвы подготовительных выработок, а также применяется для крепления угольных целиков в подготовительных и очистных забоях. В процессе последующей отработки анкер легко срубается исполнительным органом комбайна.



Рис. 1.15 - Конструкция стеклопластикового анкера производства ООО «НПК «Промсервис» (г. Новокузнецк)

Крепё анкерная стеклопластиковая S60-23 состоит из стержня анкера, выполненного из винтового стеклопластикового профиля, опорной шайбы и гайки. Анкер предназначен для шпуров диаметром 27-30 мм.

Технические характеристики анкерной крепи стеклопластиковой S60-23 приведены в таблице 1.9

Таблица 1.8 - Технические характеристики анкерной крепи стеклопластиковой S60-23 производства ООО «НПК «Промсервис»

Наименование показателей	Значения
Диаметр стержня, min/max, мм	20/23
Разрывное усилие стержня, кН, не менее	80
Прочность гайки на растяжение, кН, не менее	80
Несущая способность шайбы, кН, не менее	80
Предел прочности стержня на растяжение, МПа, не менее	690
Предел прочности стержня на срез, МПа, не менее	120
Разрушающий крутящий момент, Н/м, не менее	80
Вес комплекта анкера L -1600мм/ L -1800мм составляет, кг	1,86/2,04

Фирмой MINOVA изготавливается крепё анкерная штанговая стеклопластиковая из стекловолоконных материалов и характеризуется высокой прочностью на растяжение (рис. 1.16). Закрепление анкеров в шпурах производится при помощи полимерных ампул или полимерных составов. По желанию заказчика анкеры поставляются стандартной длиной 2, 3, 4, 6 и 12 м.

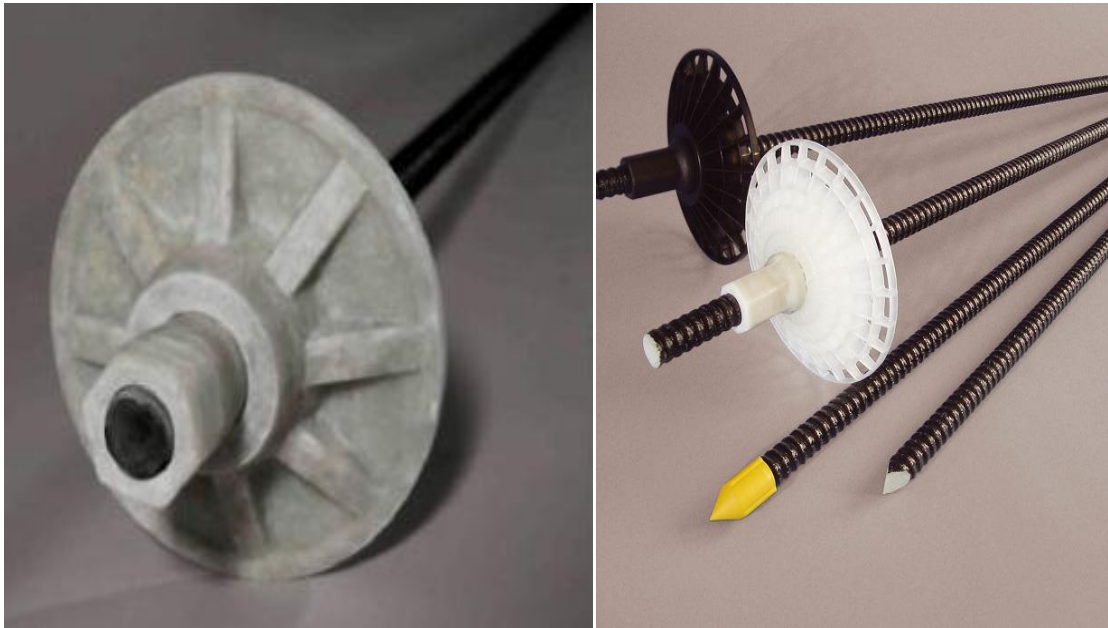


Рис. 1.16 - Крепь анкерная штанговая стеклопластиковая производства фирмы MINOVA

Анкерное штанговое крепление «Swellex»

Анкерное штанговое крепление «Swellex» фирмы AtlasCorco (рис. 1.17) представляет собой трубчатую распорную крепь, которая распирается в шпуре за счет высокого внутреннего давления воды при установке.



Рис. 1.17 - Анкерное штанговое крепление «Swellex» фирмы AtlasCorco

Анкерная крепь «Swellex» предназначена для закрепления выработок с длительным сроком службы в особо сложных условиях при высокой влажности и снабжена защитным слоем от влияния коррозионных процессов.

Анкер представляет собой трубу сложного профиля с разъемом для подключения шланга высокого давления. После того, как анкер вставлен в пробуренный для него шпур, внутрь трубы под давлением 20-30 МПа

нагнетается жидкость (вода). Под действием давления профиль трубы в шпуре расширяется, создавая при этом в прилегающем массиве давление на стенки шпуры и дополнительное давление на стенки породных трещин, увеличивая по их плоскостям сцепление (рис. 1.18).

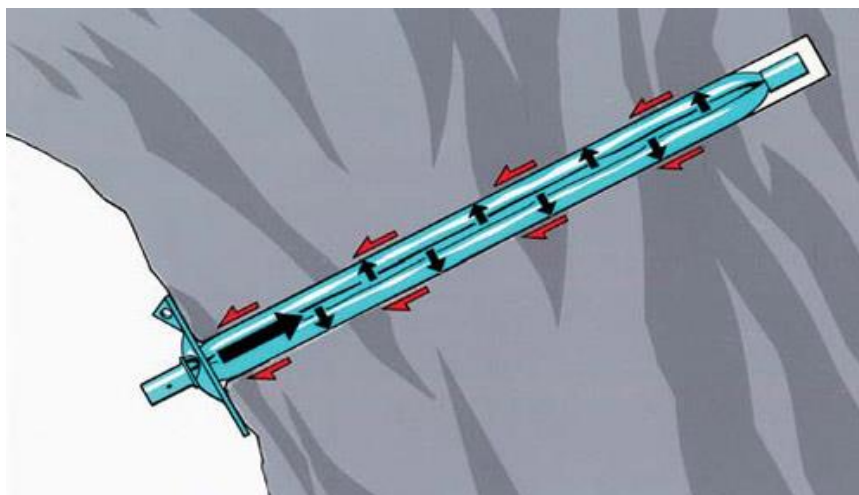


Рис. 1.18 - Схема установки и работы анкера «Swellex»

Анкеры изготавливаются под шпуры диаметром 32-39 мм и 43-52 мм. Толщина стенок трубы, выполненной из стали специальной марки, составляет 2-3 мм. Несущая способность анкеров колеблется в пределах 100-200 кН. Одним из преимуществ данной системы является мгновенное вовлечение анкера в работу, причем по всей его длине. Для прижатия арматурной сетки к опорной пяте анкера используются специальные шайбы. В тех случаях, когда массив приконтурных пород разрушен, в целях предотвращения его дальнейшего разрушения, на штангу надевают патрубков, исключающий распрямление профиля анкера, и тем самым, ликвидируется дополнительная нагрузка на приконтурный массив от установки анкера.

На рис. 1.19 представлены типы анкеров «Swellex» обычного и антикоррозионного исполнения.



Рис. 1.19 - Типы анкеров «Swellex»

а) обычные анкера; б) анкера с антикоррозионной защитой на основе битума; в) анкера с поливиниловым покрытием



Рис. 1.20 - Пластины для расширяемых анкерных болтов Swellex

Компания Atlas Copco предлагает широкий ассортимент дополнительных принадлежностей для расширяемых анкерных болтов Swellex, благодаря чему их можно использовать во множестве сфер.

Преимуществом описанных конструкций анкерного крепления системы «Swellex» является: возможность сохранять работоспособность при значительных смещениях контура горного массива; нечувствительность анкеров к вибрациям и взрывным работам; быстрая и легкая установка; большая несущая способность; большая длина анкеров; широкий диапазон использования в различных горно-геологических условиях.

Оборудование производства фирмы AtlasCopco для установки анкерной крепи Voltec LC представлено на рис. 1.21. [14]

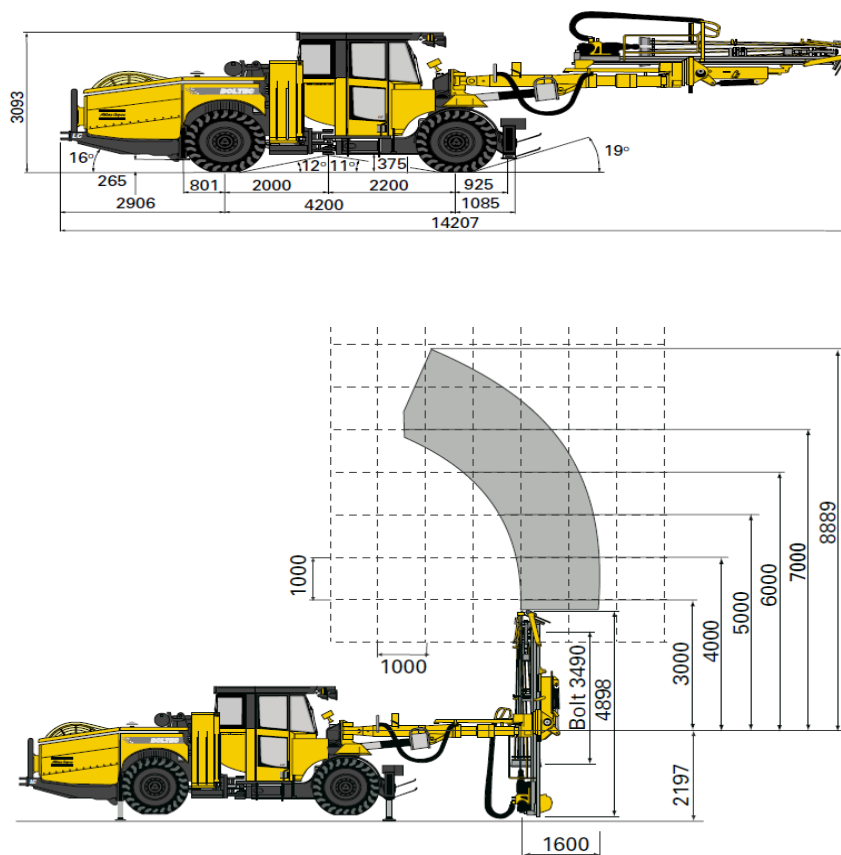


Рис. 1.21 - Оборудование для установки анкерной крепи Voltec LC

Технические характеристики оборудования для установки анкерной крепи Voltec приведены в таблице 1.10

Таблица 1.9 - Технические характеристики оборудования для установки анкерной крепи Voltec фирмы Atlas Copco

Показатели	Оборудование для установки анкерной крепи		
	Voltec H235	Voltec MC/MD	Voltec LC/LD
Перфоратор	1×COP 1132	1×COP 1132	1×COP 1132
Стрела	1×BUT 35HB	1×BUT 35HB	1×BUT 35HBE
Анкероустановщик	MBU	MBU	MBU
Длина анкеров	1,5-2,4 м	1,5-3,5 м	1,5-6,0 м
Максимальная рабочая высота	9,4 м (MBU 24,7)	10,3 м (MBU 34,9)	11,0 м (MBU 34,9)
Емкость магазина	10 анкеров	10 анкеров	10 анкеров
Буровая система	DCS 12-55	RCS/DCS	RCS/DCS
Шасси	DC 15C	М-серия	L-серия
Дизельный двигатель	DeutzD914 L04 58 кВт при 2300 об/мин	Deutz TCD2013 L04 129 кВт при 2300 об/мин	Deutz TCD2013 L04 129 кВт при 2300 об/мин
Ширина	1930 мм	2245 мм	2501 мм
Высота	3000/2300 мм	2931/2231 мм	3003/2303 мм
Длина	11152 мм	13405 мм	14207 мм
Радиус поворота	5800/3000 мм	6600/4100 мм	7500/4750 мм
Вес	17500 мм	21600 мм	26000 мм

Компьютерная система управления (RSC) оборудованием для установки анкерной крепи:

- высокотехнологичная система управления бурением;
- автоматизация операций установки анкера / троса;
- полный контроль и автоматизацию процесса приготовления цементной смеси для установок с цементным блоком на борту;
- возможность трехуровневой автоматизации;
- поставляется с установками Voltec MC, Voltec LC, Cabletec LC и Scaletec MC;
- встроенная система диагностики.

Все установки Voltec (за исключением Voltec H235) и установки Cabletec и Scaletec производятся по технологии модульной сборки, что позволяет существенно сократить сроки производства и повысить качество выпускаемого оборудования, а также унифицировать шасси и другие компоненты, что обеспечивает возможность взаимозаменяемости компонентов между установками различного типа. Эргономичные шумоизолированные кабины, выполненные по стандарту FOPS, призваны сделать пребывание оператора на

рабочем месте комфортным и безопасным.

Технические характеристики оборудования для установки анкерной крепи Cabletec и Scaletec приведены в таблице 1.11

Таблица 1.10- Технические характеристики оборудования для установки анкерной крепи Cabletec и Scaletec фирмы Atlas Copco

Показатели	Оборудование для установки анкерной крепи	
	Cabletec LC	Scaletec MC
Перфоратор	1×COP 1838 ME	SB 302 Scaler
Стрела	1×BUT 35BB	BUT SC
Податчик	1×BMH 214/215/216	-
Анкероустановщик	буровая стрела/тросоустановщик	-
Длина анкеров	длина троса до 25 м	стрела для оборки кровли
Максимальная рабочая высота	8,3-8,5 м	8,5 м
Емкость магазина	17 буровых штанг + 1 на податчике	-
Буровая система	RCS	RCS
Шасси	L-серия	M-серия
Дизельный двигатель	DeutzTCD 2013 L04 2V 120 кВт при 2300 об/мин	DeutzTCD 2013404 2V 120 кВт при 2300 об/мин
Ширина	2750 мм	2364 мм
Высота	3093 мм	3013 мм
Длина	14333 мм	13050 мм
Радиус поворота	7400/4500 мм	7000/4000 мм
Вес	30000 мм	22000 мм
Особенности	Автоматическая система приготовления и закачки цемента. Барабаны для троса и цементного шланга. Стрела для подачи троса с устройством изгиба и отрезания троса	Система подъема/наклона кабины оператора. Гидромолот со встроенным каналом подачи воды для охлаждения/пылеподавлени я. Бульдозерный отвал

1.3.6 Контроль качества установки анкеров [15]

Для определения несущей способности анкеров предлагается использовать специальное испытательное устройство - прибор контроля анкеров (рис. 1.22) и динамометрический ключ фирмы MINOVA(рис. 1.23).

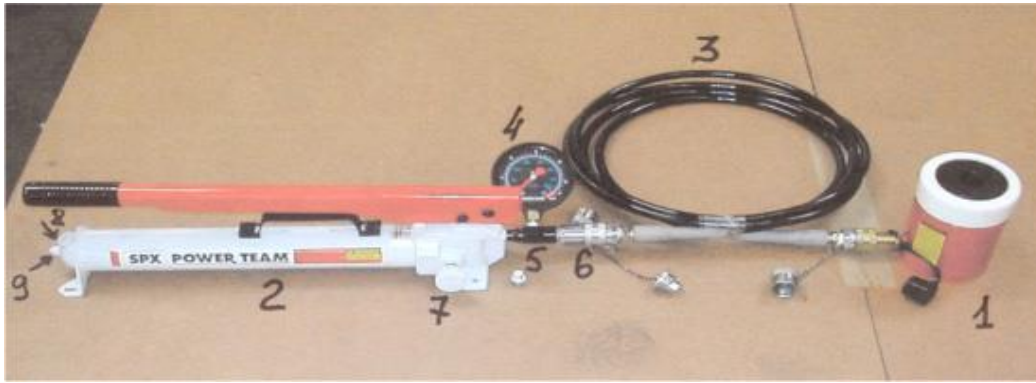


Рис. 1.22 - Прибор контроля анкеров PT-Zylinder RH302 фирмы MINOVA

Прибор контроля анкеров PT-Zylinder RH302 фирмы MINOVA состоит из следующих частей с техническими характеристиками:

- колбовый цилиндр RH302: масса - 11,6 кг; внутренний диаметр отверстия под анкер - 32,9 мм; раздвижка цилиндра максимальная - 63,5 мм; высота цилиндра в сложенном виде - 158,8 мм; количество масла - 260 см³; максимальная нагрузка - 28,8 т;

- ручной насос P59: давление максимальное - 700 бар; масса - 7,8 кг; количество масла - 901 см³;

- шланг высокого давления: допустимое давление - 700 бар; внутренний диаметр - 10 мм; длина - 5 м; с обеих сторон вентили;

- манометр: шкала действия: от 0 до 700 бар (или от 0 до 30 т);

- адаптер для подсоединения манометра;

- адаптер для подсоединения шланга.



Рис. 1.23 - Динамометрический ключ фирмы MINOVA

Для испытаний анкеров типа «Swellex» предлагается использовать гидравлическое управляемое оборудование «Swellex® Pull-test Equipment» с отображением результатов на дисплее (рис.1.24). Максимальная сила, с которой работает прибор, составляет 250 кН.

Сила, прилагаемая к анкеру отображается в кН на дисплее и индикатор фиксирует самую высокую величину нагрузки, достигаемую в каждом испытании. Прибор считывает данные два раза в секунду и самые последние 900 данных загружаются в память прибора. Эти данные могут быть переданы на компьютер для дальнейшего анализа.



Рис. 1.24 - Гидравлический прибор для испытания анкеров «Swellex® Pull-test Equipment»

Прибор "Анкер-Тест" предназначен для оценки выполнения анкерной крепью функций сцепления и поддержания пород кровли подземных горных выработок. Принцип измерения прибора основан на регистрации и последующем анализе вибрационного отклика анкера на ударное воздействие на выступающий торец, возникающее при примагничивании к нему бойка прибора, подносимого оператором.

Внешний вид прибора в собранном виде представлен на рис. 1.25



Рис. 1.25 - Внешний вид прибора "Анкер-Тест"

Для обработки результатов измерений используется специализированное программное обеспечение: программа обработки сигналов спектров Atest01 и программа распознавания состояния крепи и определения вероятности правильного распознавания Acluster.

1.4 Область применения различных видов крепи [16]

При назначении вида крепи учитывают прочностные свойства пород и глубину заложения выработки, пользуясь безразмерным параметром.

$$\varphi = \frac{\gamma H}{R_{сж}}, \quad (1.24)$$

где γ - плотность пород вышележащей толщи, T/m^3 ;

H - глубина залегания выработки, м;

$R_{сж}$ - длительная прочность пород на сжатие т·с/м³;

При $\gamma H/R_{сж} \leq 0,1$ породы можно считать устойчивыми. При проведении выработок по породам, склонным к выветриванию, рекомендуется набрызг-бетонная крепь небольшой толщины (2-5см).

При $0,3 < \gamma H/R_{сж} \leq 0,3$ породный массив требует крепления. Рекомендуемые виды крепи: штанговая и комбинированная.

При $0,3 < \gamma H/R_{сж} \leq 0,45$ принимаются крепи без обратного свода: монолитная бетонная, деревянная, металлическая податливая крепь. Возможно применение комбинированных крепей: штанговой в сочетании с монолитной бетонной или металлической.

Устойчивость руд и пород зависит от их крепости, трещинной и тектонической нарушенности, степени серицитизации, хлоритизации и окремненности. На устойчивость пород также влияет форма и размеры обнажений, время их существования, взрывные работы, расстояние до очистного пространства и др. факторы.

В странах СНГ, в том числе в Республике Казахстан выбор типов крепи выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ, производится по категориям устойчивости руд и пород. Классификация горных пород по устойчивости приведена в таблице 1.12

Таблица 1.11 - Классификация руд и пород по устойчивости

Категория	Степень устойчивости	Допустимая площадь обнажения и необходимость крепления	Горизонтальный пролет*, м
I	весьма устойчивые	не требуют крепления при обнажении и длительном стоянии на площади 1000 м ² и более	>22
II	устойчивые	допускают обнажение без крепления до 600 м ² , при длительном стоянии требуют крепления только в ослабленных местах	17
III	средней устойчивости	допускают обнажение без крепления до 100 м ² , но требуют крепления при длительном стоянии	7
IV	неустойчивые	допускают обнажение без крепления до 10 м ² , но требуют крепления при длительном стоянии	2
V	весьма неустойчивые	исключают обнажение без крепления	-

Указанные в таблице 1.12 площади обнажений и пролеты не учитывают влияние многих других факторов на их устойчивость. В таблицах 1.13 и 1.14

приведены дополнительные характеристики категорий устойчивости пород по условиям поддержания выработок и степени трещиноватости массива.

Таблица 1.12 – Количественные характеристики трещиноватости пород

Характеристика трещиноватости пород	Выход керна, %	Коэффициент структурного ослабления K_{co}	Показатели трещиноватости и блочности	
			число трещин на m^2 , шт.	расстояние между трещинами, м
Слаботрещиноватые	80	0,4÷0,5	0÷8	0,35
Среднетрещиноватые	45÷80	0,2÷0,4	8÷15	0,15÷0,35
Сильнотрещиноватые	30÷45	0,1÷0,2	15÷30	0,5÷0,15
Раздробленные	30	0,1	>30	<0,5

Таблица 1.13 - Категории устойчивости пород и их характеристики

Степень устойчивости пород	Крепость пород	Длительность устойчивого стояния	Условия поддержания выработок
весьма устойчивые	16÷20	неограниченная	при длительном стоянии не требуют крепления
устойчивые	10÷16	6 месяцев	при длительном стоянии крепление требуется только в отдельных местах
средней устойчивости	6÷10	до 0,5 месяца	допускают обнажения без крепления, но через некоторое время требуют крепления
неустойчивые	3÷6	1-3 суток	требуют крепления вслед за проведением выработок
весьма неустойчивые	менее 3	-	исключает проведение выработок без крепления

Выбор типа крепи по категориям устойчивости пород приведен в таблице 1.15.

По расположению и ориентировке выработок относительно очистного пространства выделены следующие основные их группы, каждая из которых имеет свои особенности по способу охраны и поддержания:

- выработки, пройденные в рудном теле до начала очистных работ и погашаемые при очистных работах (рудные штреки, орты, транспортные сбойки, уклоны, разведочные рассечки и др.);

- выработки, пройденные до начала очистных работ в подрабатываемом (висячий бок) и надрабатываемом (лежащий бок) массиве и сохраняемые при очистных работах (выработки откаточного и вентиляционного горизонтов, блоковые наклонные съезды и др.);
- выработки, сооружаемые и впоследствии поддерживаемые в закладочном массиве (вентиляционно-закладочные выработки и др.);
- выработки, пройденные в зоне влияния очистных работ в период отработки рудного тела.

Вместе с тем существует международная методика выбора типа крепления для горно-капитальных, подготовительных сближенных выработок и сопряжений на основании Q- рейтинга (система Бартон). [16]

Q-система - это индекс качества тоннелей (Tunneling Quality Index, разработана в Норвежском Геотехническом Институте Бартоном и др. в 1974 году.

Система Бартон применяется в методах эмпирического проектирования при оценке устойчивости массива горных пород и крепления капитальных, подготовительных и очистных выработок.

Численное значение Q определяется:

$$Q = \frac{RQD}{j_n} \cdot \frac{j_r}{j_a} \cdot \frac{j_w}{SRF}, \quad (1.25)$$

где RQD - показатель качества породы; j_n - показатель количества систем трещин; j_r -показатель шероховатости поверхности трещин; j_a - показатель измененности (сцепления) трещин; j_w - водный фактор; SRF - фактор снижения напряжений.

Отношение RQD/j_n представляет собой строение массива и является приближенным значением размера блока, с двумя экстремальными значениями (100/0,5 и 10/20).

Отношение j_r / j_a - прочность на сдвиг вдоль поверхности трещин, представляет характеристики шероховатости стенок трещин и материала, заполняющего трещины и их фрикционные свойства. Это отношение имеет наиболее благоприятное значение при шероховатых поверхностях трещин, трещинах с низкой степенью выветривания по направлению вдоль контакта.

Отношение j_w / SRF - активный коэффициент напряженного состояния.

Параметр j_w представляет собой параметр давления грунтовых вод, которое снижает прочность породы на срез из-за снижения нормальной составляющей давления.

Параметр снижения напряжений SRF - показатель, указывающий уменьшение нагрузки в случае: 1 - сдвиговых зон и глино содержащих пород; 2 -

Таблица 1.14 - Выбор типа крепи по категориям устойчивости пород

Категория устойчивости пород	Тип крепи	Характер взаимодействия с породами	Требуемые виды крепления
Весьма устойчивые (I)	Без крепи	Отсутствие нагрузок на крепь	-
Устойчивые (II)	Без крепи и изолирующая при породах, склонных к выветриванию	Отсутствие нагрузок на крепь, возможны местные локальные разрушения пород	Тонкое изолирующее покрытие из набрызгбетона при продолжительном существовании выработки в породах, склонных к выветриванию
Средней устойчивости (III)	Упрочняющая	Упрочнение окружающих выработку пород, обеспечение совместных смещений нарушенных пород	Набрызгбетон Различные виды анкерной (штанговой) крепи Комбинированная (анкер, набрызгбетон или сетка)
Неустойчивые (IV)	Поддерживающая	Работа в режиме вывалообразования и отслоения пород	Арочная металлическая Монолитная бетонная Комбинированная (различные виды анкеров, сетка, усиленный набрызгбетон) Деревянная
Весьма неустойчивые (V)	Подпорная в системе "крепь-порода"	Работа в режиме совместного деформирования с массивом, режим "взаимовлияющей деформации"	Требуется применение специальных методов проходки для перевода пород в более высокую категорию устойчивости, т.е. применение податливых крепей в комбинации с опережающими и предохранительными крепями, либо необходимо инъецирование пород

напряжений, действующих в крепкой породе; 3 - сжимающих нагрузок в пластичных слабых породах (рисунок 1.26).

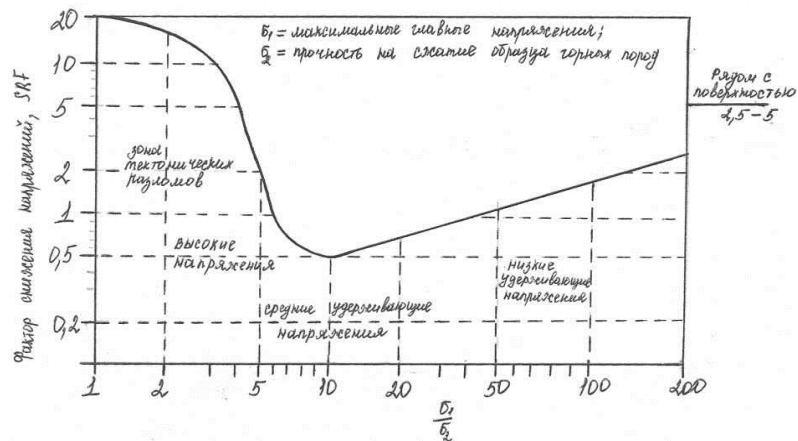


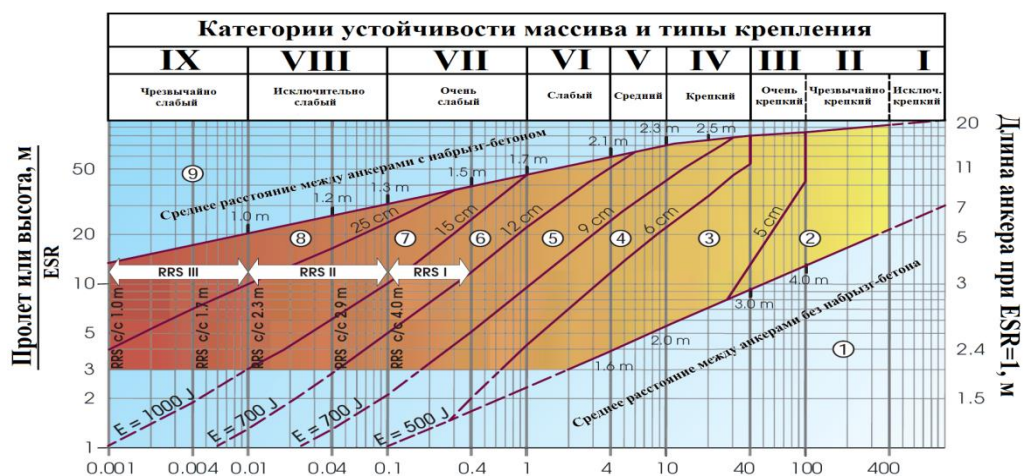
Рисунок 1.26 - Параметр снижения напряжений

В соответствии с Q-рейтингом качества массива подразделяется на следующие классы (таблица 1.16).

Таблица 1.15 - Показатели качества массива горных пород и их значения

1. Показатель качества породы		RQD
A	Очень слабая	0-25
B	Слабая	25-50
C	Средняя	50-75
D	Хорошая	75-90
E	Отличная	90-100

На основании приведенных исследований разработана номограмма для определения типа в соответствии с Q-рейтингом, которая представлена на рисунке.



Области со штриховыми границами не имеют экспериментального подтверждения

Рисунок 1.27 - Диаграмма выбора типа и параметров крепи в зависимости от Q-рейтинга.

Интерпретировать диаграмму по типам крепления (см.рисунок 1.27) необходимо следующим образом:

- 1- Без крепления и анкерование в отдельных местах
- 2- Анкерование в отдельных местах, SB
- 3- Систематическое анкерование + набрызг-бетон с фиброволокном 5-6 см, B+Sfr
- 4- Систематическое анкерование + набрызг-бетон с фиброволокном 6-9 см, B+Sfr (E500)
- 5- Систематическое анкерование + набрызг-бетон с фиброволокном 9-12 см, B+Sfr (E700)
- 6- Систематическое анкерование + набрызг-бетон с фиброволокном 12-15 см+ армокаркас 1 категория с набрызг-бетоном, B+Sfr (E700)+RRS1
- 7- Систематическое анкерование + набрызг-бетон с фиброволокном 12-15 см+ армокаркас 2 категория с набрызг-бетоном, B+Sfr (E1000)+RRS2
- 8- монолитный бетон или систематическое анкерование + набрызг-бетон с с фиброволокном>25см + армокаркас 3 категории, CCA или B+Sfr(E1000)+RRS3
- 9- Необходима специальная оценка

Дополнительные параметры диаграммы (рисунок 1.27), необходимо понимать следующим образом:

E- Энергетический класс поглощения энергии бетона (на основе панельного теста, описано в публикации Норжевский Ассоциации (NorwegianConcreteAssciation), представлен в таблице 16.

Таблица 1.16 - Энергетический класс поглощения энергии бетона

Энергетический класс поглощения энергии в бетоне	Минимальная энергия поглощения в Джоулях	Добавки, обеспечивающие достижение прочности	
		Фиброволокно PP, кг	Стальное волокно длиной до 32мм и диаметром до 0,5мм, кг
E500	500	5	15-18
E700	700	6-7	20-25
E1000	1000	8	30-35

Коэффициент условий выемки – ESR характеризует тип выработки, время ее существования (срок службы) и форму сечения (таблица 1.18).

Таблица 1.17 - Значения ESR




№	Условия выемки	ESR
1	Временные выработки и т.д.	3-5
2	Вертикальные выработки*: круглого сечения Прямоугольного/квадратного сечения *Зависит от назначения, может быть ниже, чем приведенные значения	2,5 2,0
3	Постоянные горные выработки, водные туннели для гидроэнергетики (исключая скважины высокого давления), пилотные выработки, предназначенные для сооружения больших камер и т.д.	1,6
4	Небольшие дорожные и железнодорожные туннели, канализационные туннели и т.д.	1,3
5	Жилые и складские помещения, водоочистные сооружения, большие дорожные и железнодорожные туннели, сопряжения выработок и т.д.	1
6	Подземные ядерные электростанции, железнодорожные станции, спортивные и общественные сооружения, фабрики и т.д.	0,8
7	Выработки специального назначения, а также выработки с длительным сроком службы, ≈ 100 лет, или без доступа для технического обслуживания.	0,5

*Рекомендуется принимать ESR=1,0 при $Q \leq 0,1$ для условий выемки 2,3 и 4

Армокаркасы- RRSI, II, III (рисунок 1.28) и соответствующие им близкие аналоги по несущей способности (штрипсы с набрызг-бетоном и анкерами; решетчатая арка с набрызг-бетоном и анкерами; сплошная металлическая сетка с набрызг-бетоном и анкерами), представляют собой специализированные виды крепей в виде комбинации металлических элементов различного профиля, анкеров с набрызг-бетоном (таблица 1.19).

Классификация горных пород по Q-рейтингу имеет 9 категорий (рисунок 1.27), что позволяет более гибко выбирать тип крепи горных выработок (в отличие от 5 категорий по устойчивости горных пород по действующей ПТЭ). Приведение категорий устойчивости пород по ПТЭ в соответствии с Q-рейтингом представлено в таблице 1.19.

Таблица 1.18 Армокаркасы RRS их аналоги по несущей способности

Категория армокаркаса	Характеристики армокаркаса по Q-рейтингу	Соответствующие типы армокаркаса, обладающие не меньшей несущей способностью
	Si30/6 Ø16 - Ø20 (пролет 10м) D40/6+2 Ø16-20 (пролет 20м)	Штрипсы толщиной 2-5 мм, шириной 300 мм
	Si35/6 Ø16-20 (пролет 5м) D45/6+2 Ø16-20 (пролет 10м) D55/6+4 Ø20 (пролет 20м)	Решетчатое арочное крепление
	D40/6+4 Ø16-20 (пролет 5м) D55/6+4 Ø20 (пролет 10м) D70/6+6 Ø20 (пролет 20м)	Сплошная сетка 2000×1000 мм

Si- одинарный слой арматуры

30/6 -слойарматуры из 6 стержней, набрызг-бетон толщиной 30 мм;

D - двойной слой арматуры;

Ø16 - диаметр арматуры;

c/c - расстояние между центрами армокаркасов (см. рисунок 3.1 "Диаграмма выбора типа и параметров крепи в зависимости от Q-рейтинга").

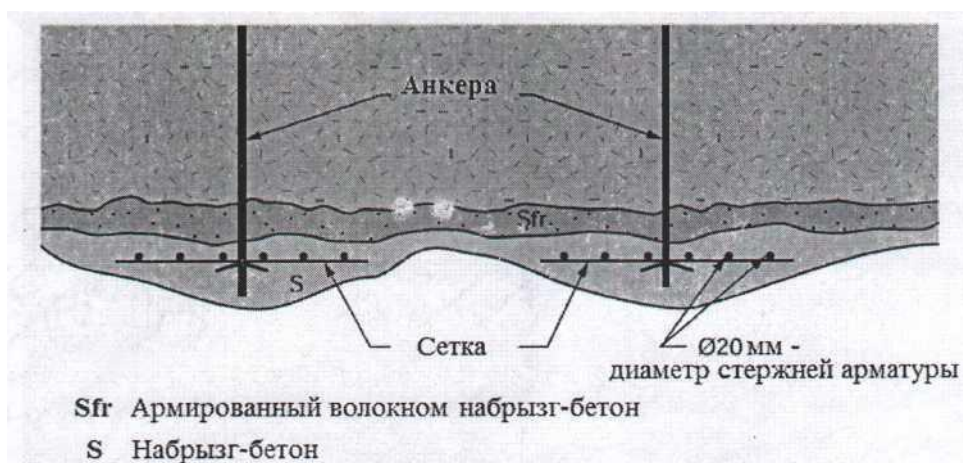


Рисунок 1.28 - Схема установки крепления с армокаркасом RRS

1.5 Постановка задач исследования

Анализ технологии крепления горных выработок и средств механизации для этих целей показал, что перспективными направлениями развития способов крепления следует считать комбинированную крепь. Опыт работы горных предприятий на больших глубинах, на которые переходят основные рудники Казахстана, свидетельствует о том, что даже весьма мощными железобетонными жесткими крепями удержать смещение горных пород массива практически невозможно. (Например, на месторождения Хромтау).

В этой связи в сложных горнотехнических условиях необходимо применять крепи, позволяющие горному массиву смещаться на определенную величину внутрь выработки. В большинстве случаев работа этих крепей основана на замковых анкерах или на арках, дополнительно оснащенных

различными амортизирующими устройствами. Их общий недостаток - ограниченность хода и несущей способности податливости.

Анализ теоретических разработках и практики горных предприятий показал, что существующие варианты податливой монолитной бетонной крепи не получили широкого распространения. В качестве примера можно привести один из таких вариантов - двухслойную монолитную податливую крепь [18]

В такой крепи внутренний слой из обычного бетона является грузонесущим (рис. 1.29). Внешний слой представляет собой пористый легко деформирующийся пеноматериал, выполняющий функцию податливого (демпферного) элемента конструкции. В этом случае нагрузка на крепь, благодаря характеристике пенопласта, почти равномерно распределяется по контуру, исключая точечное приложение усилий.

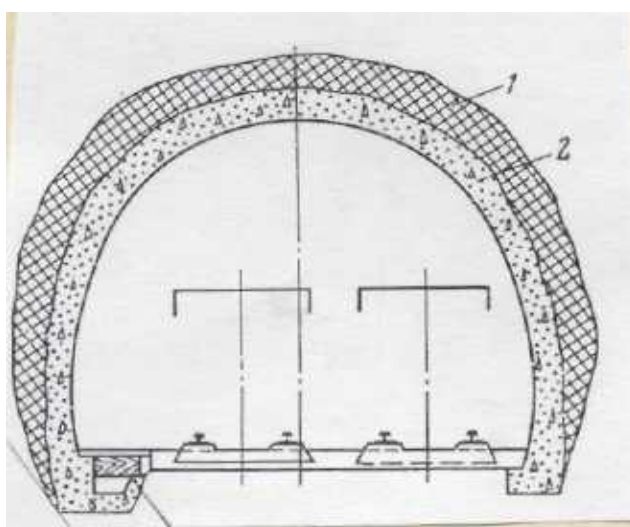


Рис. 1.29 - Схема двухслойной крепи:
1- демпферный слой; 2- грузонесущий слой.

Надежная работа конструкции в податливом режиме обеспечивается независимо от направления преобладающих смещений горных пород. Форма и размеры сечения выработки в свету остаются неизменными. Несущая способность такой крепи при работе в податливом режиме определяется сопротивлением податливого слоя (100-200 кПа), а при работе в жестком - прочностью бетонной оболочки.

В качестве материала податливого слоя можно использовать вспененные пластмассы и различные виды пенно-газобетонов. Для использования в податливом слое крепи рассматривались и оценивались пенополиуретановый, фенольно-резольный и карбамидный пенопласты.

Однако величина смещений ограничена толщиной демпферного слоя (она не может расти безгранично), а несущая способность характеристикой материала этого слоя.

Многослойные крепи пропорционально росту шага податливости сужают сечение выработки в свету и усложняют конструкцию, а также ухудшают условия безопасности труда из-за наличия химически активных веществ и повышенной пожар опасности. Все известные податливые крепи, как правило, рассчитаны на определенную первоначальную нагрузку, а как известно, эта нагрузка растет с ростом глубины проведения горных выработок. Кроме того, могут иметь место различные отклонения от расчетных параметров. Все это приводит к нарушению равновесия, на которое рассчитана данная податливая крепь.

Опыт крепления выработок глубоких шахт показал, что даже весьма мощными железобетонными жесткими крепями удержать смещение горных пород массива невозможно. В связи с этим в сложных геомеханических ситуациях применяют крепи, позволяющие породному массиву сместиться на определенную величину внутрь выработки.

Проведенный нами анализ показал, что одним из перспективных направлений совершенствования крепления горных выработок является использование крепей с регулируемой податливостью и максимальной механизацией возведения.

Нами предлагается с учетом недостатков выше изложенных конструкций, новая податливая крепь (Рис. 1.30)

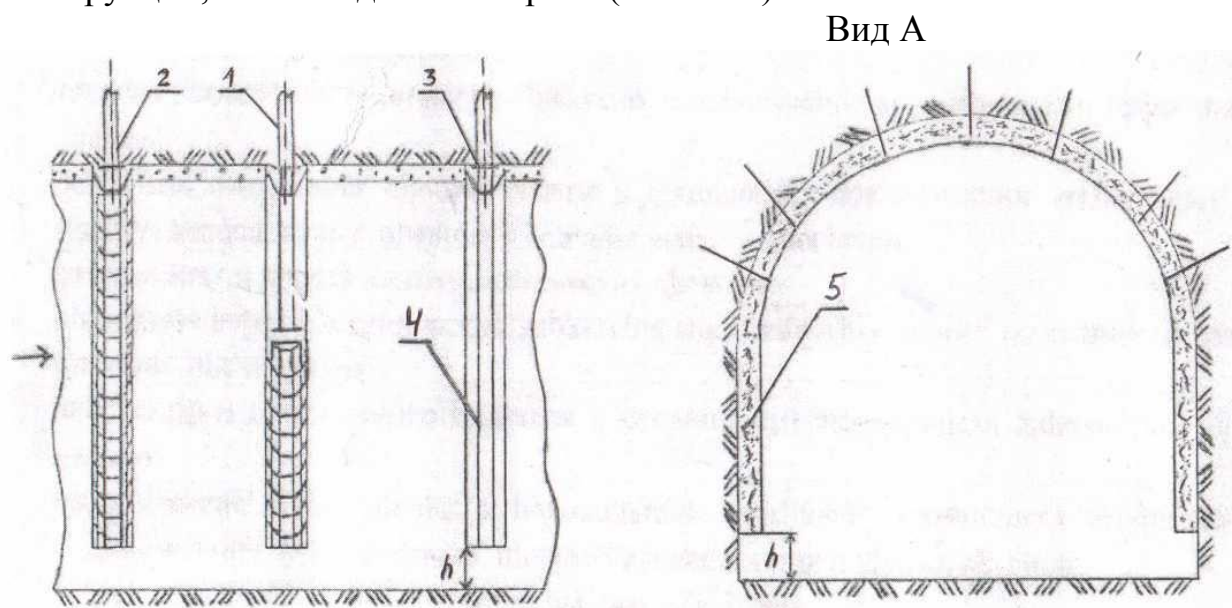


Рис.1.30 - Схема выработки с комбинированной податливой крепью
 1- опорная шайба, 2- трубчатый анкер, 3- торец, 4- железобетонная арочная крепь, 5- набрызгбетон;

Предлагаемая нами крепь устраняет многие из перечисленных недостатков. Такую крепь с регулируемой податливостью можно создать, благодаря разработанным трубчатым гидрораспорным анкерам и машине центробежного торкретирования МЦТ. Возведения такой крепи осуществляется в следующем порядке. Устанавливаются трубчатые

гидрораспорные анкеры (ТГА), на них крепится нужной конфигураций арматура, на которую машиной МЦТ наносится торкретбетон, создавая тем самым железобетонную арку (рис. 1.30). при этом арка, не доходит до почвы выработки на расстояние (h), равное величине интенсивного смещения горных пород. В период интенсивного смещения горных пород работают только ТГА. Поскольку они являются податливыми, и что будут работать и после сдвига с места в шпуре, сохраняя определенное сопротивление дальнейшему смещению.

В период интенсивного смещения пород работают только ТГА с заданной несущей способностью, а к концу этого периода железобетонная арка, подвешенная к ТГА упирается в почву выработки и далее включается в работу, принимая на себя часть нагрузки. Она сохраняет выработку от разрушения, а ТГА также продолжают свою работу.

Для реализация этого необходимо решить следующие задачи:

- разработать и обосновать на основе передовых идей принципиально новую схему комбинированной податливой крепи;
- исследовать работу системы «анкер-закрепляемый породный массив» и на этой основе предложить усовершенствованную конструкцию гидрораспорного анкера;
- разработать методику расчета гидрораспорных трубчатых анкеров
- для нанесения торкрет-смеси высокого качества исследовать работу новой машины центробежного торкретирования;
- провести компьютерное моделирование работы предлагаемой крепи
- определить эффективность и область применения предлагаемых решений.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВМЕЩАЮЩИМИ ПОРОДАМИ

По вопросу анкерного крепления выполнено большое число исследований отечественных и зарубежных ученых, позволяющих на научной основе глубже подойти к раскрытию физической сущности этого вида крепления. Наиболее широкую известность получили работы В.Н. Семевского, А.А. Борисова, Е.Я. Махно, А.П. Широкова, Н.И. Мельникова, Б.К. Чукона, А.Т. Талобра, А. Югона и А. Коста (Франция), А. Джонстона (Англия) и Б.И. Искакова, Ж.С. Ержанова, Ш.М. Айтиалиева, П.И. Шилкина.

Обширные экспериментальные и аналитические исследования, а также данные практики не привели к созданию общепризнанной теории работы анкерной крепи и разработке единого метода расчета ее параметров.

Однако, анализ существующих методов расчета показывает, что подавляющим большинством ученых в качестве основного фактора, определяющего плотность установки анкеров, принимается несущая способность замка анкера или его начальное натяжение.

2.1 Взаимодействие анкер-вмещающие породы

Существующие представления об анкерном креплении горных выработок, изложенные в работах отечественных и зарубежных исследователей, можно свести к пяти основным теориям: подвешивания непосредственной кровли и основной; формирования грузонесущей конструкции; сжатия поддерживающих пород; совместной работы крепи и породы; энергетической теории.

Теория подвешивания непосредственной кровли впервые была предложена в 1950г. Ф.Бекки, ее сторонниками являются Л.Л.Рабцевич, В.К. Чукан, А.П. Широков и ряд других исследователей.

Сущность этой теории состоит в том, что слабые, разрушенные или склонные к отслоению породы непосредственной кровли горной выработки подвешиваются анкерами к более прочным и устойчивым породам. Длина анкеров принимается при этом из условия закрепления их замком за пределами зоны возможного обрушения, а плотность установки анкеров должна быть такой, чтобы их суммарная несущая способность превышала вес поддерживаемых ими пород. Основной расчетной величиной для определения параметров анкерной крепи является площадь кровли, приходящаяся на один анкер, и определяемая как функция несущей способности его замка или предварительного натяжения анкера.

Теория формирования грузонесущей конструкции впервые была сформулирована О.Якоби и получила дальнейшее развитие в работах В.Н. Семевского, Б.К.Чукана, А.А. Борисова и других исследователей. [19,20,21,22]

Сущность этой теории состоит в том, что скрепленная анкерами слоистая кровля рассматривается как равномерно нагруженная, несущая способность которой определяется работой нижних слоев на растяжение.

Скрепленная анкерами кровля представляет собой составную балку, которая способна, без потери устойчивости, выдержать собственный вес и пригрузку со стороны покрывающих пород. Предполагается, что момент сопротивления составной балки всегда больше суммы моментов сопротивления отдельных ее слоев. Скрепляемые породы подвергаются в этом случае главным образом сжатию, а анкеры воспринимают растягивающие усилия.

Расчетными методами, базирующимися на этой теории, длина анкеров определяется, исходя из различных соображений. Площадь кровли, приходящаяся на один анкер, в явном или неявном виде зависит от натяжения (несущей способности) анкеров или прочностных свойств материала, из которого они изготовлены.

Теория сжатия поддерживающих пород. Сторонники этой теории Н.Талобр, Р.Квапил, А.Югон и А.Кост [23,24] предполагают, что работа анкерной крепи сводится к сжатию скрепляемой толщи пород и предотвращению возникающих в ее нижних слоях растягивающих напряжений. Если сразу же после выемки горной массы установить анкерную крепь сжав породу усилием равным предварительному натяжению анкеров, развитие растягивающих напряжений прекратится и разрушения пород на контуре выработки не произойдет. Если же выработка в течение некоторого времени остается незакрепленной, то кровля подвергается изгибу и развивающиеся в нижних слоях растягивающие напряжения приведут к опасным деформациям и обрушению пород кровли. Площадь кровли, приходящаяся на один анкер, определяется авторами этой теории в зависимости от величины начального натяжения анкеров.

Теория совместной работы и энергетическая теория. [25] Рассмотренные теории работы анкерной крепи согласуются с данными практики в тех условиях, для которых они рекомендуются. Однако предложенные в соответствии с этими теориями методы расчета основаны на упрощении рассматриваемых явлений и содержат ряд допущений, снижающих достоверность и практическую ценность полученных при расчетах результатов.

Так, взаимодействие анкерной крепи и поддерживаемых ею пород авторы указанных выше теорий рассматривают как статическую задачу хотя общеизвестно, что после установки крепи горные породы в течении определенного времени продолжают смещаться в сторону выработки.

В качестве основного фактора, определяющего плотность установки анкеров, принимается несущая способность замковой части анкеров или их начальное натяжение. При этом предполагается, что величина несущей способности замков и натяжения анкеров в процессе работы крепи остаются неизменными, хотя данные практики и специальных исследований показывают, что натяжение анкеров, установленных в горных выработках, претерпевает существенное изменение, которое может значительно отличаться от первоначального.

В связи с этим в последние годы все большее внимание уделяется изучению работы анкеров в условиях их длительной эксплуатации.

Механизм взаимодействия анкерной крепи и поддерживаемых пород раскрывается теорией совместной работы крепи и породы, разработанной А.Т.Толпокоряевым, [25] который считает, что анкерная крепь будучи податливой не может полностью предотвратить процесс неупругого смещения пород кровли: она может лишь ограничить его скорость и при определенных условиях приостановить.

В отличие от рамной крепи, анкерная крепь через замок связана с той частью которая практическая не разрушается.

В первый момент после установки анкеров, их давление на породу через подхваты определяется начальным натяжением. Затем под действием приложенных к подхватам сил горного давления реактивное сопротивление крепи возрастает и анкера в результате упругого растяжения металла и скольжения замка в шпуре смещаются в сторону выработки, при этом смещается и ее контур. При смещении напряженное состояние пород снимается, а способность анкеров воспринимать нагрузку увеличивается. Этот процесс будет развиваться до наступления равновесия в системе крепь-порода, т.е. до тех пор, пока реактивное сопротивление анкеров не окажется равным действующим на них силам горного давления.

Сущность работы анкерной крепи можно пояснить следующим примером. На две опоры положены один на другой (рис.2.1а) три бруса, не скрепленных между собой. Их суммарный момент сопротивления составит:

$$W_{H.cb} = \frac{bh}{\sigma} \cdot 3 = \frac{bh^2}{2}, \text{ см}^3 \quad (2.1)$$

Если эти брусья прочно скрепить между собой болтами (рис.2,1.б), то суммарный момент их сопротивления значительно возрастает

$$W_{cb} = \frac{b(3h)^2}{\sigma} = \frac{3bh^2}{2} = 3Wh_{cb}, \text{ см}^3 \quad (2.2)$$

Аналогичная схема работы породной плиты наблюдается при скреплении анкерами отдельных слоев пород (рис. 2,1,в.г). Если анкерную крепь установить непосредственно вслед за обнажением пород кровли и создать в ней необходимое напряжение, то слои пород будут удерживаться в естественной связи и предотвратится их расслоение. Это также повышает несущую способность пород. Благодаря действию анкерной крепи снижается скольжение слоев пород.

С помощью анкерной крепи обеспечивается взаимодействие отдельных слоев пород в кровле выработки. Отдельные слои пород в зоне пониженных напряжений стягиваются анкерами, тем самым исключают в этих слоях действие вертикальных растяжений и сжатия и обеспечивают несущую способность кровли. Поэтому в тонкослоистых породах можно с помощью анкеров

закрепить слои пород в кровле и, тем самым, предотвратить их отделение от массива, взаимное сдвигание и прогибание в горную выработку. Устойчивость кровли при этом будет зависеть от предела прочности пород на изгиб и числа соединенных анкерами слоев.

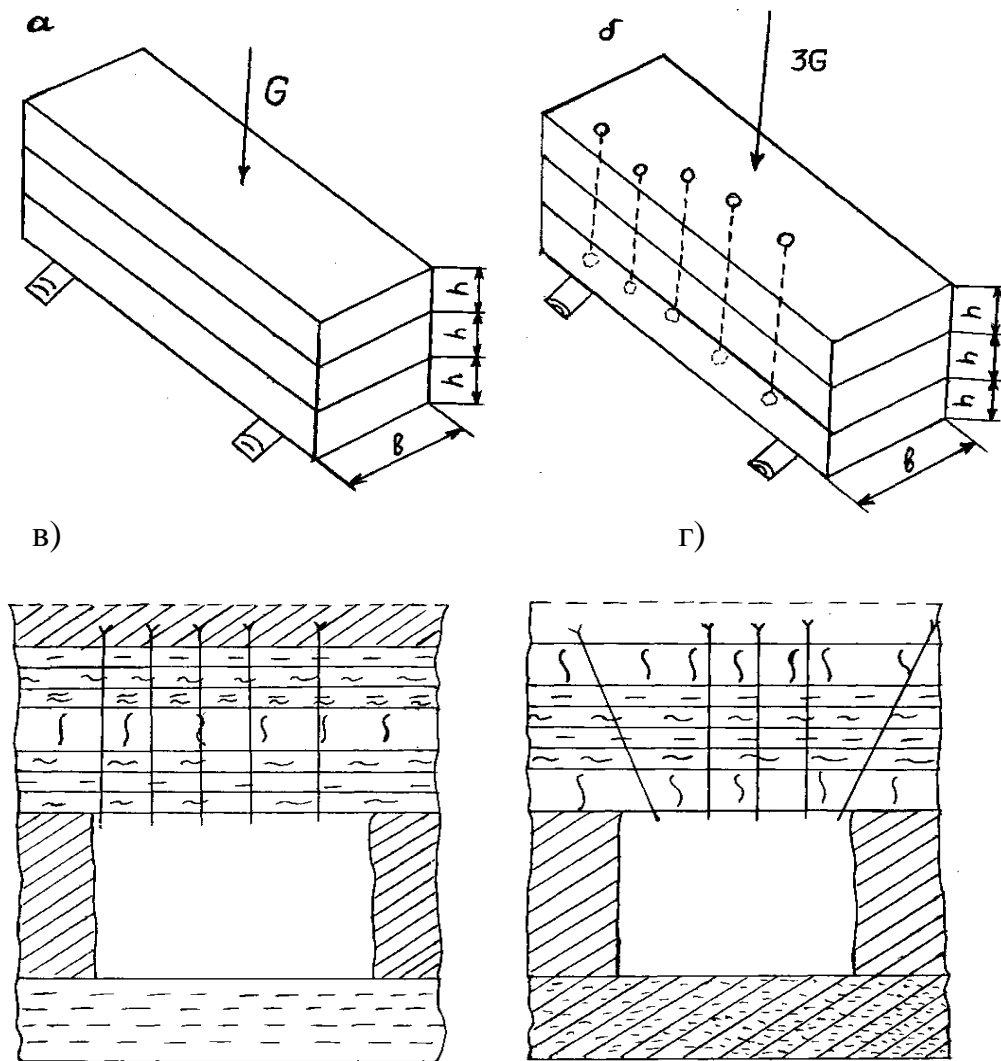


Рис. 2.1 - Расчетные схемы анкерной крепи

а) брусья не скрепленные между собой; б) брусья скрепленные болтами; в) слои пород непосредственной кровли «подшитые» анкерами к условной кровле; г) слои пород «сшитые» между собой анкерами.

Для противодействия растягивающим напряжениям, анкеры должны устанавливаться перпендикулярно к плоскостям зарождающихся трещин, т.е. в кровле –к плоскостям продольных трещин разрыва. В этих слоях пород с различными углами залегания анкеры необходимо устанавливать веерообразно, учитывая угол наклона или нарушение связности пород.

Однако, теория совместной работы крепи и породы хороша в идеальных условиях, когда отдельные брусья (рис.2,1а) являются целыми, без поперечных трещин. А на практике таких условий не бывает. Особенно в процессе буро-взрывных работ при разработке скальных пород предсказать в

каких направлениях образуются трещины невозможно. Поэтому, для того чтобы эта теория могла применяться необходимо условие максимального приближения их к идеальным. Этого можно достичь, например, путем стеснения растресканных пород, расклинивая их между собой и поперечных к слою трещинах и таким образом создать близкую к целому брусу балку из отдельных кусков за счет сил трения пород между собой и неровности растресканных поверхностей. А затем их «прошить» между собой, как это предусматривается данной теорией.

Указанную задачу можно решить посредством гидрораспорных трубчатых анкеров. На АО «Массагет» разработана оригинальная конструкция гидрораспорного трубчатого анкера. (рис.2.2) [26].

Анкер включает трубчатую штангу 1 с аксиальной продольной складкой 2, размещенной внутри полости 3, внутренний конец 4 которой сплюснен и загнут на 180° в противоположную аксиальной продольной складке сторону, а выступающий конец 6 выполнен с аксиальным отверстием 7, без складки на участке 0,02-0,1 длины трубы с полостью 8, открытой с торца.

Установку анкера производят посредством держателя, обеспечивающего герметизацию соединений выступающего конца 6 с агрегатом высокого давления. После того как анкер зафиксировали в держателе для установки анкера, его вводят внутренним концом 4 в шпур до упора опорной шайбы в поверхность выработки и подают во внутреннюю полость анкера жидкость под высоким давлением через штуцер держателя для установки анкера. При этом складка 2 распрямляется по всей длине трубы, распираясь в шпуре, а загнутая часть с внутреннего конца, расходясь под действием давлений жидкости, вклиниваются в породу, создавая на самом конце анкера дополнительный замок.

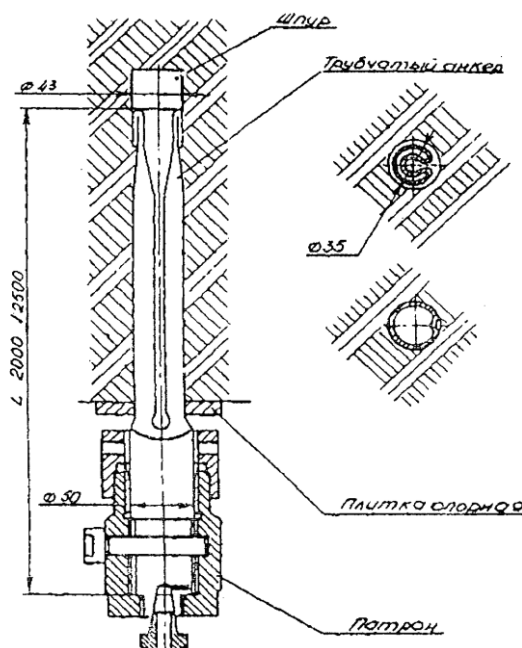


Рис. 2.2- Трубчатый гидрораспорный анкер (ТГА)

При этом длина загнутого участка не ниже 0,5 диаметра шпура не дает внутреннему концу анкера разгерметизироваться при распрямлении продольной складки.

Эти анкеры при установке имеют меньший диаметр чем шпуры, где они устанавливаются. В процессе возведения крепи диаметр их увеличивается за счет высокого давления воды внутри анкера. При этом анкер может раздуться больше, чем диаметр шпура, поскольку первоначальный диаметр трубы больше диаметра шпура. За счет этого анкер может раздвигать отдельные куски разрушенных пород, сжимая их между собой. Одновременно, анкер прошивает слои пород, по всей длине шпура, в том числе и в зоне неразрушенных монолитных горных пород. Кроме того, эти анкеры увеличиваясь в диаметре уменьшаются в длине, тем самым поджимая породу вверх.

В связи с вышеизложенным дальнейшие исследования для выбора рациональных параметров и технологии анкерного крепления горных выработок, в настоящей работе ведутся применительно к гидрораспорным трубчатым анкерам.

В условиях разработки месторождений руд цветных металлов, выработки наиболее часто проходят в сравнительно однородных трещиноватых породах, в связи с чем в практических расчетах параметров штанговой крепи для определения возможной высоты обрушения на рудниках наибольшее распространение получили формулы, основанные на гипотезах М.М. Протодяконова [27] и П.М. Цимбаревича [28]. Однако, непосредственные наблюдения в шахтных условиях и лабораторные опыты [29] показывают, что размеры фактических обрушений особенно в крепких породах, превосходят расчетные. Для выявления причин такого несоответствия, автор работы [29] обращается к обоснованиям зависимости высоты свода обрушения от свойств пород и размеров выработки, приводимым авторами известных гипотез.

На основании исследований и исходя из положений теории предельного состояния пород, [29] можно сделать следующие выводы. По мере увеличения угла внутреннего трения пород ρ угол ε между касательной к поверхности разрушения и направлением максимального главного напряжения π уменьшается. В результате получается два семейства поверхностей, которые пересекаются под углом 2ω

$$\omega = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} = \frac{\pi}{2} - \varepsilon \quad (2.3)$$

Если, следуя работе, принять, что вокруг выработки максимальное главное напряжение δ_1 действует в плоскости поперечного сечения выработки вдоль ее контура, минимальное δ_3 – нормально к контуру, а среднее δ_2 – перпендикулярно к плоскости сечения выработки (рис. 2.3), то можно ожидать, что линии скольжения будут наклонены к контуру выработки под углом - ε

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}, \text{град} \quad (2.4)$$

Имея эту информацию, в результате опытов получены следующие зависимости:

$$\varepsilon = \text{arctg} \cdot 2h_{\text{обр}}/B_{\text{обр}} \quad (2.5)$$

$$\rho = \frac{\pi}{2} - 2\varepsilon, \quad (2.6)$$

$$\varphi_{\text{ср}} - \rho = \text{arctg} \leftarrow f_{\text{ср}} - \rho \quad (2.7)$$

где $\varphi_{\text{ср}}$ – средняя величина «кажущегося» угла внутреннего трения, $f_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента крепости пород.

Анализ теоретических исследований и данных экспериментов позволяет установить следующее:

- отношение размеров полупролета возможных обрушений пород к их высоте в кровле и стенах выработки, а также между установленными анкерами одинаковы по своей величине, а сами обрушения ограничиваются поверхностями скольжения (сдвига) пород, наклоненными под одинаковыми углами к контуру выработки:

- угол внутреннего трения пород ρ меньше «кажущегося» угла внутреннего трения Υ примерно на 45° , т.е.

$$\rho \approx \text{arc tg } f, \text{ град}; \quad (2.8)$$

- высота возможных обрушений в выработках, пройденных в породах, находящихся в предельном состоянии может быть определена из зависимостей:

$$h_{\text{обр}} = \frac{B}{2} \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right), \text{ м} \quad (2.9)$$

для выработок с неустойчивыми породами в стенках

$$h_{\text{обр}} = \left[\frac{b}{2} + h \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right) \right] \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right), \text{ м} \quad (2.10)$$

где h и b высота и ширина выработки, м.

а) сводчатая выработка

б) выработка с плоской кровлей

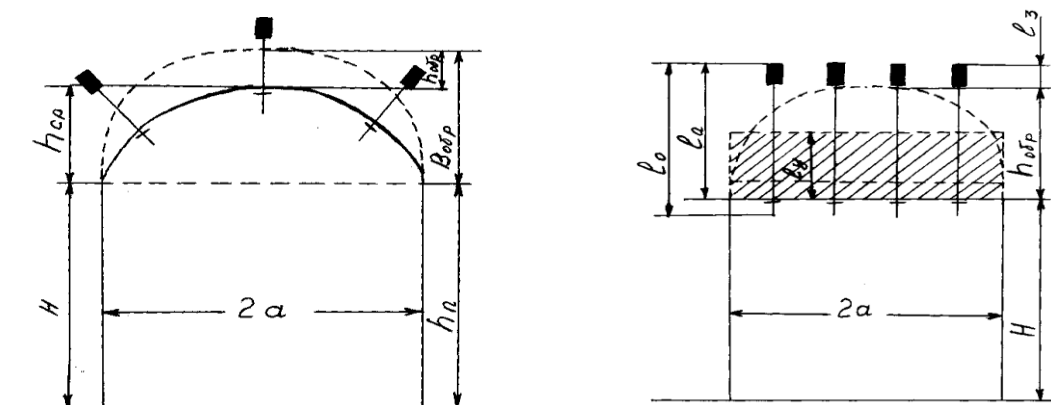


Рис. 2.3- Схема для расчета параметров анкерной крепи

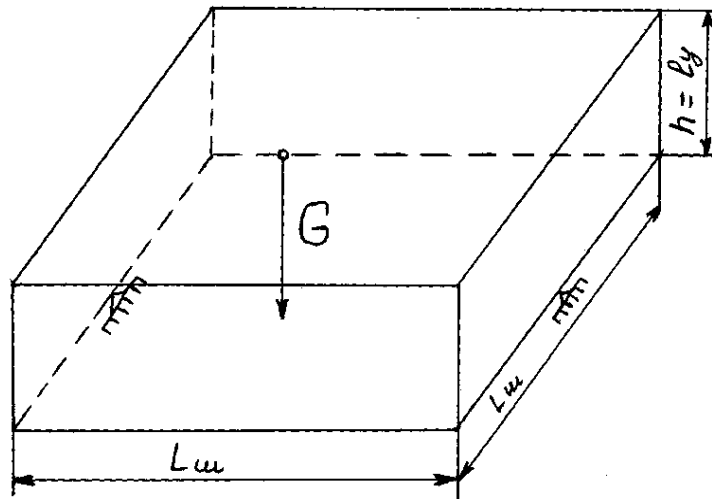


Рис.2.4- Расчетная схема отдельного блока

В практике горного дела принято определять размеры возможного обрушения пород по расчетной схеме профессора М.М. Протодьяконова [30]

$$B_{\text{обр}} = \frac{a}{f \cdot \eta} \quad (2.11)$$

где $2a = B$ - пролет выработки, м: η – дополнительно введенный в расчетную схему коэффициент структурного ослабления породного массива, применяется по методике ЛГИ и ВНИМИ равным 0,4-0,9.

Тогда глубину зоны возможного обрушения пород можно определять как

$$h_{\text{обр}} = b - h_{\text{ср}} = \frac{a}{f \zeta} - h_{\text{ср}}, \text{ м}, \quad (2.12)$$

где $h_{\text{ср}}$ - расчетная высота подъема свода выработки, которая в выработках с полоской кровлей равна нулю (см.рис.2.2).

Далее по найденному значению $h_{\text{обр}}$ - можно определить плотность расстановки штанг ($\text{I}/\text{м}^2$) в кровле выработки:

$$h = (h_{\text{обр}} \cdot \gamma K_{\text{п}}) / F, \quad (2.13)$$

где γ - удельный вес породы кровли в пределах возможного обрушения, $\text{H}/\text{м}^3$; $K_{\text{п}}$ -коэффициент перегрузки ($K_{\text{п}} = 1,2$); F - расчетная несущая способность анкера, H .

Расстояние между анкерами составит

$$L_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{F}{h_{\text{обр}} \gamma K_{\text{п}}}}, \text{ м} \quad (2.14)$$

Анализируя существующие теории и методики определения параметров анкерной крепи, можно прийти к выводу, что использование гидрораспорных трубчатых анкеров дает возможность снизить активную длину анкера и увеличить сетку установки анкеров за счет расклинивания растресканных пород между собой.

Квадратную сетку анкеров (рис.2.4) можно рассматривать как четыре опоры, в середине которых висит балка породы квадратной формы. Основанием для использования такой гипотезы является тот фактор, что эти анкера, сжимая с четырех сторон расклинивают растресканные породы, тем самым приводя их в монолитное состояние. С другой стороны, каждый анкер взаимодействует, таким образом, с четырьмя балками одновременно, т.е. его несущая способность делится на четыре. В то же время, если учесть, что на пачку приходится по четыре анкера, то в среднем на один анкер приходится по пачке.

При определении расстояния между анкерами по формуле 2.14 исходят из того, что эти пачки висят на анкерах и несущая способность анкера должна быть больше нагрузки от этой пачки. А в нашем случае, эта пачка сама несет часть нагрузки являясь одноцелым- квадратная балка, опирающаяся на анкера. В этом случае, сечение балки $S = L_{ш}h$, где $L_{ш}$ - расстояние между анкерами, $h = l_y$ - толщина несущей породной плиты (см.рис.2.3). Она определяется как

$$l_y = \frac{B}{\sqrt{\frac{3(\delta_{сж.р}\delta_x)}{2 \rho K_3}}} + f_0, \text{ м}, \quad (2.15)$$

где $\delta_{сж.р}$ - расчетное сопротивление пород при одноосном сжатии, Н/см²; $\delta_{сж.р} = \delta_{сж}q\zeta$, где $\delta_{сж}$ - предел прочности пород при одноосном сжатии, Н/см²; q - коэффициент ползучести пород; ζ - коэффициент структурного ослабления породы; δ_x - горизонтальные сжимающие напряжения в массиве пород, Н/см²;

$$\delta_x = \lambda\gamma'N, \quad (2.16)$$

где λ - коэффициент бокового распора, равный 0,3-0,4; γ' - средневзвешенный удельный вес пород до поверхности, Н/см³; N - глубина заложения выработки, м; $P = h_{обр}\gamma$ - давление пород, заключенных в своде обрушения, Н/см²; K_3 - коэффициент запаса; $f_0=0,01$ В прогиб укрепленной анкерами кровли выработки, м.

Тогда момент сопротивления рассматриваемой балки (рис.2.4) будет

$$W = \frac{L_{ш}h^2}{6}, \text{ см}^3 \quad (2.17)$$

Максимальный изгибающий момент такой балки в опасном сечении $M_{из} = \frac{PL_{ш}}{4}$. С другой стороны $M_{из} = \delta_{сж}W$. Из этих соотношений возможно определить силу G , которую выдерживает рассматриваемая балка

$$\frac{GL_{ш}}{4} = \delta_{сж.р}W, \quad G = \frac{4\delta_{сж.р}}{L_{ш}}, \quad W = \frac{4\delta_{сж.р}}{L_{ш}} \cdot \frac{L_{ш}h^2}{6} = \frac{2}{3}\delta_{сж.р} \cdot h_{обр}^2, \text{ Н} \quad (2.18)$$

Таким образом, сила приходящаяся на анкер уменьшается на величину G . Тогда несущая способность анкера по нагрузке должна быть

$$F_{л} = F - G = L_{ш}^2 h_{обр} \gamma K_{\Gamma} - \frac{2}{3} \delta h_{обр}^2, \text{ Н}, \quad (2.19)$$

что позволяет увеличить шаг анкера на величину

$$L_{ш} = \sqrt{\frac{F+G}{h_{обp} \gamma K_{Г}}}, \text{ м} \quad (2.20)$$

по сравнению с величиной, рассчитанной по формуле (2.14).

2.2 Модель системы «Анкер-вмещающие породы»

Изложенное выше показывает, что базируясь на предложенных ранее воззрениях совместной работы анкера с вмещающими породами, невозможно с достаточной полнотой отразить особенности работы трубчатых гидрораспорных анкеров. Поэтому нами проведены исследования, которые позволили предложить следующую модель этого процесса [31].

Сечение анкера (рис. 2.5 а) представляет собой симметричный замкнутый контур сложного очертания, нагруженный симметричной равномерно распределенной нагрузкой. Для упрощения расчетов заменяем каплевидную, компенсационную петлю в сечении анкера прямолинейными радиально расположенными участками, нагруженными распределенными нагрузками. Так как рассматривается плоская задача, то решение получим для кольца анкера с длиной образующей «в». Тогда, распределенная нагрузка для расчетной схемы равна

$$q = Pb, \quad (2.21)$$

где P- давление жидкости в полости анкера, МПа.

Полученная расчетная схема (рис.2.5) представляет из себя три раза статически неопределенную раму. Используя свойства симметрии разрежем раму как показано на рисунке. При этом кососимметрический фактор X_1 обращается в ноль. Очевидно развитие пластических деформаций по всему сечению трубы начнется при внутреннем давлении. Для определения условий наступления пластических деформаций необходимо получить зависимость изменения диаметра ΔD от q , предварительно раскрыв статическую неопределенность. Определим неизвестные X_1 и X_2 методом сил решив систему канонических уравнений:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_1q = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_2q = 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

Коэффициенты канонических уравнений определим с помощью интегралов Мора [32]. Пренебрегая деформациями неколецевой части сечения анкера, перенесем нагрузки приложенные к ним в точки А и В. Тогда основная (рис. 2.5в) и эквивалентная (рис. 2.5б) системы представляется в виде разрезанного кольца, загруженного кроме распределенной нагрузки неизвестными X'_1 - нормальной силой и X_1 – моментом, равным сумме изгибающего момента X_2 – и момента $X_1 \cdot h$ (рис.2.5).

Запишем выражения грузового M_q - и единичных \overline{M}_1 и \overline{M}_2 моментов для основной системы, а интегрирование при вычислении коэффициентов выполним только для половины ввиду симметрии кольца и нагрузок относительно вертикального диаметра [33,34]

$$M_{q(1)} = q_{xi} \cdot \frac{x_1}{2};$$

$$M_{q(2)} = qhR(1 - \cos \varphi) + \frac{qh^2}{2} + \int_0^\varphi qR^2 \sin \alpha \cdot d\alpha$$

Принимаем $h = R$. Тогда

$$M_{q(2)} = -qR^2(1 - \cos \varphi) + \frac{qR^2}{2} + qR^2(-\cos \varphi) \int_0^\varphi = qR^2(-1 + \cos \varphi + 0,5 - \cos \varphi + 1) = 0,5 \cdot qR^2;$$

$$\overline{M}_I(x_1) = -1X_1$$

$$\overline{M}_I(x_2) = -1h + R(1 + \cos \varphi) = R(-1 + 1 - \cos \varphi) = -R \cos \varphi$$

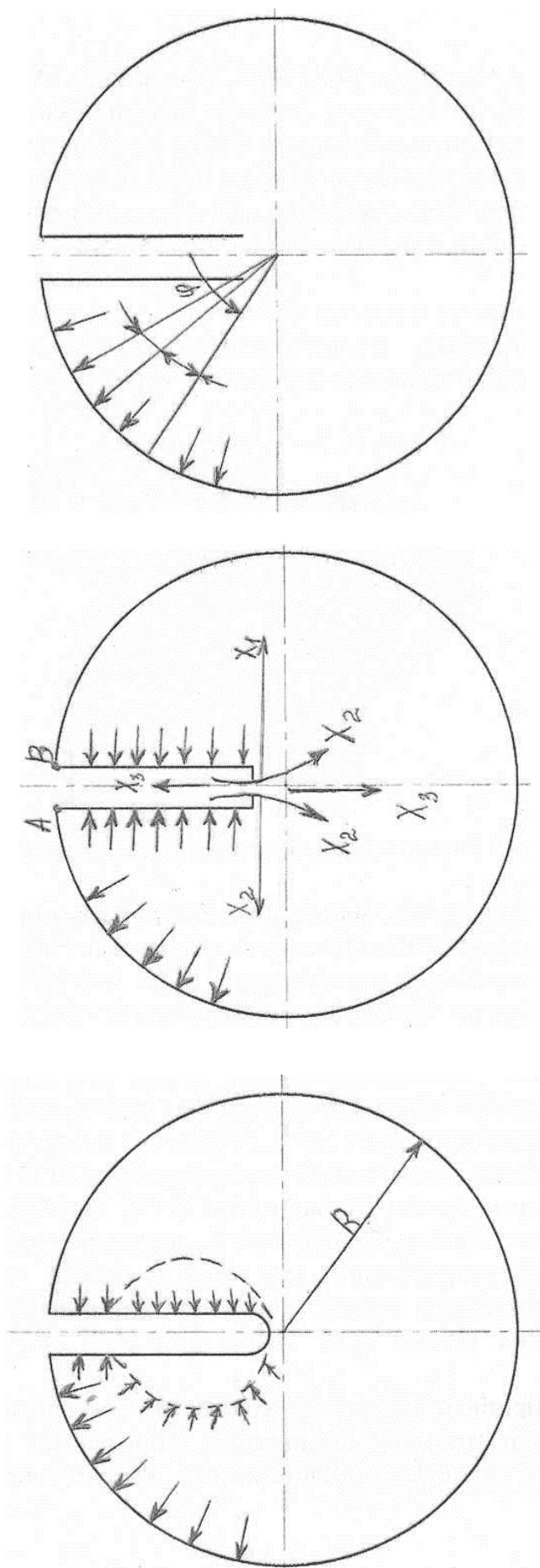
$$\overline{M}_2(x_1) = -1; \quad \overline{M}_2(x_2) = -1$$

$$\begin{aligned} \delta_{1p} &= \sum \int_e \frac{M_{q_i} \overline{M}_i dx}{EJ} = \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R M_{q(1)} \cdot \overline{M}_1(x_1) dx_1 + \int_e M_{q(2)} \overline{M}_1(x_2) dx_2 \right] = \\ &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R \frac{qx_1^2}{2} (-x_1) dx_1 + \int_0^\pi \left(\frac{3qR^2}{2} \right) \cdot (-R \cos \varphi) R d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} \left(-\frac{qR^4}{8} + \right. \\ & \left. \int_0^\pi \frac{3qR^4}{2} \cos d\varphi \right) = \frac{2qR^4}{EJ} \left(-\frac{1}{8} + \frac{3}{2} \int_0^\pi \cos d\varphi \right) = \frac{2qR^4}{EJ} \left[-\frac{1}{8} + \frac{3}{2} (\sin \varphi \int_0^\pi) \right] = \\ &= \frac{2qR^4}{EJ} \left[-\frac{1}{8} + \frac{3}{2} (\sin \pi - \sin 0) \right] = -\frac{qR^4}{4EJ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{2p} &= \sum \int_e \frac{M_{(q)} \overline{M}_2 dx_2}{EJ} = \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R M_{q(1)} \cdot \overline{M}_2(x_1) dx_1 + \int_{e2} M_{q(2)} \cdot \right. \\ & \left. \overline{M}_2(x_2) dx_2 \right] = \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R \frac{qx_1^2}{2} (-1) dx_1 + \int_0^\pi \left(+\frac{qR^2}{2} \right) \cdot (-1) R d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} \left(-\frac{qR^3}{6} - \right. \\ & \left. \frac{qR^3}{2} \int_0^\pi d\varphi \right) = \frac{2qR^3}{2EJ} \left(-\frac{1}{3} - \int_0^\pi d\varphi \right) = \frac{qR^3}{3EJ} [-1 - 3(\pi - 0)] = \frac{qR^3(3\pi+1)}{3EJ} = \\ &= \frac{qR^3}{3EJ} (1 + 3\pi); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{2}{EJ} \left[\int_e M_1(x_1) \cdot M_1(x_1) dx_1 + \int_{e2} M_1(x_2) \cdot M_1(x_2) dx \right] = \\ &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R (-x_1)(-x_1) dx_1 + \int_0^\pi (-R \cos \varphi)(-R \cos \varphi) R d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} \left(\frac{R^3}{3} - \right. \\ & \left. R^3 \int_0^\pi \cos^2 \varphi d\varphi \right) = \frac{qR^3}{3EJ} \left[1 + 3 \left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{2} \right) \int_0^\pi \right] = \frac{2qR^3}{3EJ} \left[1 + 3 \left(\frac{\pi}{2} \right) \right] = \\ &= \frac{2R^3}{3EJ} \left(1 + \frac{3\pi}{2} \right) = \frac{2R^3}{3EJ} (2 + 3\pi); \end{aligned}$$

(2.23)



в) основная система

б) эквивалентная система

а) расчетная схема

Рис.2.5 - Расчетная схема работы гидрораспределительного анкера

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= \frac{2}{EJ} \left[\int_{e_1} \overline{M}_2(x_2) \cdot \overline{M}_2(x_1) + \int_{e_2} \overline{M}_2(x_2) \cdot \overline{M}_2(x_2) dx_2 \right] = \\ &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R (-1)(-1) dx_1 + \int_0^\pi (-1)(-1) R d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R (R+R) \int_0^\pi d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} (1+\pi); \\ [\delta_{12} = \delta_{21}] &= \frac{2}{EJ} \left[\int_{e_1} \overline{M}_1(x_1) \cdot \overline{M}_2(x_1) dx_1 + \int_{e_2} \overline{M}_1(x_2) \cdot \overline{M}_2(x_2) dx_2 \right] = \\ &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^R (-1x_1)(-1) dx_1 + \int_0^\pi (-R \cos \varphi)(-1) R d\varphi \right] = \frac{2}{EJ} \left(\frac{R^2}{2} - R^2 \int_0^\pi \cos \varphi d\varphi \right) = \\ &= \frac{2}{EJ} \left(\frac{1}{2} - [\sin \varphi] \int_0^\pi \right) = \frac{R^2}{EJ}; \end{aligned} \quad (2.24)$$

Система канонических уравнений (2.24) примет такой вид:

$$\begin{cases} \frac{R^3(2+3\pi)}{EJ} \cdot x_1 + \frac{R^2}{EJ} x_2 - \frac{qR^4}{4EJ} = 0 \\ \frac{R^2}{EJ} \cdot x_1 + \frac{2R^2(1-\pi)}{EJ} \cdot x_2 - \frac{qR^3(1-3\pi)}{3EJ} = 0 \end{cases} \quad (2.25)$$

Решим систему относительно x_1 и x_2

$$\begin{cases} 3,8R^3 x_1 + R^2 x_2 - 0,25 \cdot qR^4 = 0 \\ R^2 x_1 + 8,28R x_2 - 3,47qR^3 = 0 \end{cases} \quad (2.26)$$

$$\begin{cases} 3,8R^3 x_1 + R^2 x_2 - 0,25 \cdot qR^4 = 0 \\ R^2 x_1 + 8,28R x_2 - 3,47qR^3 = 0 \\ -30,46R^2 + 12,94qR^4 = 0 \\ x_2 = 0,42qR^2 \\ x_1 = 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

Раскрыв статическую неопределенность исследуем картину деформирования заготовки трубы анкера при ее «раскрытии» до контакта со стенкой шпура.

«Раскрытие» произойдет при увеличении диаметра заготовки трубы анкера d_T до диаметра шпура $d_{ш}$.

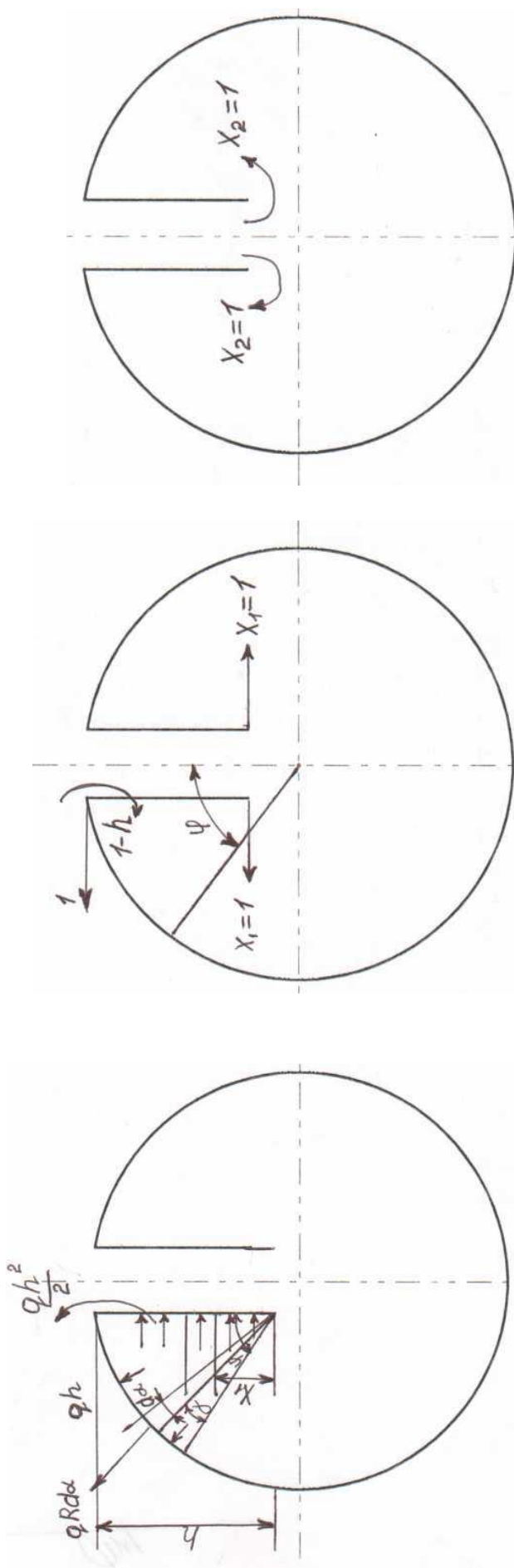
$$\Delta D = d_T - d_{ш} \quad (2.28)$$

Увеличение диаметра трубы зависит от внутреннего давления распорной жидкости и упругих и пластических свойств материала трубы, что в свою очередь зависит от напряжений в материале трубы.

Для получения зависимости $\Delta D = f(q)$ загрузим основную систему (рис.2.5в) найденными силой $X_1 = 0$ и момента X_2 . Перемещение двух точек окружности анкера А и В определим с помощью интеграла Морю, приложив в этих точек единичные силы (рис. 2.7)

$$\delta_{AB} = \int_e \frac{M_{гр} \cdot \overline{M}}{EJ} dx \quad (2.29)$$

Интегрирование выполним на криволинейном участке трубы анкера, т.к. на прямолинейном участке $\overline{M} = 0$.



а) грузовое состояние

б) I единичное состояние

в) II единичное состояние

Рис.2.6 - Расчетные схемы состояния гидрораспорного грубчатого анкера

В выражение M_{cp} войдут моменты от внутреннего давления и от сил найденных при раскрытии статической неопределенности

(I)

$$M_{гр} = 0$$

(II)

$$M_{гр} = 0,42qR^2 \quad (2.30)$$

$$M_{гр} = \frac{qR^2}{2} + 0,42R^2 = 0,92qR^2$$

Момент от единичной силы

$$\bar{M} = +1(R - R \cos \varphi) = R(1 - \cos \varphi) \quad (2.31)$$

Интегрируя (2.29) получим

$$\delta_{AB} = \int_{e/2} \frac{M_{cp} \cdot \bar{M}}{EJ} dx = \frac{2}{EJ} \int_0^\pi qR^2 \cdot 0,92 \cdot R (1 - \cos \varphi) R dy = \frac{1,84}{EJ} qR^4 \int_0^\pi (1 - \cos \varphi) dy = \frac{1,84}{EJ} qR^4 (\pi - \sin \varphi \int_0^\pi) = \frac{5,18qR^4}{EJ}; \quad (2.32)$$

при $\sin \varphi = 0$

изменение диаметра трубы анкера ΔD связано с перемещением δ_{AB} зависимостью

$$\Delta D = \frac{\delta_{AB}}{\pi} = \frac{1,84qR^4}{EJ}$$

Выразим ΔD через геометрические размеры трубы анкера

$$\Delta D = \frac{2,2 \cdot P \cdot R^4}{E \cdot t^3}$$

где P- давление жидкости в полости трубы, кгс/см²; R- радиус цилиндрической части заготовки анкера, см; t- толщина трубы, см; J-момент инерции сечения элементарного кольца анкерной трубы, см; E- модуль упругости первого ряда материала трубы, см/кгс.

Для контроля правильности полученных зависимостей (2.33 и 2.34) вычислим изменения диаметра ΔD другим решением, отличным от предыдущего тем, что единичные силы приложим в диаметрально расположенных точках трубы C и D (рис.2.7.б). Тогда момент от единичной силы равен $\bar{M} = 1 \cdot R \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right)$, а интеграл Морю запишется так

$$\begin{aligned} \Delta D = \delta_{e0} &= 2 \int_{\pi/2}^\pi \frac{M_{cp} - \bar{M} dx}{EJ} = \frac{2}{EJ} \int_0^\pi 0,92 \cdot qR^2 \cdot R \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) R dy \\ &= \frac{1,84qR^4}{EJ} \int_{\pi/2}^\pi \left(\sin \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{2} - \cos \varphi \cdot \sin \frac{\pi}{2} \right) dy \\ &= -\frac{1,84qR^4}{EJ} \int_{\pi/4}^\pi \cos \varphi dy = \frac{1,84qR^4}{EJ} \end{aligned}$$

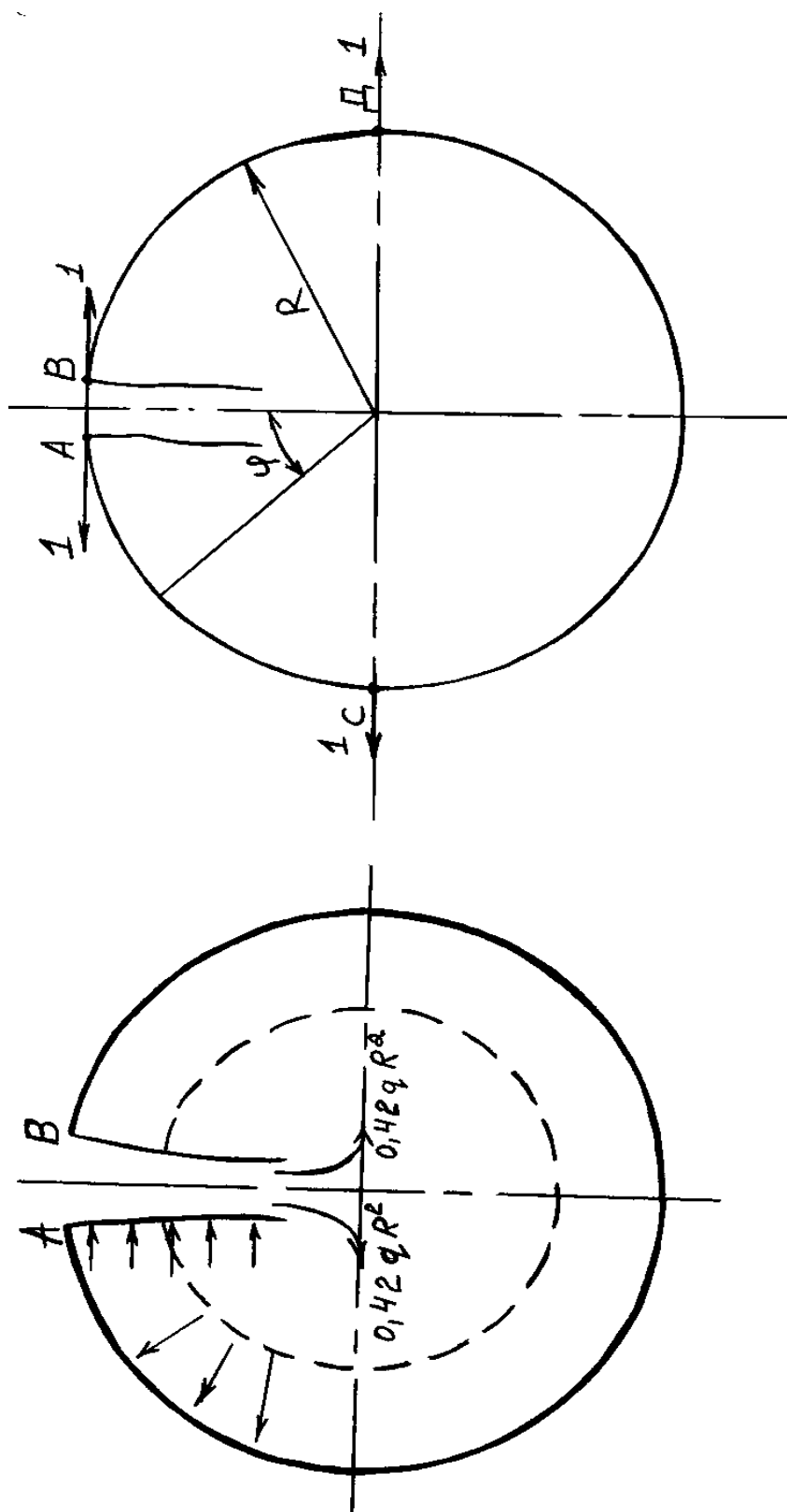


Рис.2.7 - Расчетная схема для определения зависимости $\Delta D = f(\varphi)$

Аналогичный результат получен предыдущим решением (2.33) напряжения в сечении кольца анкера в момент полного раскрытия трубы и определяется по формуле

$$\delta_{кр} = \frac{M_{изг}}{W} = \frac{M_{изг}}{bt_{3/6}}, \quad (2.34)$$

где $M_{изг}$ - изгибающий момент в сечении кольца $M_{изг} = M_{2p} = 0,92qR^2$.

В момент полного «раскрытия» изгибающий момент станет равным

$$M_{изг} = 0,92q_{кр}R^2, \quad (2.37)$$

где $q_{кр}$ - критическая нагрузка «раскрытия» соответствующая критическому давлению.

$$q_{кр} = P_{кр} \cdot b, \quad (2.38)$$

а напряжение

$$\delta_{кр} = \frac{0,92P_{кр} \cdot bR^2}{bt^2} = \frac{5,5P_{кр}R^2}{t^2} \quad (2.39)$$

Значение напряжения зависит от давления $P_{кр}$, которое в свою очередь связано с

$$\Delta D = R_{ун} - R_{тр}, \quad (2.40)$$

где $R_{ун}$ - радиус шпура.

Подставим в выражение ΔD (2.40) соответствующие значения.

Тогда

$$q = P_{кр} \cdot b; \quad R_{ун} = R \frac{1,84P_{кр}R^2}{E \frac{bt^3}{12}}$$

или

$$R \left(\frac{R_{ун}}{R} - 1 \right) = \frac{22P_{кр}R^4}{Et^3}$$

Отношение $R_{ун}/R$ обозначим α и получим зависимость критического давления от геометрических размеров шпура и трубы.

$$P_{кр} = \frac{(\alpha - 1)Et^3}{22R^3} = \frac{(\alpha - 1)Et^3}{2,75D^3} = \frac{0,36(\alpha - 1)Et^3}{D^3} = \frac{0,72 \cdot 10^6(\alpha - 1)t^3}{D^3}$$

Заменив $t/D = \varphi$, получим

$$P_{кр} = 0,072 \cdot 10^6(\alpha - 1)\beta^3, \text{ МПа} \quad (2.43)$$

при $E = 0,2 \cdot 10^6 \text{ МПа}$.

При наступлении пластических деформаций напряжения становятся равными пределу текучести δ_T и тогда

$$\delta_{кр} = \frac{5,5P_{кр} \cdot R^2}{t^2} > \delta_T \quad (2.44)$$

а давление жидкости при котором начинаются развиваться пластические деформации определится выражением

$$P_{тек} \geq \frac{\delta_T t^2}{5,5 \cdot R^2} \quad (2.45)$$

При этом значении $P_{тек}$ пластические деформации возникают только в точках расположенных у внутренней и внешней поверхностей трубы.

Дальнейшее развитие пластических деформаций уже не связано с изгибными напряжениями и механизм взаимодействия трубы анкера с породой рассмотрим на другой расчетной схеме.

Для рассмотрения условий совместной работы анкера породы после «раскрытия» трубы воспользуемся основными уравнениями исследования напряженного и деформированного состояния толстостенных составных труб [34]. Нами представляется следующая модель исследования (рис.2.8):

- внутренней трубой является анкер, нагруженный изнутри давлением рабочей жидкости;
- массив породы со шпуром является внешней трубой с бесконечно большой толщиной стенки.

В данной модели не учитывается наличие компенсационной петли, т.к. ее влияние на напряженное и деформированное состояние материала анкера существенно только до момента «раскрытия» трубы анкера. Не учитывается в представленной модели и зона влияния краевого защемления у торца анкера. Это влияние распространяется на участке трубы длиной $2,727\sqrt{Rt}$, что для анкера составляет примерно 25 мм, а учитывая наличие плавного перехода от торца анкера к его цилиндрической части эта зона существенно уменьшается, что позволяет применить безмоментную теорию для исследования напряжений и деформаций трубы анкера.

Известные решения расчета составных труб [35] исключают появление пластических деформаций в сечениях труб, что является необходимым условием надежного распора анкера в шпуре, которое можно получить из условия совместности деформации трубы анкера.

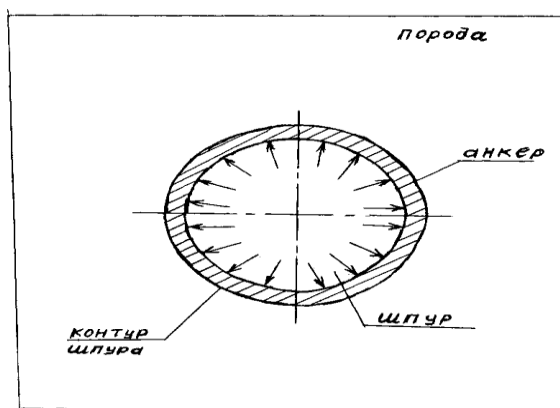


Рис.2.8 - Модель для исследования напряженного состояния стенок шпура

ε_{mp} и породы шпура $\varepsilon_{ш}$ в окружном направлении.

$$\varepsilon_{mp} = \varepsilon_{ш} \quad (2.46)$$

Относительная окружная деформация анкера запишется по обобщенному закону Гука, как

$$\varepsilon_{mp} = \frac{1}{E_c} [\delta_t - \mu(\delta_r + \delta_z)], \quad (2.47)$$

где E_c , μ - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона для стали; δ_t -окружные нормальные напряжения; δ_r -радиальные нормальные напряжения; δ_z -осевые нормальные напряжения.

Учитывая значительную длину анкера и существенно меньший диаметр трубы можно принять $\delta_z = 0$.

Окружное нормальное δ_t и радиальное δ_r напряжения выразим через давление в полости анкера «P» и внешнее давление контакта « P_k » со стенкой шпура (рис.2.9), решая задачу Ламе получим [31]

$$\delta_t^r = \frac{P_a a^2 - P_b b^2}{b^2 - a^2} \mp \frac{a^2 b^2}{r^2} \cdot \frac{P_a - P_b}{b^2 - a^2}, \quad (2.48)$$

где P_a - давление в полости анкера; P_b - давление на поверхности контакта со стенкой шпура; a, b- соответственно внутренний и внешний радиусы трубы.

Принимая: $d = (R - t)$, где t - толщина стенки трубы анкера, а $b = R$, где R - радиус шпура, получим напряжения у наружной поверхности трубы анкера

$$\delta_t^r = \frac{P(R-t)^2 - P_k R^2}{R^2 - (R-t)^2} \mp \frac{(R-t)^2 R^2}{R^2} \cdot \frac{P - P_k}{R^2 - (R-t)^2}, \quad (2.49)$$

Выполним необходимые преобразования и учитывая, что R/t много

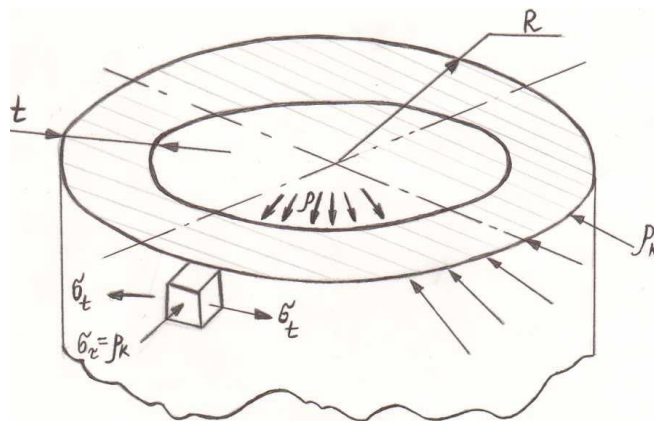


Рис.2.9 а Напряженное состояние трубы анкера

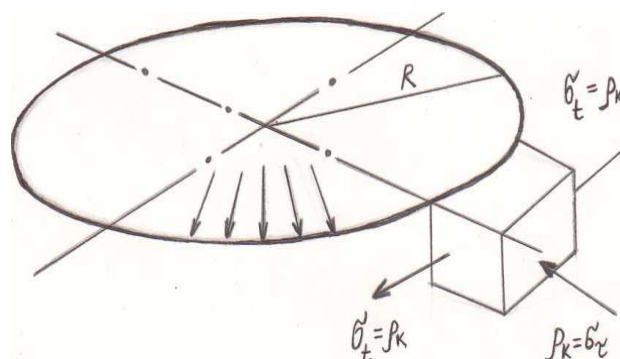


Рис. 2.9 б - Напряженное состояние стенки шпура

больше единицы получим

$$\delta_\tau = -P_k; \delta_t = \frac{R}{t}(P - P_k) \quad (2.50)$$

Подставляя выражения напряжений δ_τ и δ_t из уравнения (2.50) в уравнение (2.47) получим

$$\varepsilon_{mp} = \frac{1}{E_c} \left[\frac{R}{t}(P - P_k) + \mu \cdot P_k \right], \quad (2.51)$$

Решая задачу Ламе (уравнение 2.48) для шпура и полагая $b \rightarrow \infty$ получим

$$\delta_\tau^n = -P_k; \quad \delta_\tau^n = P_k \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \quad (2.52)$$

Переходя в выражении δ_t к пределу отношения, окончательно получим

$$\delta_\tau^n = P_k \left[\lim_{b \rightarrow \infty} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \right) \right] \div \frac{b^2}{b^2} = P_k \quad (2.53)$$

Запишем выражение относительной окружной деформации для породы стенки шпура по закону Гука, используя выражение (2.47)

$$E_{un} = \frac{1}{E_n} [\delta_\tau^n - \mu_n (\delta_\tau^n)] = \frac{1}{E_n} (P_k \cdot \mu_n \cdot P_k), \quad (2.54)$$

Установлена исследованиям и зависимость между P_k и P

$$\frac{1}{E_{cm}} \left[\frac{R}{t}(P - P_k) + \mu_c \cdot P_k \right] = \frac{1}{E_n} \cdot (P_k + \mu_n P_k) \quad (2.55)$$

Решая уравнение (2.55) относительно P_k получим

$$P_k = \frac{P \cdot \frac{R}{t} \cdot \frac{1}{E_c}}{\frac{1 + \mu_n}{E_n} + \frac{R - \mu_c}{E_c}} \quad (2.56)$$

Таким образом, получив зависимость контактного давления на поверхности анкера от рабочего давления жидкости в полости анкера, появляется возможность связать условия наступления пластических деформаций с рабочим давлением жидкости P .

Применяя критерий пластичности по третьей гипотезе пластическая деформация в материале анкера наступит при

$$\delta_1 - \delta_3 \geq \delta_T, \quad (2.57)$$

где δ_1 - первое главное напряжение; δ_3 - третье главное напряжение; δ_T - предел текучести материала анкера.

В наших обозначениях главные напряжения равны

$$\delta_1 = \delta_T = \frac{R}{t}(P - P_k); \delta_3 = \delta_\tau = P_k,$$

тогда

$$P \cdot \frac{R}{t} \left[1 - \frac{\left(\frac{R}{t} - 1 \right) / E_c}{\frac{1 + \mu_n}{E_n} + \left(\frac{R}{t} - \mu_c \right) / E_c} \right] \geq \delta_T, \quad (2.58)$$

Решая уравнение относительно P получим возможность определить технологический параметр при возведении трубчатой анкерной крепи для различных горногеологических условий

$$P = \frac{\delta_t}{\frac{R}{t} \left[1 - \frac{\frac{R}{t} - 1/E_c}{\frac{(1+\mu_n)}{E_n} + (\frac{R}{t} - \mu_c)/E_c} \right]} \quad (2.59)$$

Анализ силовых условий взаимодействия анкера с породой позволяет определить необходимую длину анкера из условия невозникновения проскальзывания трубы по стенке шпура. Это условие выполняется до тех пор, пока осевая нагрузка на анкер P - меньше сил трения F , которые определяются по формуле:

$$F = f P_k \pi d_{ш} \cdot l_3, \text{ Н}, \quad (2.60)$$

где f - коэффициент трения скольжения стали по породе; P_k - давление на поверхности контакта трубы со стенкой шпура, длина части анкера, расположенная в основных ненарушенных породах (замковая часть); $d_{ш}$ - диаметр шпура под анкер.

Таким образом, установлена зависимость устойчивости трубчатого гидрораспорного анкера от основных влияющих факторов при работе системы «анкерная крепь- закрепляемый горный массив».

2.3 Технологические параметры системы «крепь-массив»

2.3.1 Исследование усилия расклинивания

Усилие расклинивания гидрораспорных трубчатых анкеров зависит от следующих факторов:

- давление воды внутри анкера при его установке;
- длины анкера;
- диаметра шпура, пробуренного под анкер;
- диаметра трубы, из которой сделан анкер;
- трещиноватости пород.

Расклинивание трещиноватых пород в пределах принятой сетки установки анкерной крепи может произойти только в промежутке [36]

$$t = d_{тр} - d_{ш}, \text{ м}, \quad (2.61)$$

где $d_{тр}$ - диаметр исходной трубы, м; $d_{ш}$ -диаметр шпура, м.

Это следует из условия, что анкер может раздуться максимально на величину $d_{тр}$. В то же время величина t действует в двух направлениях. Оданako, имея в виду, что в пределах принятой сетки установки анкерной крепи на пачку давят с двух сторон одинаково можно принять (рис.2.10)

$$\sum d_{тр} \leq t, \quad (2.62)$$

где $\sum d_{тр}$ - суммарный зазор трещин в пределах сетки.

Усилие расклинивания можно определить по формуле

$$F_p = 2\pi\tau L_{ан}P, \text{ Н}, \quad (2.63)$$

Как видно из формулы 2.63 в пределах t , усилие расклинивания F_p величина непостоянная и увеличивается по мере увеличения t (см. формулу 2.1). Причем, минимальное усилие F_{min} будет тогда, когда

$$r = r_{ш} - \Delta_{тр}, \text{ м,} \quad (2.64)$$

а максимальное усилие F_{pmax} - при

$$r = r_{тр} - \Delta_{тр}, \text{ м,} \quad (2.65)$$

где $r_{ш} = \frac{d_{ш}}{2}$ - радиус шпура; $r_{тр}$ - наружный радиус исходной трубы; $\Delta_{тр}$ - толщина стенки исходной трубы.

Усилия расклинивания у существующих анкеров, закрепляющихся по

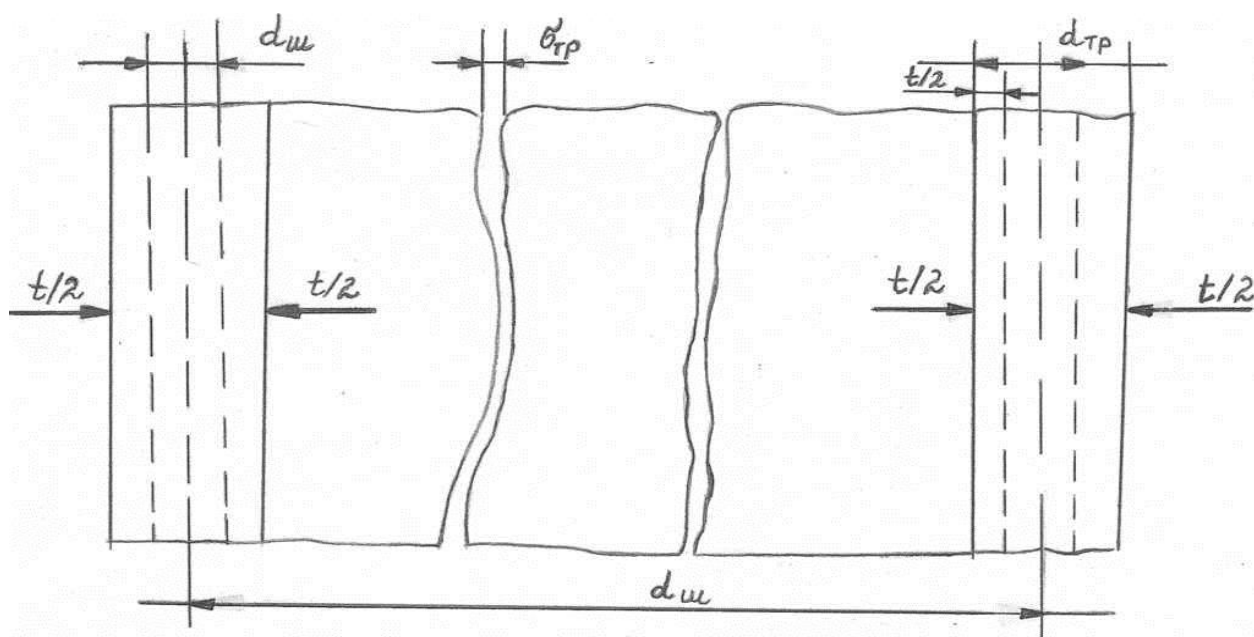


Рис.2.10 - Схема к расчету усилия расклинивания

где t - внутренний радиус анкера, м; $L_{ан}$ - длина анкера, м; P - установочное давление воды внутри анкера, Па.

всей длине шпура отсутствуют, а на замковых анкерах в относительно меньших величинах действуют на незначительной части шпура (в зоне контакта) и влияние на физические процессы крепления не оказывают. Они главным образом учитываются при определении несущей способности этих анкеров.

2.3.2 Исследования несущей способности

Основной составной частью анкера является его замок. Каждый замок имеет свою рабочую характеристику, зависящую от его конструкции, способа крепления и свойства пород. Поэтому следует ожидать, что

работоспособность этих конструкций в одних тех же условиях будет различной.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что из всей совокупности горно-геологических и производственных факторов, могущих оказать влияние на силовые характеристики анкеров с замковым креплением при кратковременных нагрузках, определяющими являются: конструкция замка анкера, смещение относительно шпура, крепость и трещиноватость пород в месте закрепления замка, параметры и форма шпуров и обводненность пород.

Основным недостатком, присущим большинству предлагаемых расчетных методов, являются допущения, вызванные недостаточной изученностью механизма взаимодействия крепи с горными породами на контакте анкера с поверхностью шпура.

Несущая способность анкеров, работающих на растяжение, определяется прочностью закрепления или взрывным усилием стержня и принимается в расчетах эксплуатационных параметров крепи горных выработок по наименьшему значению.

2.3.3 Несущая способность гидрораспорных трубчатых анкеров

Гидрораспорные трубчатые анкера распространились относительно недавно, в связи с чем их работа недостаточно исследована. Не разработаны и расчетные методы определения их несущей способности. Проведенные исследования позволили разработать неразрушающий способ определения несущей способности трубчатых анкеров. По этой методике предложена расчетная формула определения несущей способности гидрораспорных трубчатых анкеров. Согласно ей несущая способность гидрораспорных анкеров $F_{г.а.}$ может быть рассчитана по зависимости [36]

$$F_{г.а.} = N f_{тр}, \text{ Н}, \quad (2.66)$$

где $f_{тр.}$ - коэффициент трения материала анкера с породой (со стенкой шпура); N - реакция со стороны породы к силе распора анкера, которая определяется из зависимости

$$N = k \mu \pi d_M l_3 P, \text{ Н}, \quad (2.67)$$

где $k = \frac{d_{ш}}{d_{тр}}$ - коэффициент, учитывающий полноту контакта поверхностей анкера и шпура (здесь $d_{ш}$ и $d_{тр}$ - соответственно диаметры шпура и трубы, из которой сделан анкер), м; μ - коэффициент Пуассона (для стали $\mu = 0,24 \div$

0,28); l_3 - длина замковой части анкера, м; P - давление жидкости внутри анкера (установочное давление), Па.

Или окончательно

$$F_{г.а.} = k\mu p d_{ш} l_3 P f_{тр}, \text{ Н} \quad (2.68)$$

В зависимости (2.68) используется для расчетов величина давления жидкости внутри анкера, а не давление P_k на поверхности контакта трубы со стенкой шпура, как это предусмотрено в формуле (2.60). Это связано с тем, что практически невозможно с высокой степенью достоверности определить величину P_k , в то время, как установочное давление жидкости есть стабильная и определенная величина. Кроме того, учитывая, что на практике труба профилированного анкера полностью не раскрывается, значение несущей способности анкера должно определяться с учетом поправки введением коэффициента k , учитывающего полноту контакта поверхностей анкера и шпура.

Представленная зависимость хорошо коррелирует с зависимостью полученной в результате теоретических исследований, представленных в настоящей диссертации.

Достоверность данной формулы подтверждена результатами экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

В лабораторных условиях испытания проводились на стенде в металлическом имитаторе шпура (рис.2.11) диаметром 40 мм и на гранитном блоке.

Испытания производились в следующей последовательности. Имитатор шпура устанавливался на стеллаже в горизонтальном положении.

Изготавливались трубчатые анкеры из труб различной марки стали диаметрами 40 и 50 мм, рабочей длиной 300 и 400 мм. На цилиндрическую часть анкера одевались различной конструкции установочные патроны.



Рис. 2.11 - Стенд с металлическим имитатором шпура

Анкер вместе с установочным патроном вводился в имитатор шпура. К последнему подсоединялись рукав от агрегата высокого давления.

При включении агрегата высокого давления вода подавалась во внутрь анкера, при этом фиксировались показания манометра на нагнетательной магистрали. При достижении давления воды внутри анкера 20 МПа агрегат выключался и вода сливалась из анкера посредством переключения на агрегате. После установки анкера в имитатор шпура с цилиндрической части снимался установочный патрон и взамен его надевался захват. К захвату подсоединялся прибор контроля анкерной крепи ПКА. Характеристика прибора ПКА приведена в табл. 2.1, а его тарировочный график представлен на рис. 2.12.

Таблица 2.2 - Техническая характеристика прибора ПКА

Параметры	Значения
Максимальное тяговое усилие	110
Максимальный ход винта	0,14
Площадь кольцевого плунжера	0,0043
Максимальное рабочее давление	25
Габаритные размеры:	
длина	0,315
ширина	0,132
высота	0,105
Масса без шаровой опоры	6,5
Масса основного оборудования и инструмента, кг	10,4

Несущая способность анкера определялась по показаниям манометра установленного на ПКА из зависимости

$$F_{т.а.} = PS, \text{ Н}, \quad (2.69)$$

где P- максимальное давление фиксируемое по показанию манометра, Па; S- площадь поперечного сечения кольцевого плунжера ПКА, м².

Данные усилия извлечения анкера из имитатора шпура и расчетная способность приведены в таблице 2.2 а их графическая интерпретация представлена на рис.2.13.

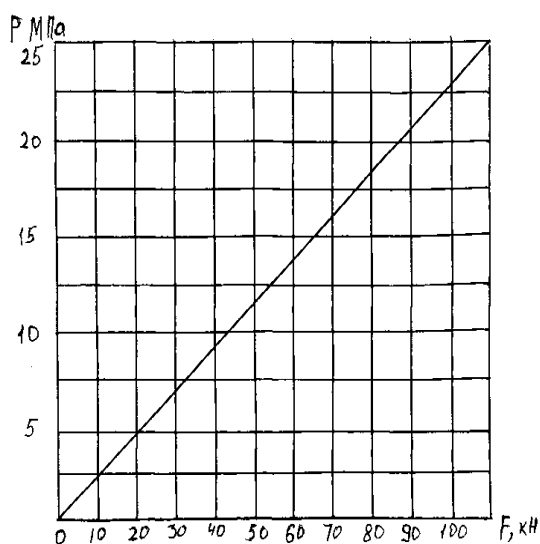


Рис.2.12 - Тарировочный график прибора ПКА

Таблица 2.3 - Результаты лабораторных испытаний по определению усилия извлечения анкера из имитатора шпура и расчетная несущая способность

Диаметр трубы, мм	Марка стали трубы	Длина замка, мм	Диаметр шпура, мм	Установочное давление МПа	Усилие извлечения из имитатора, кН	Усилие извлечения из гранита, кН	Расчетная несущая способность, кН
50	Ст 30	380	46	19,0	-	89	89,8
50	Ст 30	380	46	20,0	-	90	94
50	Ст 30	380	46	21,0	-	108	105
50	Ст 30	320	46	5,0	-	12	19
50	Ст 30	320	46	7,0	-	23	27
50	Ст 30	400	46	8,0	-	29,5	32
50	Ст 30	320	46	8,0	-	30	39
50	Ст 30	320	46	5,0	-	12	19
50	Ст 30	320	46	3,0	-	9	11
50	Ст 30	320	46	7,0	-	23	27
50	Ст 30	320	46	10,0	-	24	39
50	Ст 30	320	46	6,0	-	18	23
51	Ст 20	400	50	15,0	4,7	86	43
51	Ст 10	400	50	10,0	29,5	58	28
51	Ст 10	300	50	15,0	41	65	32
51	Ст 10	300	50	7,0	11	30	15
40	Ст 20	350	40	8,0	18	33	17
40	Ст 20	350	40	8,0	18	33	17
40	Ст 20	350	40	10,0	6	41	21

Продолжение таблицы 2.3

Диаметр трубы, мм	Марка стали трубы	Длина замка, мм	Диаметр шпура, мм	Установочное давление МПа	Усилие извлечения из имитатора, кН	Усилие извлечения из гранита, кН	Расчетная несущая способность, кН
40	Ст 20	350	36	19,0	28	63	31
40	Ст 20	300	36	20,0	38	57	29
40	Ст 20	300	36	12,0	18	34	17
40	Ст 20	300	36	20,0	30	57	29
40	Ст 20	300	36	18,0	28	51	26
40	Ст 20	300	36	21,0	31	60	30
40	Ст 20	300	36	14,0	21	40	20
40	Ст 20	300	36	20,0	29	57	28
40	Ст 20	300	36	22,0	33	63	32
40	Ст 20	300	36	16,0	27	46	23
40	Ст 20	300	36	19,0	28	54	27

При расчете $F_{г.а}$ были приняты следующие коэффициенты: $\mu = 0,26$; $f_{тр} = 0,18$ для случая «металл-металл» и $f_{тр} = 0,36$ для случая «металл-порода».

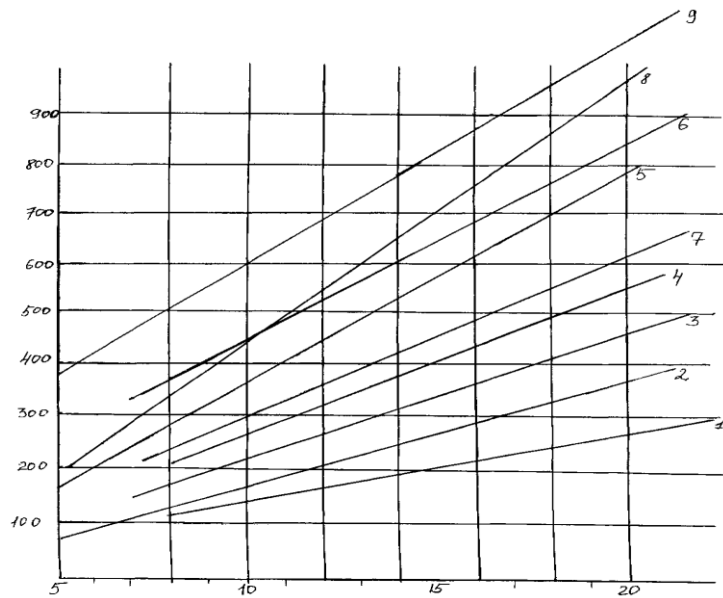
Результаты экспериментов по установлению взаимосвязи между несущей способностью анкера и давлением распора жидкости для различных пород, обработаны методами математической статистики по стандартной программе. Установлено, что эта взаимосвязь описывается уравнением регрессии вида

$$F_{дн} = A + B \cdot P + C \cdot P^2, \text{ Н}, \quad (2.70)$$

$$5,0 < P < 35,0, \text{ МПа}$$

где $F_{дн}$ - усилие извлечения анкера из шпура, Н; P - давление в приборе, Па; A и B - эмпирические коэффициенты, зависящие от характеристик закрепляемых пород замковой части анкера.

F , кН



P , МПа

Рис.2.13 - Зависимость усилия извлечения анкера от давления жидкости распора в различной среде

1- в металлическом имитаторе шпура $l = 0,3$ м; 2- то же $l = 0,32$ м; 3- то же $l = 0,38$ м; 4- в граните $l = 0,3$ м; 5- то же $l = 0,32$ м; 6- то же $l = 0,38$ м; 7- в бетонном блоке $l = 0,3$ м; 8- то же $l = 0,32$ м; 9- то же $l = 0,38$ м.

Таблица 2.4 - Коэффициенты к расчетной формуле 2.70

Номер графика	A	B	Индекс коррекции	Ошибка
1	4,1	14,03	0,78	6,234
2	-18,0	19,76	0,807	6,973
3	-11,5	24,25	0,984	6,378
4	-13,1	29,70	0,934	5,075
5	34,2	40,58	0,334	2,988
6	40,0	40,85	0,89	2,616
7	-1,5	32,50	0,777	2,512
8	-44,3	48,65	0,873	4,858
9	178,5	43,16	0,885	3,881

Анализ экспериментов и расчетов, выполненных по формуле (2.68) показал достаточно высокую их сходимость. Кроме величины несущей способности эта формула дает возможность анализировать те факторы, которые влияют на параметры трубчатой анкерной крепи в целом. Например, коэффициент k дает возможность правильного выбора отношений диаметров трубы и шпура. В то время, когда $k = 1$ могут быть срывы трубчатой анкерной

крепи, так как в практических условиях точно выдержать заданный диаметр шпура весьма трудно. Поэтому необходимо чтобы коэффициент k всегда был меньше единицы.

Кроме того, зависимость (2.70) дает возможность контролировать качество установки анкерной крепи, не разрушая установленную связь между анкерами и породой, зная только значение установочного давления. Это особенно эффективно при механизированной машинной установке трубчатых анкеров. Достаточно установить на машине самописец, фиксирующий пиковые значения установочного давления, чтобы по нему в конце смены выяснить каково качество установленных анкеров и какую нагрузку каждый из них несет. При этом нет необходимости извлекать их из шпурв, как это традиционно принято. Но самое главное- эта формула позволяет заранее прогнозировать и рассчитать параметры трубчатых гидрораспорных анкеров применительно к конкретным условиям различных месторождений, обеспечивающие их эффективную работу.

2.4 Материалы для трубчатых гидрораспорных анкеров

Требования к материалу трубчатых анкеров предъявляются, исходя из следующих основных факторов:

- необходимость обеспечения выдержки определенной нагрузки;
- достаточная пластичность, обеспечивающая герметичность внутренней полости анкера при профилировании трубы и распрямление под высоким давлением воды;
- возможность деформировать их в нужную форму;
- достаточная пружинность.

В исследовании при выборе материала исходили из того, что родоначальником подобных анкеров была фирма «Атлас Копко». При изучении состава материала из которого были сделаны анкера «Свеллекс», был установлен их следующий химический состав:

$$C_{max} = 0,1\% ; Si_{max} = 0,15\% ; Mn_{max} = 0,1\% ; Pa_{max} = 0,03\% ; S_{max} = 0,02\% ; Al_{min} = 0,02\% ; Cr + Ni + Cu = \max 0,5\% .$$

Поиски аналогичных отечественных материалов показали, что самой близкой по химическому составу является сталь марки Ст.08кп. однако, из-за того, что из такой стали не прокатываются бесшовные холоднодеформированные трубы, выбор остановили на стали марки Ст.10 и Ст.20 ГОСТ 1050-74.

Химический состав этих сталей следующий, %

Ст.08кп	Ст.10	Ст.20
S: 0,05+0,12	0,17+0,15	0,17+0,37
S_i : 0,03	0,17+0,37	0,17+0,37
M_n : 0,25+0,5	0,35+0,65	0,35+0,65

C:	0,12	0,20
Cr:	0,078	0,12

Поскольку хрупкость (пластичность) стали определяется содержанием углерода, то по этому показателю наиболее подходит Ст.08кп.

В результате проведенных анализов и с учетом производства отечественных труб для изготовления гидрораспорных трубчатых анкеров были определены в качестве исходного материала: трубы стальные бесшовные холоднодеформированные по ГОСТ 8734-75 с наружным диаметром 40 или 50 мм и толщиной стенки 2,0-2,2 мм из стали марки 10,20 и 30.

Как показали эксперименты проведенные на ТОО «Массагет плюс» трубы из стали 20 и 30 при установке начали лопаться на местах изгиба (вследствие повышенного содержания углерода) из-за недостаточной пластичности материала. Потому был рекомендован отжиг труб из Ст.20, для уменьшения содержания углерода и придаче трубе необходимой пластичности. Результаты этих экспериментов приведены в таблице 2.5

Таблица 2.5 Результаты экспериментов по установлению рациональных параметров термообработки стали

Диаметр трубы	Марка стали	Режим термообработки	Давление распора, МПа	Вид дефекта
50	Ст. 30	Без термообработки	5,0	Трещина
50	Ст. 30	-	7,0	-
50	Ст. 30	-	8,0	-
50	Ст. 30	-	3,0	-
50	Ст. 30	-	8,0	-
50	Ст. 30	С отжигом при 750 ⁰ С и охлаждением на воздухе	10	Распор в свободном состоянии (без шпура) и по сгибу Без дефектов
50	Ст. 30	С отжигом при 750 ⁰ С и охлаждением в печи	21,0	-
50	Ст. 30	С отжигом при 750 ⁰ С и охлаждением в печи	20,0	Без дефектов
40	Ст. 20	Без термообработки	8,0	Трещина
40	Ст. 20	-	10,0	-
40	Ст. 20	-	12,0	-
40	Ст. 20	Нормализация при 870-880 ⁰ С с выдержкой 10	20,0	Без дефектов

		мин., с охлаждением на воздухе		
40	Ст. 20	Отпуск поверхности 870-880 ⁰ С с охлаждением на воздухе	16,0	Разрыв по телу на длине 120 мм
40	Ст. 20	Нормализация при 870-880 ⁰ С с выдержкой 10 мин., с охлаждением на воздухе	20,0	Без дефектов
40	Ст. 20	-	21,0	-

Трубы из Ст.10 сразу выдержали испытания без существенных дефектов без термообработки. Поэтому с ними проводились подобные эксперименты.

Максимальная несущая способность таких анкеров будет зависеть от временного сопротивления разрыву стали из которой он сделан. $[G_B]$.

Усилие при котором разрывается хвостовик анкера определяется по формуле

$$F = \pi(R^2 - \tau^2) [G_B], \text{ Н}, \quad (2.71)$$

где R- наружный радиус трубы из которой сделан анкер, мм; τ - внутренний радиус трубы, мм; $[G_B]$ - временное сопротивление материала трубы разрыву, Н/мм². Для Ст.10 $[G_B] = 343 \text{ Н/мм}^2$, для Ст.20 $[G_B] = 412 \text{ Н/мм}^2$ Тогда, для трубы с наружным диаметром 40 мм и толщиной стенки 2 мм.

$$F_1 = 3,14(20^2 - 18^2)343 = 81853,5 \text{ Н},$$

Для той же трубы из стали 20

$$F_2 = 3,14(20^2 - 18^2)412 = 98319,7 \text{ Н}.$$

Для трубы с наружным диаметром 50 мм и толщиной стенки 2 мм, на Ст.10

$$F_3 = 3,14(25^2 - 23^2)343 = 103394 \text{ Н}.$$

Для той же трубы из стали 20

$$F_4 = 3,14(25^2 - 23^2)412 = 124193,3 \text{ Н}.$$

Таким образом, максимальная несущая способность трубчатых анкеров в зависимости от материала и диаметра исходной трубы может колебаться от $80 \cdot 10^3$ до $120 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили остановиться на Ст.10 без отжига и Ст.20 с отжигом в качестве наиболее приемлемой материала для изготовления трубчатых гидрораспорных анкеров, с которыми и проводились последующие исследования.

2.5 Разработка усовершенствованной конструкции гидрораспорных анкеров

Анализ результатов исследований (зависимость 2.68) показывает, что на несущую способность гидрораспорных трубчатых анкеров оказывают преобладающее влияние следующие конструктивные параметры:

коэффициент k , учитывающий полноту контакта поверхностей анкера и шпура, длина замковой части l_3 (длина части анкера находящейся в зоне нетронутого монолитного массива), установочное давление P (максимальное значение давления внутри анкера в момент установки).

Если из этих трех параметров первый зависит от диаметров шпура и трубы из которой сделан анкер, то остальные два находятся в прямой зависимости от конструкции анкера. Поэтому все конструктивные поиски по повышению несущей способности трубчатых гидрораспорных анкеров лежат имевши в этих направлениях.

Конструкцию установочного патрона намного упростили в НИГРИ, доведя количество деталей до минимума. Однако и в этом случае конструкция анкера осталась такой же, как у анкера «Свеллекс». Необходимо было идти по пути упрощения конструкции самого анкера.

Анализ конструкции анкера показал, что втулки на торцах усложняют конструкцию, а втулка внутри шпура не дает анкеру распрямляться полностью, создавая в зоне устойчивых пород «мертвую зону» длиной 100-150мм. А это, в свою очередь, приводит к излишнему расходу труб на соответствующую длину и требует бурить шпур глубже на такую же величину, чтобы обеспечить необходимую длину в замковой части. Все это приводит к излишнему расходу материалов и пробуренных шпурометров.

В поисках решений позволяющих обойтись без втулок, были разработаны, изготовлены и испытаны ряд конструкций анкеров. Одной из первых конструкций, которая выдержала испытания, была новая конструкция анкера и держателя.

Конструкция представляла собой цельнотянутую трубу, профилированную во внутрь не полностью (на длину шпура), с оставлением с внешнего конца цилиндрической части длиной 150-200мм (рис.2.14).

Цилиндрическая непрофилированная часть служит для удержания опорной шайбы. Внутренний конец герметизировался сварным швом.

В ходе исследований выяснилось, что держатель (установочный патрон) нормально герметизировав внутреннюю полость анкеров изготовленных из труб с диаметром 40 мм, совершенно непригоден для анкеров, изготовленных из труб с диаметром 50 мм, т.к. с увеличением

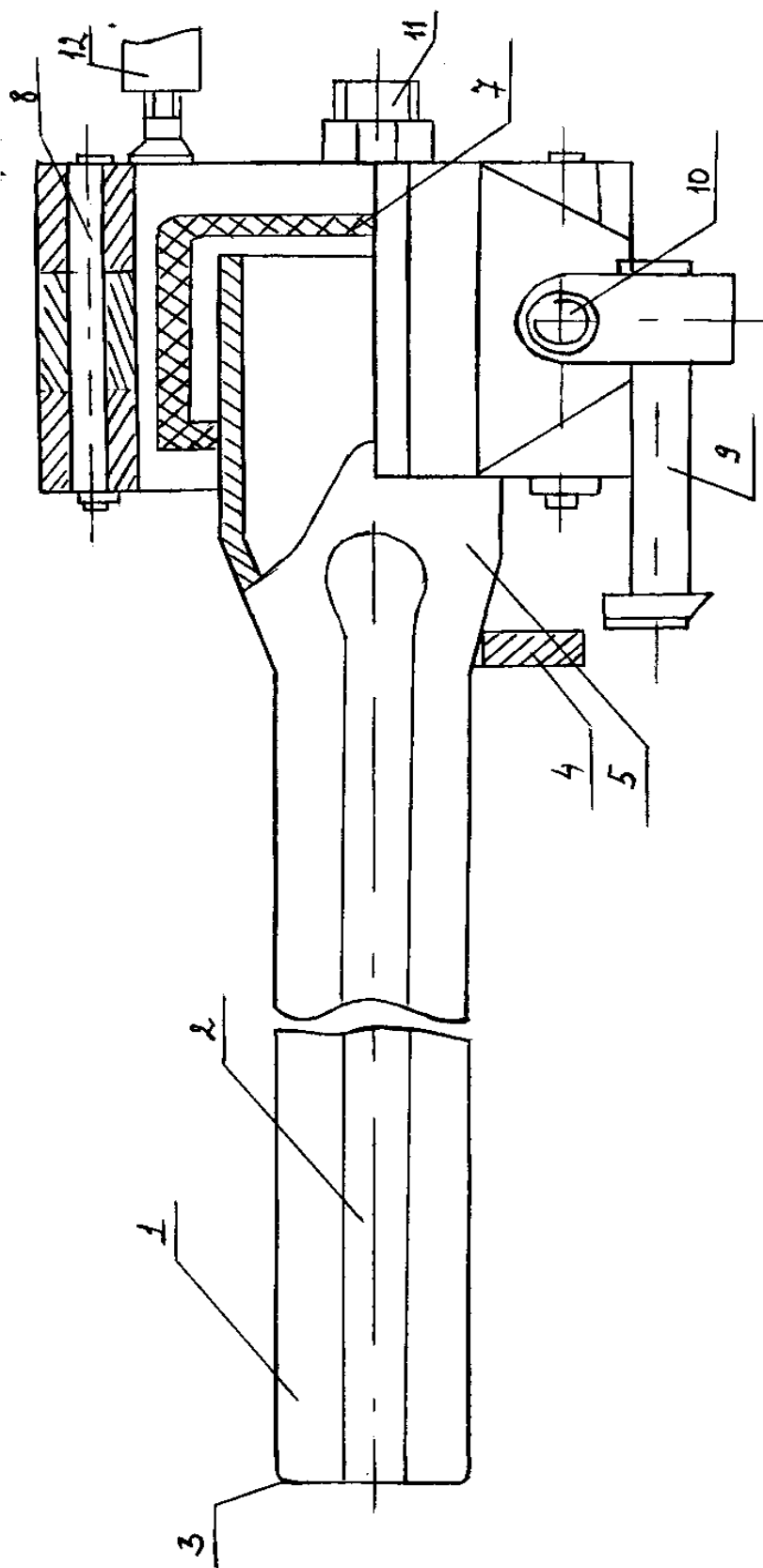


Рис. 2.14 - Трубчатый анкер и держатель для его установки

1-анкер; 2- продольная впадина; 3- сварной шов внутреннего конца; 4- опорная шайба; 5- цилиндрическая непрофилированная часть; 6- отверстие анкера, удерживающее его в держателе; 7- резачные уплотнители; 8- палец шарнира держателя; 9- накладной палец фиксатора; 10- шарнирный болт фиксатора; 11- штуцер; 12- штанга.

диаметра увеличивается сила, выталкивающая прокладку из гнезда. В связи с этим была предложена новая конструкция установочного патрона.

Таким образом, был решен вопрос герметизации внутренней полости анкеров, изготавливаемых из труб любого диаметра. Однако, с увеличением диаметра трубы возникла другая проблема - разгерметизация сварного шва на внутреннем конце анкера. Решая эту проблему, разработали новую конструкцию анкера, где внутренний конец заковывался перед профилированием с нагревом и заворачивался на 180° наружу (от продольной впадины). При этом, внутри шпура завернутая часть анкера, стремясь к выпрямлению при установке, создавала дополнительный замок в виде ежа. А до конца развернуться ему не давал шпур, обеспечивая тем самым герметизацию внутреннего конца без сварки. Это еще более упростило конструкцию и технологию изготовления трубчатых анкеров, делая возможным их изготовление даже в условиях небольших мастерских, которые на любом руднике. Эта конструкция пошла в серию.

Проведенные испытания показали, что такая герметизация гарантирует максимальное установочное давление примерно 20 МПа, что является достаточным. Но при давлениях выше этого предела может произойти разгерметизация анкера, что зависит от качества технологии его изготовления. Это не дает возможности уменьшить длину замковой части l_3 за счет увеличения давления внутри анкера (согласно формуле 2.68). В связи с этим, были проведены дополнительные исследования.

Закатанные анкеры при испытаниях выдерживали давление жидкости распора до 30 МПа.

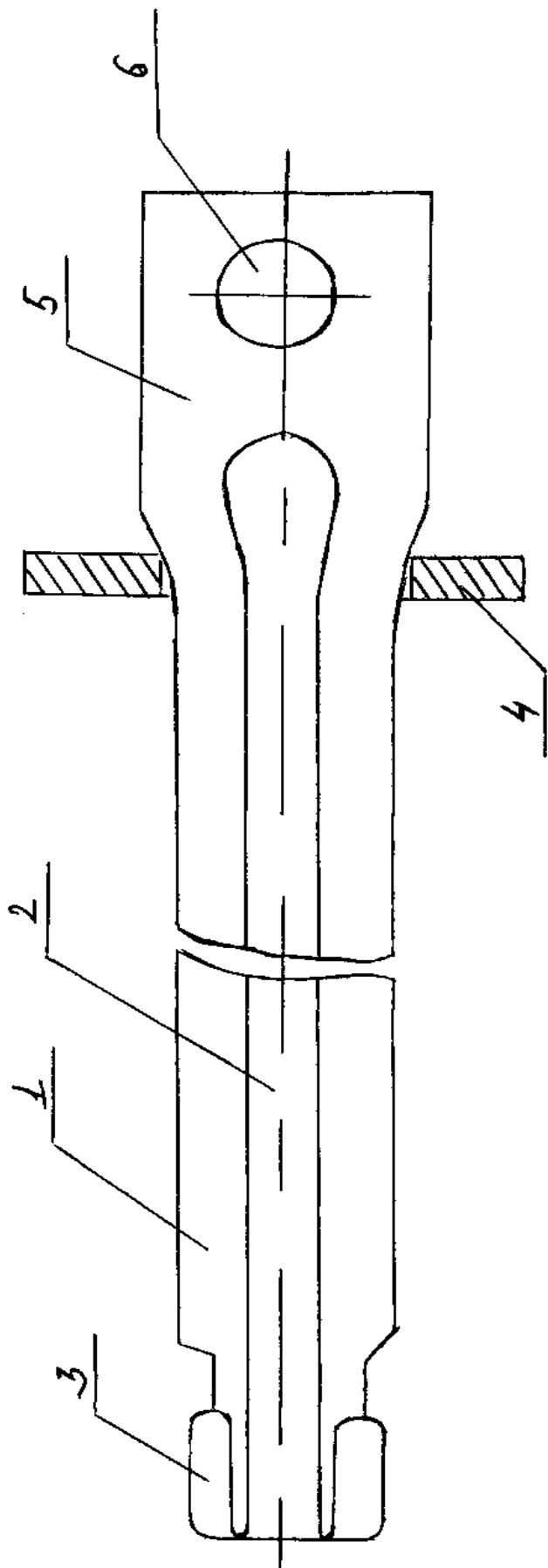


Рис. 2.15 - Конструкция трубчатого анкера с завернутым внутренним концом
1-анкер; 2- продольная впадина; 3- закованный внутренний конец; 4- опорная шайба; 5- цилиндрическая часть; 6- отверстие для удержания в установочном патроне.

2.6 Технология возведения трубчатой анкерной крепи (ТАК)

Параллельно с поисками рациональной конструкции, разрабатывалась и технология возведения трубчатой анкерной крепи. В общем случае эта технология заключается в следующем:

1. После оборки «заколов» пробурить шпуры под анкер в соответствии с паспортом крепления выработок. Используется существующее буровое оборудование.
2. Подвести к забою в упаковке по 50 и 100 шт. анкеров и связку опорных плит во время бурения шпуров и агрегат высокого давления (7000 Н или ПН-300).
3. Если в забое есть водопровод необходимо агрегат высокого давления подсоединить к нему, если нет, то в отдельную емкость набрать необходимый объем воды из расчета 4 литра на 1 анкер.
4. В зависимости от типа, агрегат высокого давления подсоединить к электро (насос 7000 Н, 380 В) или пневмо (насос ПН-300, 10,5 МПа) сети.
5. Агрегат высокого давления через рукав высокого давления соединить с установочным патроном.
6. Надеть через внутренний конец анкера опорную плиту и на внешний (выступающий) конец, надеть установочный патрон.
7. Внутренним концом анкер ввести в шпур до упора опорной шайбы к породе устья шпура.
8. Подать во внутрь анкера воду, включением соответствующего крана на агрегате высокого давления, наблюдая за манометром установленным на агрегате высокого давления.
9. При достижении максимального давления, которое дает агрегат, напорную магистраль переключить на слив. При этом анкер считается установленным, если показания манометра показали хотя бы 18 МПа (а в противном случае, необходимо рядом бурить новый шпур и устанавливать новый анкер).
10. Снять установочный патрон с хвостика анкера и надеть на следующий. Затем цикл повторяется со следующим анкером.

Для установки анкеров целесообразно использовать машину МКА-2. С полной механизацией процесса возведения трубчатой анкерной крепи в выработках высотой от 2,5 м до 4 метров (бурение шпуров глубиной 2 м и установка анкеров) также разработан технический проект машин МКА-4 для механизации процесса установки 4-х метровых анкеров в выработках высотой 5 до 8 м.

Машины имеют турель с кассетным магазином для 6-ти анкеров.

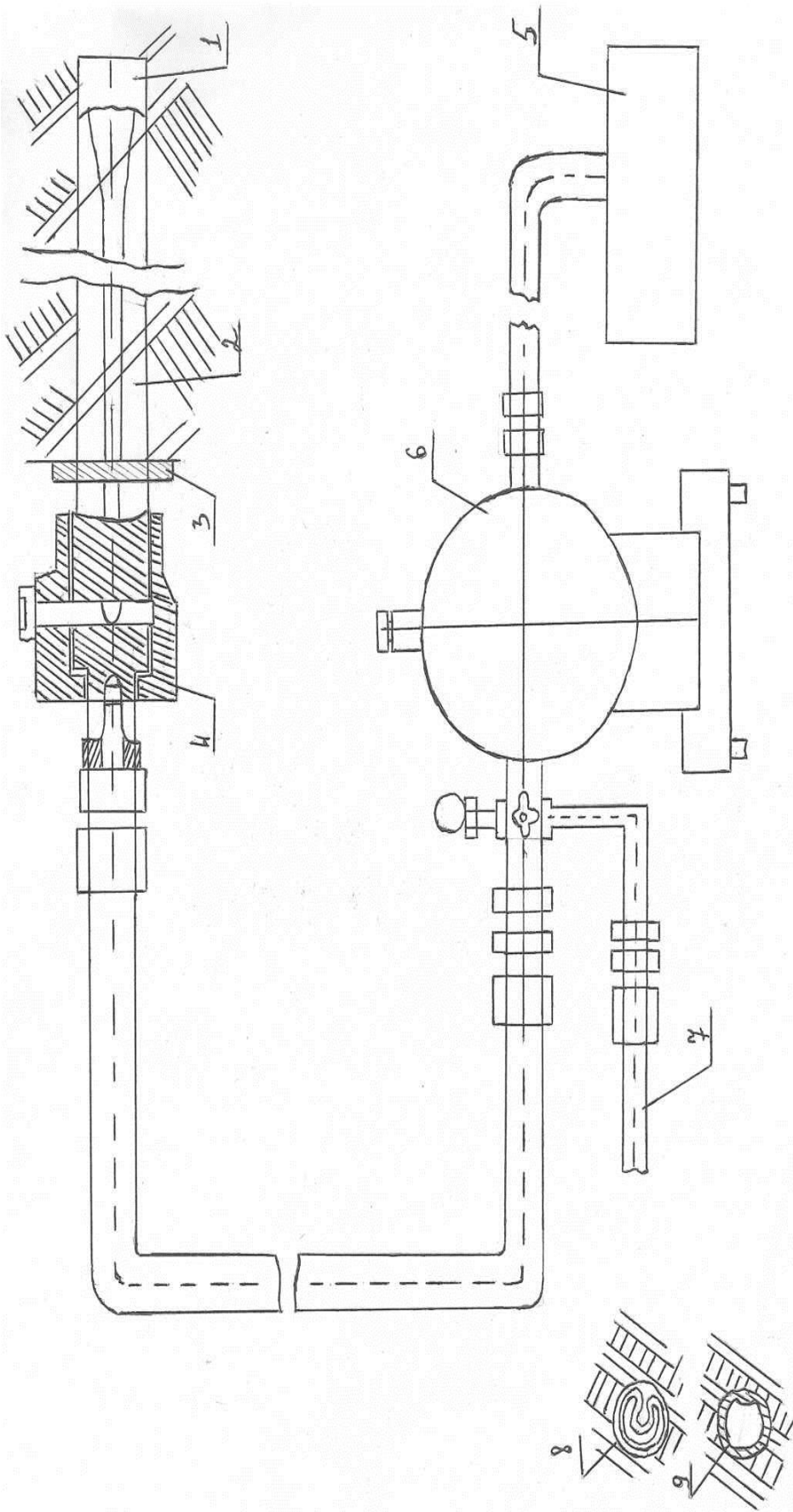


Рис. 2.16 - Технологическая схема возведения трубчатой анкерной крепи

1 - шпур; 2 - трубчатая анкерная крепь; 3 - опорная шайба; 4 - установочный патрон; 5 - емкость для воды; 6 - агрегат высокого давления; 7 - рукав для подвода сжатого воздуха; 8 - анкер в разрезе до установки; 9 - анкер в разрезе после установки.

Магазин заправляется заранее 6-тью анкерами, после чего машина подводится к забою и без присутствия человека под закрытым пространством возводят трубчатую анкерную крепь, по сетке 1000x1000 мм в двух смежных рядах за одну установку. Управляет всеми процессами один оператор-водитель, стоя на безопасном расстоянии от закрепляемого пространства.

Таким образом, по результатам исследований предложены две технологические схемы возведения трубчатой анкерной крепи:

- ручная, где имеется технологическое оборудование для бурение шпуров под анкер к подъемные полки (при высоких выработках);

- машинная, где нет технологического оборудования по бурению шпуров (в выработках высотой от 2,5 до 3,5 м).

Предлагаемые технологии обеспечиваются полностью средствами механизации, выпускаемыми АО «Массагет».

Выводы

1 Существующие теории взаимодействия анкерной крепи с закрепляемыми вмещающими породами недостаточно полно описывают этот процесс, что не позволяет получать достоверным прогнозные данные эффективности анкерного крепления

2 Предложена модель работы системы «анкер-вмещающие породы» применительно к трубчатым гидрораспорным анкерам и предложена методика расчета несущей способности таких анкеров

3 На основе теоретических и экспериментальных исследований предложена расчетная формула для установления несущей способности трубчатых гидрораспорных анкеров

4 Установлены факторы, влияющие на расклинивание трещиноватых пород в пределах принятой сетки установки анкерной крепи

5 По результатам проведенных исследований предложена усовершенствованная конструкция трубчатых гидрораспорных анкеров и разработана технология их установки с использованием машин анкероустановщика.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАШИНЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАБРЫЗГ-БЕТОННОЙ КРЕПИ

Как было указано ранее предлагаемая податливая крепь предполагает возведение бетонного пояса, работающего совместно с трубчатыми гидрораспорными анкерами. Эта крепь должна иметь толщину 250-300 мм в зависимости от горнотехнических условий разрабатываемого месторождения и должна возводиться интенсивно. Существующие машины по возведению набрызг-бетонной крепи не позволяет за один проход получать крепь такой толщины, что требует значительного времени, а возведение крепи в несколько заходов ведет к ее сложности и, как следствие, снижению прочностных и реологических характеристик. Кроме этого при многозаходной технологии возведения набрызг-бетонной крепи из-за высокого отскока наблюдается перерасход дорогостоящих материалов: цемента, ПАВ и др.

АО «Массагет» разработана принципиально новая конструкция машины для возведения набрызг-бетонной крепи (рис. 3.1). Эта машина использует принцип нанесения торкрет-смеси на стенки и кровлю выработки за счет центробежной силы вылета смеси из нагнетателя.

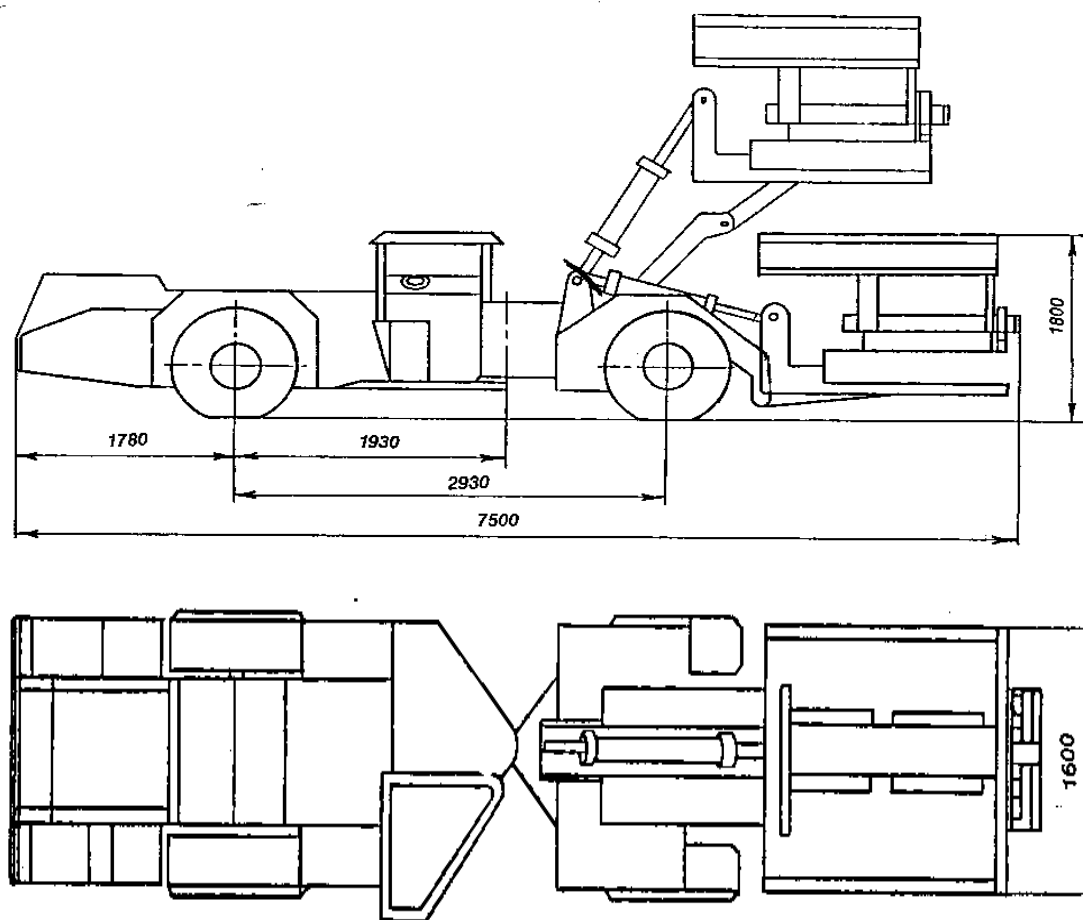


Рисунок 3.1 - Машина центробежного торкретирования МЦТ-12

3.1 Машина центробежного торкретирования МЦТ-12

Опыт эксплуатации современных машин для возведения набрызгбетона показал их достаточную эффективность. Вместе с тем незначительное нарушение режима работы машины приводит к прекращению процесса набрызгбетонирования. Кроме того, все существующие машины для возведения набрызгбетона основаны на применении энергии сжатого воздуха. Это снижает их к.п.д. и ограничивает производительность машины в целом, а также ухудшает условия труда крепильщика. Это обстоятельство требует совершенствования конструкций известных машин и разработку новых машин для возведения набрызгбетонной крепи.

Практика показала, что у существующих машин для возведения набрызгбетона наиболее несовершенными являются узлы питания и коммуникации, транспортирования сухой бетонной смеси. Ни в одной из выпускаемых промышленностью машин не предусмотрена синхронизация количества бетонной смеси, поступающей в струю сжатого воздуха, с его давлением. Скоростной напор сжатого воздуха зависит от диаметра и сопротивления трубопровода, по которому транспортируется смесь. Сопротивление трубопровода изменяется в момент загрузки нижней камеры машины и соединения ее с верхней, из-за временного уменьшения давления, при переувлажнении смеси вследствие ее налипания в рабочем канале сопла, изгибах шлангов, при недостаточной герметичности соединительных узлов и пр.

Основным условием бесперебойной работы машин для возведения набрызгбетонной крепи является пребывание заполнителей бетонной смеси в воздушном потоке во взвешенном состоянии. При нарушении этого условия частицы падают на нижнюю часть трубопровода, в результате чего образуются пробки, из-за которых прекращается набрызг. Для возобновления работ бетонную смесь, находящуюся в трубопроводе и частично в питателе, необходимо удалить, что требует дополнительных трудовых затрат и времени.

Существующие методики расчета в полном объеме неприменимы для расчета конструктивных параметров машины центробежного торкретирования, поскольку у них разные принцип работы и источник энергии.

В связи с этим одной из задач настоящего исследования была разработка методики расчета основных конструктивных элементов машины центробежного торкретирования. Машина МЦТ-12, разработанная ТОО «Массажет-плюс», хотя принципиально и отличается от машин, использующих сжатый воздух имеет ряд недостатков, связанных с отсутствием надежной методики расчета ряда узлов: завышенная мощность привода шнекового питателя и центробежного нагнетателя, отсутствие гарантированной боковой и продольной устойчивости машины при ее работе, недостаточная надежность тормозной системы и т.д. Для устранения этого была разработана методика расчета этих узлов и параметров машины типа МЦТ с учетом особенностей работы таких машин.

3.2 Физическая модель МЦТ

Машина центробежного торкретирования МЦТ предназначена для доставки (на расстояние менее 1 км), приготовления и нанесения жесткой набрызг-бетонной смеси на поверхность горных выработок высотой до 6 м при подземном способе разработки месторождений полезных ископаемых, а также при строительстве тоннелей и специальных сооружений с целью упрочнения приконтурного слоя горных выработок.

Машина МЦТ представляет собой самоходное шасси типа погрузочно-доставочных машин, где ковш заменен торкрет установкой, представляющей собой центробежный нагнетатель с бункером, расположенным на рукояти, и предназначенной для торкретирования горных выработок [37].

На рисунке 3.2 изображена машина МЦТ в рабочем положении; на рисунке 3.3- рабочий орган машины и на рисунке 3.4 сечение А-А рисунка 3.3.

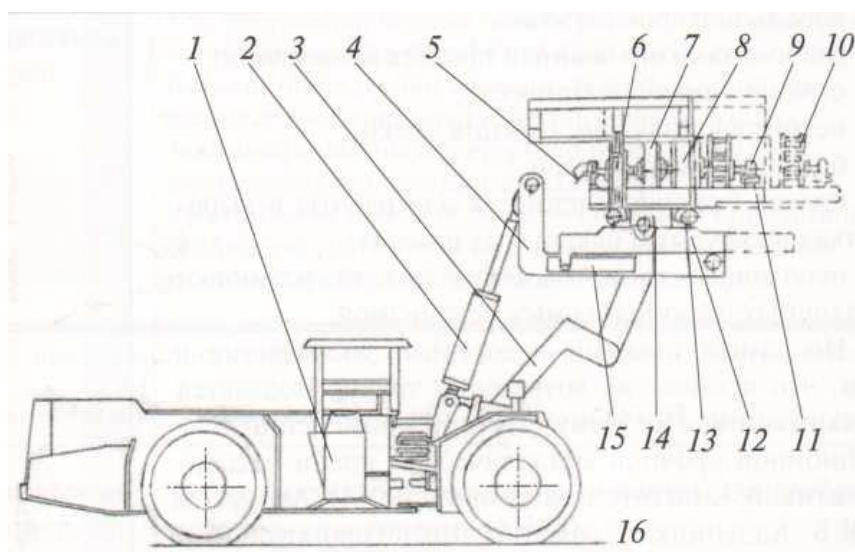


Рис.3.2 - Машина центробежного торкретирования в рабочем положении 1-транспортное средство; 2- гидроцилиндр; 3- рукоять; 4- платформа; 5- гидромотор; 6- гидроцилиндры; 7- планетарный редуктор; 8-приемный бункер; 9- подшипниковая опора; 10- рабочее колесо; 11- нагнетатель; 12- рама; 13- ролики; 14- гидрореечный механизм; 15- дополнительный бункер; 16- направляющая.

Машина включает транспортное средство 1, на рукояти 3 которого смонтирована платформа 4 с нагнетателем 11 посредством гидроцилиндра 2 для выдерживания параллельности к почве выработки. Нагнетатель 11 смонтирован на раме 12, с возможностью вращения вокруг собственной оси с помощью гидрореечного механизма 14, на роликах 13. Сверху нагнетателя 11 прикреплен дополнительный бункер 15 для компонентов смеси, разгрузочное окно которого сообщается с приемным бункером 8 нагнетателя 11. Боковые борта бункера 15-выполнены шарнирно-сочлененными и снабжены гидроцилиндрами. Нагнетатель 11 состоит из привода 5, планетарного редуктора 7, шнекового питателя с полым валом. Шнековый питатель

связывает приемный бункер 10 рабочим колесом 10 через направляющий аппарат 16, закрепленный на валу соосно внутри кожуха, который жестко соединен с корпусом рабочего колеса 10 с возможностью реверса и подвижно соединен с диском рабочего колеса 10. При этом кожух имеет отверстие для подачи смеси в рабочее колесо 10. Вал расположен внутри полого вала, шнекового питателя и с одной стороны соединен с планетарным редуктором 7, а с другой стороны опирается на выносную подшипниковую опору 9.

На платформе 3 имеется направляющая 16 для выдвигания нагнетателя 11. Корпус имеет щель для вылета набрызгбетонной смеси.

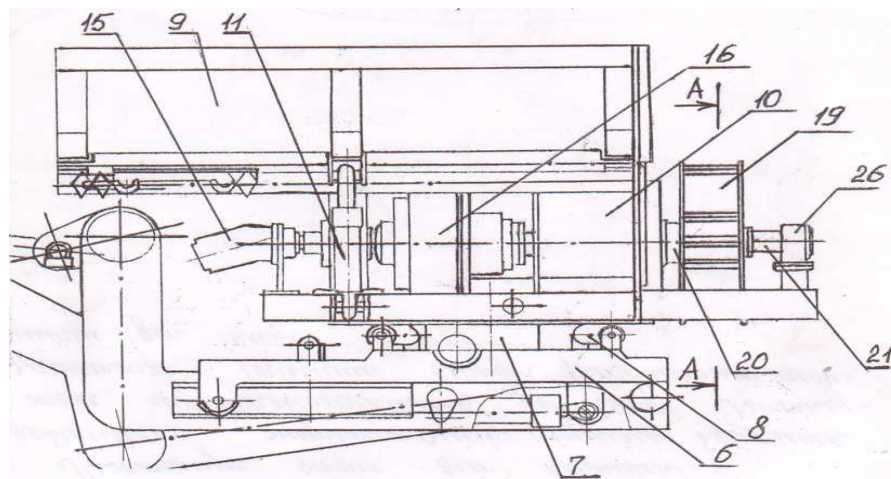


Рис. 3.3 - Рабочий орган МЦТ

6-рама; 7-гидрореечный механизм; 8- ролики; 9- дополнительный бункер; 10- приемный бункер; 11- гидроцилиндры; 15-гидромотор; 16- планетарный редуктор; 19-рабочее колесо; 20- направляющий аппарат; 21-вал; 26- подшипниковая опора.

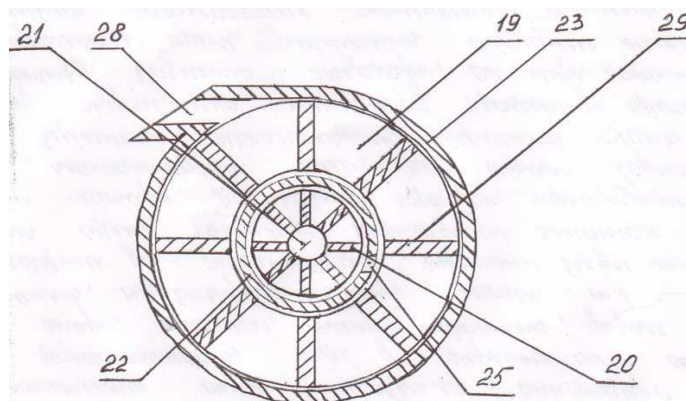


Рис.3.4 - Сечение А-А

Машина работает следующим образом. В транспортном положении и перед погрузкой рабочее колесо 19 чтобы можно было его загрузить компонентам и смеси, например, погрузочно-доставочной машиной. Перед началом работы, нагнетатель разворачиваются вокруг собственной оси посредством гидрореечного механизма 7 на 180. В зависимости от высоты

выработки, нагнетатель 4 поднимают вверх или опускают вниз рукоятью 2 и устанавливают параллельно почве выработки посредством гидроцилиндра 5. При этом, в ходе работы нагнетатель 4 выдвигается относительно платформы 3 вдоль продольной оси устройства для чего платформе 3, предусмотрена направляющая 27, а на раме установлены, ролики. Выдвижение происходит при помощи гидроцилиндра, расположенного внутри платформы (рисунок 3.2).

После фиксирования нагнетателя 4 в рабочем положении, выключают привод 15 (гидромотор). При этом планетный редуктор 16 передает полуму валу из шнекового питателя 17 замедленное вращение, а валу 21 рабочего колеса 19-вращение, равное частоте вращения привода 15. При этом, из бункера 9 смесь поступает в приемный бункер 10, а далее через шнековый питатель 17 и направляющим аппарат 20- в рабочее колесо 19, где приобретая потенциальную энергию под действием центробежных сил, вылетают из щели 28 корпуса 23 рабочего колеса 19 и направляется к торкретируемой поверхности. При этом корпус 23 рабочего колеса 19 реверсируется, направляя старую от почвы выработки по периметру и до почв противоположенной стороны через щель 28. По мере расходования бетонной смеси, боковые борта бункера 9 складываются посредством гидроцилиндров 11, а с заднего борта бункера смесь принудительно подается в окно приемного бункера скребковым механизмом с полиспастной системой.

После опорожнения бункера 9, все узлы приводят в исходное положение, и цикл повторяется. При этом, боковые борта бункера 9 могут опускаться ниже горизонтальной плоскости, тем самым, увеличивая ширину бункера для загрузки из под ковша погрузочно-доставочной машины.

Техническая характеристика машины МЦТ

Техническая производительность, м ³ /ч.	10,0
Грузоподъемность шасси, т	4,0
Тип привода хода	Дизельный
Номинальная мощность привода, кВт	55,0
Максимальная скорость движения, км/ч.	17,0
Преодолеваемый уклон, градус	15,
Радиус поворота, мм	
- наружный	5620
-внутренний	4020
Дорожный просвет (клиренс), мм	300
Вместимость бункера, м ³	1,0
Диаметр рабочего колеса, мм	500
Сектор нанесения смеси, градус	270
Расстояние до торкретируемой поверхности, мм	
-наименьшее	1000

-наибольшее	4000
Толщина наносимого слоя за один проход, мм	
- на стенках выработки	200
- на кровле выработки	150
Габаритные размеры, мм	
- длина	7600
- ширина	1600
- высота	1800
Масса, кг	12500

Машина МЦТ комплектуется бетоносмесительной установкой, поскольку у самой машины отсутствует смесеобразующее устройство. Кроме того, в комплекте предусматривается и силовой агрегат, для работы машины в тупиковых забоях с плохой проветриваемостью, где работа дизеля нежелательна.

Техническая характеристика бетоносмесительной установки

Производительность, м ³ /ч	10
Тип бетономешалки	БП-375 (СБ-141), ГОСТ 16349-85
Привод	электрический
Номинальная мощность, кВт	15
Максимальная крупность заполнителя, мм	20
Габаритные размеры, мм	
- длина	4180
- ширина	3260
- высота	4400
Масса, кг	3100

Техническая характеристика силового агрегата АС-75

Тип привода	электродвигатель 4АР250 или 4РН-У2 ТУ 16-510726-79
Номинальная мощность двигателя, кВт	75
Вместимость маслобака, л	300
Габаритные размеры, мм	
- длина	1805
- ширина	920
- высота	1500
Масса, кг	1600

3.3 Методика расчета узлов машины центробежного торкретирования

С помощью модельного образца машины МЦТ-12 были проведены опытные испытания, показавшие работоспособность конструкции. Однако для подтверждения конструктивных параметров и их оптимизации необходимо

разработать методику расчета основных узлов и провести проверочные расчеты.

Проведенные эксперименты, а также аналитические исследования, позволили разработать методику расчета основных элементов машины МЦТ отличающихся от элементов машин, использующих для нанесения торкретсмеси сжатый воздух.

Для расчета необходимо составить кинематическую схему нагнетателя, которая представлена на рисунке 3.5.

Момент гидромотора 1 через муфту 2 передается планетарному редуктору, который разделяет потребляемую мощность на два потока. Часть мощности ведущим валом 3 передается напрямую без преобразования движения к импеллеру 5 центробежного нагнетателя. Другая часть мощности передается планетарным редуктором шнеку 9, вал 8 которого выполнен пустотелым и через него проходит вал импеллера.

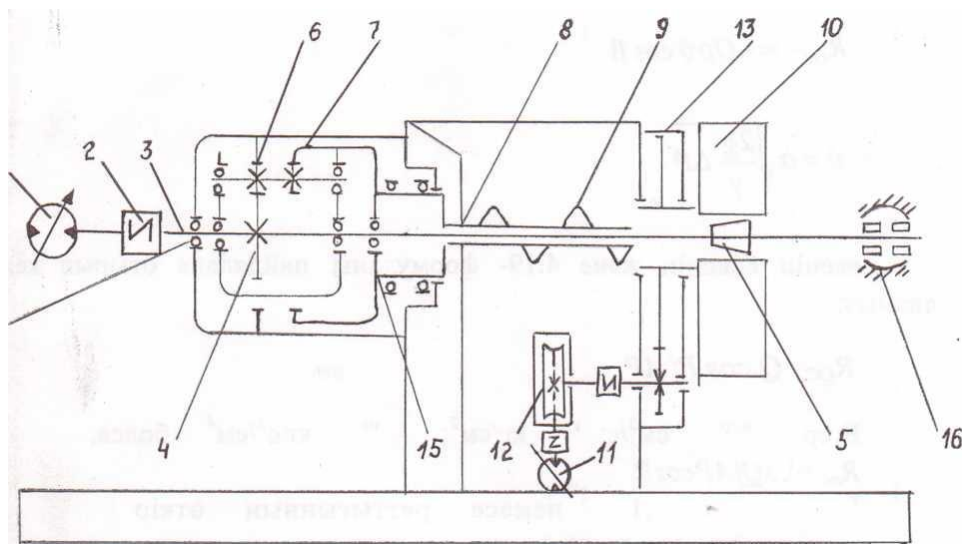


Рис.3.5 - Кинематическая схема нагнетателя

1-гидромотор; 2- муфта; 3- ведущий вал; 5- импеллер; 8- вал; 9- шнек; 10- кожух нагнетателя; 11- гидромотор; 12- червячный редуктор; 13- трубчатая передача; 14,15,16- подшипники.

Силовая установка машины состоит из двигателя внутреннего сгорания или электродвигателя и гидронасоса.

В качестве трансмиссии принят планетарный редуктор, позволяющий разделить передаваемую мощность на два потока.

Выполнение вспомогательных операций осуществляется гидродвигателями и гидроцилиндрами отдельных механизмов.

Для нанесения набрызг-бетонной смеси, на поверхность выработки, направление полета набрызгбетонной струи зависит от положения окна на кожухе нагнетателя 10, которому сообщается возвратно-поступательное движение от гидромотора 11, червячного редуктора 12 и зубчатой передачи 13

изменение направления вращения кожуха осуществляется установкой конечных переключателей.

Выбор силового оборудования, трансмиссии и системы управления машины центробежного торкретирования (МЦТ) обусловлен возможностью привязки привода нагнетателя к силовому оборудованию самоходного шасси погрузочно-доставочной машины, на которой монтируется рабочий орган.

Расчетная схема вала, нагнетателя (рисунок 3.6) представляет собой прямолинейный брус лежащий на трех опорах. Опорами являются три подшипника (15 и 16 показаны на рисунке 3.6) [38,39,40].

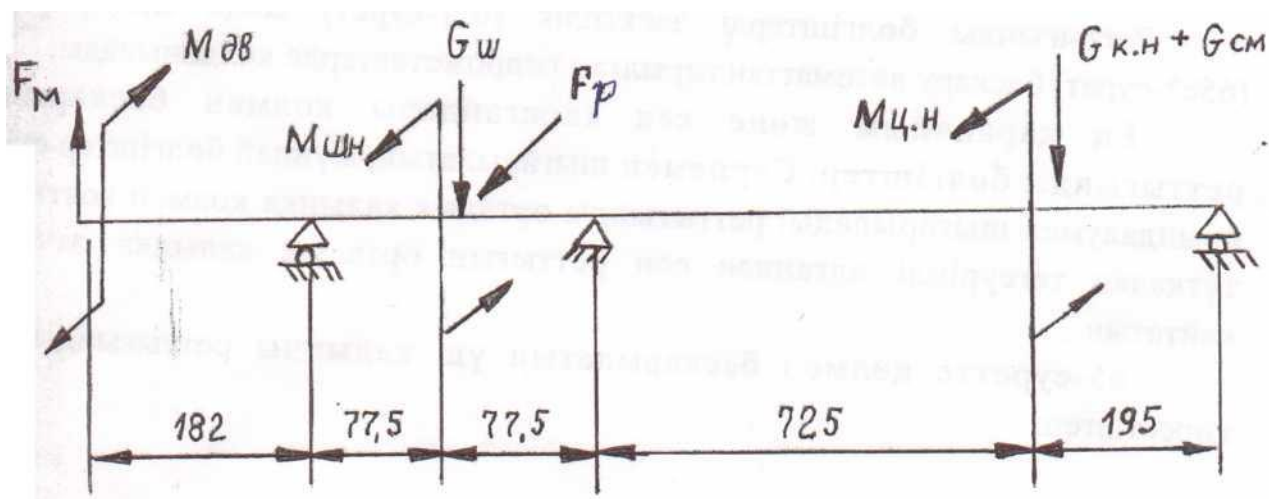


Рис.3.6 - Расчетная схема нагружения вала центробежного нагнетателя

Вал нагружен следующими силами и моментами:

- в сечении установки муфты- $M_{ДВ}$ - момент от двигателя и сила- F_M , возникающая в следствие несносностей валов. Эти величины связаны между собой следующей зависимостью:

$$F_M = 125\sqrt{M_{ДВ}} - 250\sqrt{M_{ДВ}}; \quad (3.1)$$

- в сечении установки центрального колеса планетарного редуктора- момент $M_{ШН}$, передаваемый сателлитами от центрального колеса шнеку; F_P - радиальная составляющая силы зацепления зубчатых колес и вес центрального колеса редуктора $G_{Ш}$;

- в сечении установки импеллера и колеса нагнетателя, $M_{Ц.Н}$ - момент на колесе нагнетателя и $G_{К.Н}$ - вес колеса нагнетателя. Опорные реакции не показаны.

Таким образом, вал можно представить в виде неразрывной двух пролетной балки с консолью, испытывающей совместно действие изгиба и кручения.

Анализируя геометрические и силовые параметры и условия работы вала нагнетателя, примем некоторые допущения, которые упростят расчеты вала и существенно не повлияют на их точность. Так, пролет АВ можно исключить ввиду его малой протяженности ($l=55$ мм), малой массы центрального колеса планетарного редуктора и симметричного расположения сателлитов, а опору

на расчетной схеме расположить в середине отброшенного пролета. Расположение внешних нагрузок примем самое неблагоприятное в вертикальной плоскости.

Силу F_M расположим в вертикальной плоскости и направим вверх, в этом случае прогиб в пролете увеличивается. В сечении установки ротора приложим в вертикальной плоскости силы тяжести смеси G_{CM} , силу тяжести колеса и корпуса нагнетателя G_{KH} , направленные вниз (рисунок 3.6).

Для расчета вала на прочность определим потребную мощность привода и все нагрузки.

Исходными данными для расчетов являются результаты экспериментальных исследований процесса нанесения смеси на поверхность выработки и рекомендации зарубежных и отечественных источников [41,42].

Мощность привода может быть определена по формуле

$$N = \frac{N_c + N_{тр} + N_p + N_{п}}{\eta_{пр}}, \quad (3.2)$$

где N_c - мощность, затрачиваемая на сообщение материалу смеси необходимой скорости выброса;

$N_{тр}$ - мощность, затрачиваемая на трение материала смеси о кожух;

N_p - мощность, затрачиваемая на разгон материала по лопасти;

$N_{п}$ - мощность, расходуемая на подъем материала

$$N_c = \frac{q_c \cdot v_{ок}^2}{2}, \quad (3.3)$$

где $v_{ок}^2$ - окружная скорость частиц смеси на ободу колеса;

q_c - секундная производительность нагнетателя

$$v_{ок}^2 = \pi \cdot n \cdot D_k / 60, \quad (3.4)$$

$$q_c = Q / 3,6, \quad (3.5)$$

где Q - производительность нагнетателя равная производительности шнекового питателя,

$$N_{тр} = \frac{30 \cdot q_c \cdot v_{ок}^2 \cdot f \cdot \alpha}{\tau \cdot 0,975}, \quad (3.6)$$

где f - коэффициент трения смеси о сталь;

α - угол волочения материала по кожуху,

$$\alpha = 135^\circ - w_t, \quad (3.7)$$

$$N_p = \frac{q_c \cdot v_{от}^2}{2}, \quad (3.8)$$

где $v_{от}$ - относительная скорость движения смеси по лопатке,

$$v_{от} = v_{от} \cdot tg w_t, \quad (3.9)$$

$$N_{\pi} = (0,15 \div 0,2) \Sigma N \quad (3.10)$$

По полученному значению мощности N , выбирается рабочий привод.

Возникающие в поперечном сечении вала касательные напряжения определяются по формуле

$$\tau_{max} = \frac{M_k}{W_p}, \quad (3.11)$$

где M_k - крутящий момент равный моменту двигателя $M_{дв}$;

W_p - полярный момент сопротивления вала,

$$W_p = 0,2 \cdot d^3, \quad (3.12)$$

где d - диаметр вала.

Для проверки вала на прочность по нормальным напряжениям построим эпюры изгибающих моментов (рисунок 3.7).

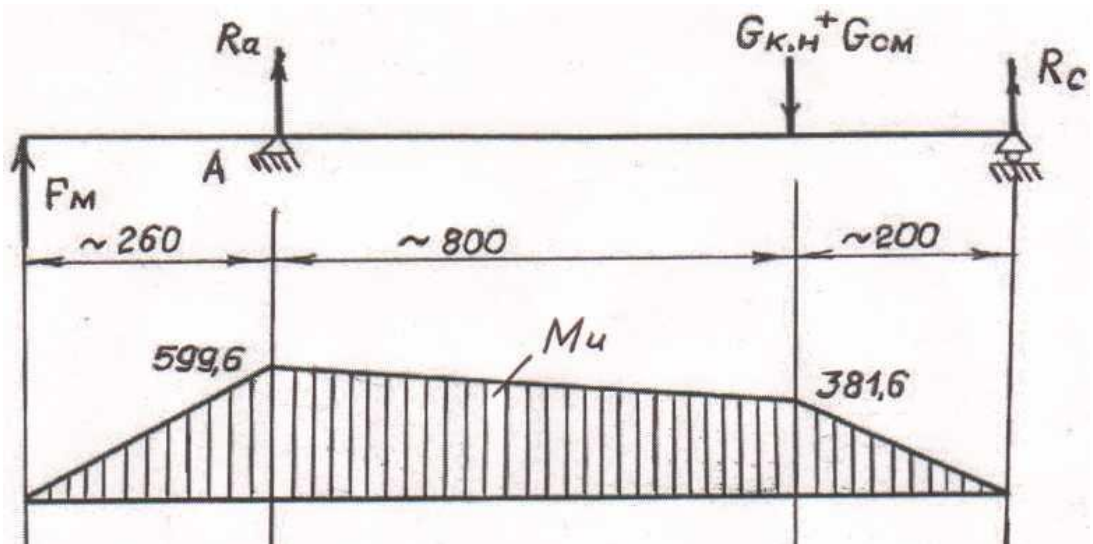


Рис.3.7 - Эпюры изгибающих моментов вала центробежного нагнетателя

Вычислим внешние силы, приложенные к валу, и определим опорные реакции.

Для проверки статической прочности определим эквивалентное напряжение по III теории.

$$G_{\text{ЭКВ}}^{\text{III}} = \sqrt{G_{max}^2 + \tau_{max}^2} \leq [G], \quad (3.13)$$

Учитывая быстроходность вала, проведем расчет на сопротивление усталости.

Для опасного сечения (опора A) определим запас сопротивления усталости по формуле

$$S = \frac{s_G \cdot s_{\tau}}{\sqrt{s_G^2 + s_{\tau}^2}} \geq [S], \quad (3.14)$$

где S_G - запас сопротивления на усталость при изгибе

$$S_G = \frac{G_{-1}}{\frac{G_a \cdot K_G + G_{III}}{K_d \cdot K_f} + G_{ЭКВ}} \quad (3.15)$$

3.3.1 Полый вал шнека

Производительность шнекового питателя может быть определена по формуле

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot t \cdot n \cdot \rho \cdot \psi \cdot c, \quad (3.16)$$

где ρ - плотность торкретсмеси;

c - поправочный коэффициент, зависящий от угла наклона конвейера;

ψ - коэффициент наполнения поперечного сечения желоба;

D - диаметр винта;

t - шаг винта;

n - частота вращения, определяется параметрами двигателя, и передаточным отношением планетарного редуктора,

$$n = n_{ДВ}/i, \quad (3.17)$$

где i - передаточное отношение редуктора

Эта величина не должна превышать наибольшую допускаемую частоту вращения

$$n \leq n_{max} = A/\sqrt{D}, \quad (3.18)$$

где A - коэффициент, учитывающий свойства груза.

Потребная мощность шнекового питателя:

$$N = \left(\frac{Q}{360}\right) \cdot (H + L \cdot w'), \quad (3.19)$$

где H - высота подъема;

L - длина винта;

w' - коэффициент сопротивления.

Момент на валу винта определяется по формуле:

$$M_0 = 1000 \cdot 60 \cdot N \cdot \eta \quad (3.20)$$

Кроме скручивающего момента на вал винта действуют продольная сжимающая сила P и изгибающий момент $M_{и}$:

$$P = \frac{2 \cdot M_0}{K \cdot D \cdot tg(\alpha + \varphi)}, \quad (3.21)$$

$$M_{и} = P \cdot K \cdot D/2, \quad (3.22)$$

где α - угол подъема винтовой линии;

K - коэффициент;

φ - угол трения груза о винт;

$tg\varphi = f_1$ - коэффициент трения песка о сталь.

Изгибающие моменты от действия поперечных нагрузок при расчете на статическую прочность можно не учитывать.

Под действием указанных нагрузок в опасном сечении вала (сечение установки опорного подшипника выходного вала планетарного редуктора)

возникает плоское напряженное состояние, по граням которого действуют касательные и нормальные напряжения.

Для этого сечения запишем условия статической прочности по III теории.

$$G_{\text{ЭКВ}}^{III} = \sqrt{G^2 + \tau} \leq [G], \quad (3.23)$$

где G - сумма нормальных напряжений возникающих от действия продольной силы G_n и изгибающего момента G_m ;

τ - касательные напряжения от действия скручивающего момента.

Напряжения вычисляются по формулам:

$$G_n = \frac{P}{F_{\text{вал}}} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(1-\alpha^2)}, \quad (3.24)$$

$$G_m = \frac{M_u}{W_z} = \frac{M_u}{\frac{\pi}{32}(1-\alpha^4)}, \quad (3.25)$$

$$\tau = \frac{M_0}{W_p} = \frac{M_0}{\frac{\pi}{16}(1-\alpha^4)}, \quad (3.26)$$

где d - внешний диаметр вала винта;

$$\alpha = \frac{d_1}{d}, \quad (3.27)$$

3.3.2 Привод кожуха нагнетателя

Экспериментально установлено, что оптимальным является режим работы нагнетателя с частотой вращения кожуха- $n_k = 8,0 \text{ мин}^{-1}$.

Минимальная частота вращения на валу гидромотора не должна превышать:

$$n_{\text{min}} = u \cdot n_k, \quad (3.28)$$

Мощность:

$$N = \frac{P \cdot \vartheta}{\eta}, \quad (3.29)$$

где η - КПД привода:

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_{\text{ГМ}}, \quad (3.30)$$

где η_p -КПД редуктора;

$\eta_{\text{ГМ}}$ - КПД гидромотора.

В данном случае тяговое усилие состоит из суммарных усилий четырех подшипников скольжения (рисунок 3.8) и усилия для преодоления силы трения груза о ступицы колес.

$$P = \Sigma T + W, \quad (3.31)$$

где ΣT - сумма сил трений в подшипниках скольжения;

W - сила трения груза о ступицы колес,

$$\Sigma T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (3.32)$$

$$T_1 = T_1 f \cdot P_1, \quad (3.33)$$

где f - коэффициент трения;

P_1 - нагрузка на подшипник №1.

Таким же образом определяются T_2, T_3, T_4 .

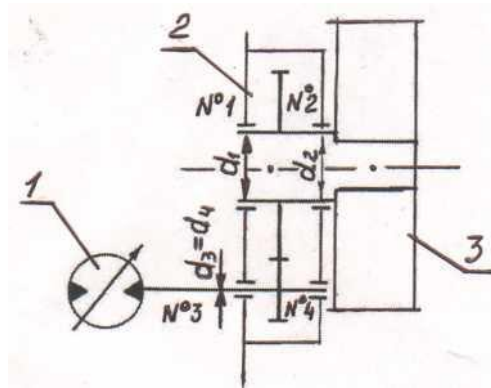


Рисунок 3.8 - Кинематическая схема привода кожуха

1 - Гидромотор Г-15-23Н ($N_H = 3,4$ кВт; $M_{кр} = 34$ Н·м; $n_H = 960$ мин⁻¹, $n_{max} = 1800$ мин⁻¹; $P_H = 6,3$ МПа; $P_{max} = 12,5$ МПа; $Q_H = 38,4$ л/мин; $\eta = 0,87$); 2 - цилиндрический редуктор ($i = 5,6$); 3 - кожух; №1, №2, №3, №4 - подшипники.

Скорость скольжения в подшипниках:

$$\text{№1 } v_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_k}{60 \cdot 10^3}, \quad (3.34)$$

$$\text{№2 } v_2 = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_k}{60 \cdot 10^3}, \quad (3.35)$$

$$\text{№3 и №4 } v_{3,4} = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot n_{min}}{60 \cdot 10^3}, \quad (3.36)$$

При этом коэффициенты трения:

$$f_1 = 0,085;$$

$$f_2 = 0,07;$$

$$f_3 = f_4 = 0,09$$

Нагрузка на подшипниках:

$$P_1 = P_2 = \frac{(G_k + G_{кож} + q')g}{2}, \quad (3.37)$$

где G_k - масса колеса;

$G_{кож}$ - масса кожуха;

q' - масса груза, движущегося по ступице;

$$q' = q \cdot L \quad (3.38)$$

где q - груз на 1 м длины;

L - длина ступицы колес.

Сила трения груза о ступицы колес:

$$W = g \cdot q \cdot L \cdot f_b \cdot \cos \beta \quad (3.39)$$

Мощность на валу гидромотора:

$$N_{\text{ГМ}} = \frac{P \cdot \vartheta}{\eta}, \quad (3.40)$$

где $v = \frac{\pi \cdot d_b n_{\text{min}}}{60 \cdot 100}$ (3.41)

Гидромотор при частоте вращения на выходе до n_{min} , мин^{-1} может развивать полезную мощность на валу

$$N_{\text{ГМ}} = \frac{M_{\text{н.г.м.}} \cdot n_{\text{min}}}{97,4} \quad (3.42)$$

3.3.2 Статическая устойчивость машины МЦТ

Рабочий орган машины МЦТ в рабочем положении поднимается на 2,2 м выше чем в транспортном положении и выносится на рукояти за пределы каретки. Это положение, а также значительные возмущающие силы от работы центробежного нагнетателя стремятся опрокинуть машину. Поэтому вопрос устойчивости машины МЦТ при ее работе является одним из основных.

Методика расчета центров масс

Входными данными для расчета масс и координат центров масс полурам и машины, реакций на мосты, являются параметры основных составных элементов машины.

Координаты центров масс элементов машины определяются по формулам:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N \cdot X_i}{G_i}, \quad (3.43)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N \cdot Y_i}{G_i}, \quad (3.44)$$

где N - масса составных частей элементов;

G_i - масса элемента;

X_i, Y_i - координаты центров масс составных частей элементов; количество составных частей элемента.

n - количество составных частей элемента.

Методика расчета боковой устойчивости на опрокидывание машины МЦТ

Наиболее критическим положением машины с учетом ее устойчивости на боковое опрокидывание является положение с максимально поднятым рабочим органом с грузом в бункере и с выдвинутым нагнетателем на допустимом угле наклона.

Угол запаса боковой статической устойчивости:

$$\alpha_{\text{зап}} = \alpha_{\text{уст}} \cdot \alpha \quad (3.45)$$

где $\alpha_{\text{уст}}$ - угол устойчивости, соответствующий предельному наклону опорной площадки, на которой может стоять машина не опрокидываясь; α - допустимый угол бокового наклона опорной площадки, (определяется техническим заданием).

Отношение угла устойчивости к допустимому углу бокового наклона характеризует запас статической боковой устойчивости.

$$K = \frac{\alpha_{уст}}{\alpha} = \alpha_{уст} / (\alpha_{уст} - \alpha_{зап}), \quad (3.46)$$

Величина коэффициента запаса $K_{уст}$ зависит от типа и назначения машины, условий эксплуатации, допустимого угла бокового наклона и регламентируется техническим заданием.

Исходными данными для расчета устойчивости МЦТ являются результаты расчетов «масс и координат центров масс».

Выводы

1. Для возведения бетонного пояса податливой крепи целесообразно использовать машину центробежного торкретирования МЦТ. В отличие от существующих машин для возведения набрызг-бетонной крепи с использованием сжатого воздуха машина МЦТ позволяет за один подход возводить крепь толщиной 250...300 мм с полной механизацией этого процесса.

2. Существующая модель машины центробежного торкретирования МЦТ спроектирована без достаточного методического обоснования расчета новых конструктивных узлов и элементов, существенно отличающихся от машин, использующих в качестве рабочей среды сжатый воздух.

3. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана и предложена методика расчета основных узлов машины МЦТ, учитывающая особенности ее работы

4. Разработана методика и программа расчета статической устойчивости машины МЦТ при ее работе по возведению торкреткрепи.

5. Проведен расчет основных узлов машины МЦТ, результаты которого могут быть использованы модернизации машины МЦТ.

4 **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ** **КОНСТРУКТИВНЫХ** **ПАРАМЕТРОВ МЦТ**

Проведенные исследования показали, что машины центробежного торкретования МЦТ, есть один существенный недостаток, которой ограничивает ее функциональные возможности. Это – отсутствие смесеобразующего устройства. Из-за этого возникает необходимость, наряду с устройством для возведения набрызгбетонной крепи, присутствие бетономешалки для смешивания компонентов. Бетономешалка располагается на поверхности шахты или под землей в районе околоствольного двора. Приготовленная смесь для торкретирования содержит в своем составе вяжущее и при транспортировке до машины МЦТ происходит частичное схватывание смеси и как следствие, потеря ее качества и качества возводимой крепи. Кроме того, все это приводит к снижению эксплуатационной производительности машины при высокой технической производительности (до 10м³).

В связи с вышесказанным, потребовалось усовершенствование конструкции МЦТ. Кроме того, проведенные лабораторные исследования не дали ответа на некоторые вопросы по части долговечности машины МЦТ. В частности не удалось исследовать надежность самых нагруженных элементов машины, которыми являются вал центробежного нагнетателя и лопасти импеллера. Последние, подвергаются наибольшему износу от абразивных частиц и получают значительную нагрузку от давления смеси.

Функциональную возможность машины, можно повысить, придав ей еще одно назначение, т.е. дополнительное снабдив ее бетоносмесительным устройством. Для этого известная конструкция машины МЦТ дополнительно снабжается установленными в донной части бункера встречно-вращающимися шнеками с возможностью вращения, от привода нагнетателя посредством цепной передачи. Это дополнение не только не усложняет конструкцию машины, но и упрощает ряд ее конструктивных узлов. Во- первых, нет необходимости в дополнительном приводе для шнеков, а достаточно в начале полого вала шнекового питателя предусмотреть звездочку для цепной передачи. Далее через дополнительный вал, расположенный между бункером и рамой нагнетателя вращение передается на противоположный от рабочего колеса конец бункера и через цепь приводить в движение ведомые звездочки шнеков. Причем автоматически синхронизируется частота вращения валов шнекового питателя и дополнительных шнеков в донной части бункера, что является необходимым условием для работы машины.

Во- вторых, в результате такой реконструкции отпадает необходимость в скребковом механизме со сложной полиспастной системой с дополнительным приводом (гидроцилиндром). Такая система нужна для принудительной подачи, набрызг-бетонной смеси с торца бункера к приемному окну шнекового питателя. Теперь эту функцию будут выполнять дополнительные шнеки. При этом компенсируется та высота в бункере,

которая появляется в связи с установкой дополнительных шнеков. Эта высота займет место гидроцилиндра и полиспастной системы скребкового механизма.

Общий вид усовершенствованной машины МЦТ изображен на рисунке 4.1; на рисунке 4.2- рабочий орган машины – нагнетатель с бункером; Машина МЦТ в усовершенствованном варианте состоит из шасси 1 (ПДМ ПД-25), на рукояти 2 которого смонтирована платформа 3 с нагнетателем 4 посредством гидроцилиндра 5 для выдерживания параллельности к почве выработки. Нагнетатель 4 установлен на раме 6 с возможностью вращения вокруг собственной оси с помощью гидро-реечного механизма 7, на роликах 8. Сверху нагнетателя установлен бункер 9 для компонентов смеси, разгрузочное окно которого сообщается с приемным бункером 10 нагнетателя. Боковые борта бункера 9 выполнены шарнирно-сочлененными и снабжены гидроцилиндрами, а дополнительные встречно-вращающиеся шнеки 12 – с приводным валом 13 цепной передачи 14.

Машина работает следующим образом. В транспортном положении, и перед погрузкой рабочее колесо 19 находится между шасси 1 и бункером 9. Это нужно для того, чтобы можно было его загрузить компонентами смеси при помощи погрузочно-доставочной машины. Перед началом работы нагнетатель 4 поворачивают вокруг собственной оси посредством гидро-реечного механизма 7 на 180 градусов. В зависимости от высоты торкретируемой выработки, нагнетатель 4 поднимают вверх или опускают вниз рукоятью 2 и устанавливают параллельно почве выработки посредством гидроцилиндра 5. при этом, в ходе работы нагнетатель 4 выдвигается относительно платформы 3 вдоль продольной оси машины для чего в платформе 3, предусмотрена направляющая 27, на раме установлены ролики. Выдвижение происходит при помощи гидроцилиндра, расположенного внутри платформы. После фиксации нагнетателя 4 в рабочем положении включают привод 15 нагнетателя (аксиально-поршневой гидромотор). При этом планетарный редуктор 16 передает полному валу 18 шнекового питателя 17 замедленное вращение, а валу 21 рабочего колеса 19 – вращение, равное частоте вращения привода 15. Одновременно с этим замедленное вращение через цепную передачу 14 и приводной вал 13 передается дополнительным встречно-вращающимся шнеком 12, и компоненты смеси, перемешиваясь, из бункера 9 через разгрузочное окно поступают в приемник

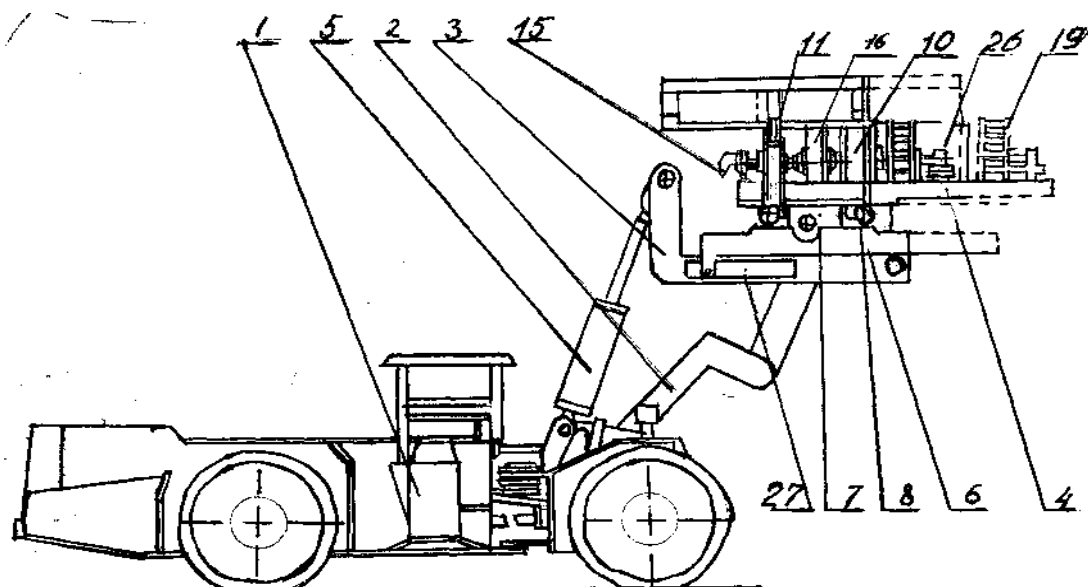


Рисунок 4.1 - Общий вид усовершенствованной машины МЦТ-М

1 – Транспортное средство; 2 – рукоять; 3 – платформа; 4 – нагнетатель; 5 – гидроцилиндр; 6 – рама; 7 – гидрореечный механизм; 8 – ролики; 9 – дополнительный бункер; 10 – приемный бункер; 11 – гидроцилиндры; 15 – гидромотор; 16 – планетарный редуктор; 19 – рабочее колесо; 26 – подшипниковая опора; 27 – направляющая.

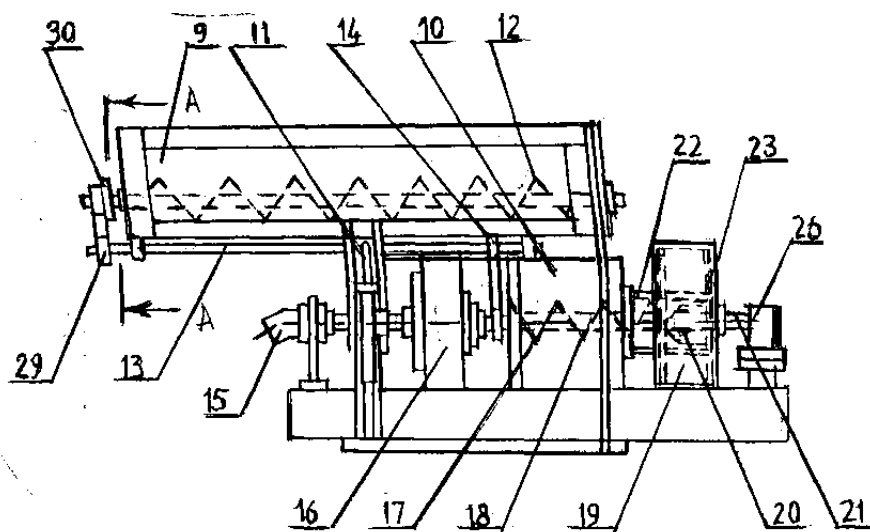


Рисунок 4.2 - Рабочий орган машины МЦТ-М

9 – Дополнительный бункер; 10 – приемный бункер; 11 – гидроцилиндры; 12 – встречно-вращающиеся шнеки; 13 – приводной вал; 14 – цепная передача; 15 – гидромотор; 16 – планетарный редуктор; 17 – шнеков питатель; 18 – полый вал; 19 – рабочее колесо; 20 – направляющий аппарат; 21 – вал; 22 – кожух; 23 – корпус; 26 – подшипниковая опора; 29 – ведущая звездочка; 30 – ведомая звездочка.

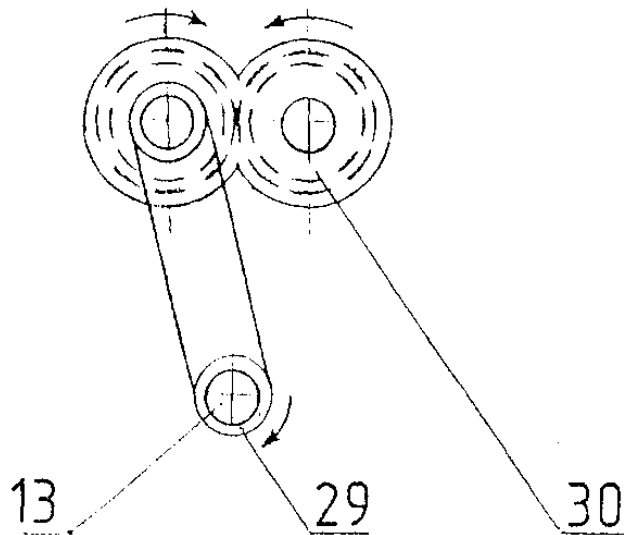


Рисунок 4.3 - Сечение А – А

бункера 10, а далее через шнековый питатель 17 и направляющий аппарат (импеллер) 20 – в рабочее колесо 19, где, приобретая потенциальную энергию под действием центробежных сил, вылетают из щели 28 корпуса 23 рабочего колеса 19 и направляется к торкретируемой поверхности. При этом корпус 23 рабочего колеса 19 реверсируется, направляя струю от почвы выработки по периметру и до почвы противоположенной стороны через щель 28. По мере расходования бетонной смеси, боковые борта бункера складываются посредством гидроцилиндров 11, принудительно падают смесь к разгрузочному окну, одновременно перемешивая ее.

4.1 Исследование надежности основных узлов МЦТ

Большой интерес представляет возможность получения информации о надежности основных узлов машины МЦТ. Такую информацию можно получить путем моделирования работы отдельных узлов машины на ЭВМ. Это дает возможность получить данные работе наиболее нагруженных элементов машины, изучить надежность их работы при различных режимах и оценить соответствие расчетных параметров условиям эксплуатации машины МЦТ.

Исследованию подвергались вал центробежного нагнетателя, как наиболее нагруженный узел, а также лопасти импеллера которые подвергаются наибольшему абразивному износу от трения при движении по ним набрызг-бетонной смеси.

Кроме указанных элементов была исследована тормозная система машины МЦТ, которая должна обеспечить надежную работу агрегата.

4.1.1 Методика компьютерного моделирования основных узлов машины МЦТ-М

Учитывая, что машина центробежного торкретирования имеет ряд существенных особенностей связанных с применением центробежного нагнетателя необходимо исследовать работу ее элементов. Эти исследования были проведены с использованием компьютерного моделирования. Для этого была применена методика, базирующаяся на системном блочно-иерархическом подходе [43].

На рисунке 4.4 представлены иерархические уровни и методы исследования машины центробежного торкретирования.

На микроуровне производится анализ напряженно-деформированного состояния (НДС), элементов и узлов машины центробежного торкретирования (МЦТ). Конструктивное соответствие реальной машины и ее модели реализуется на основе использования численных методов анализа.

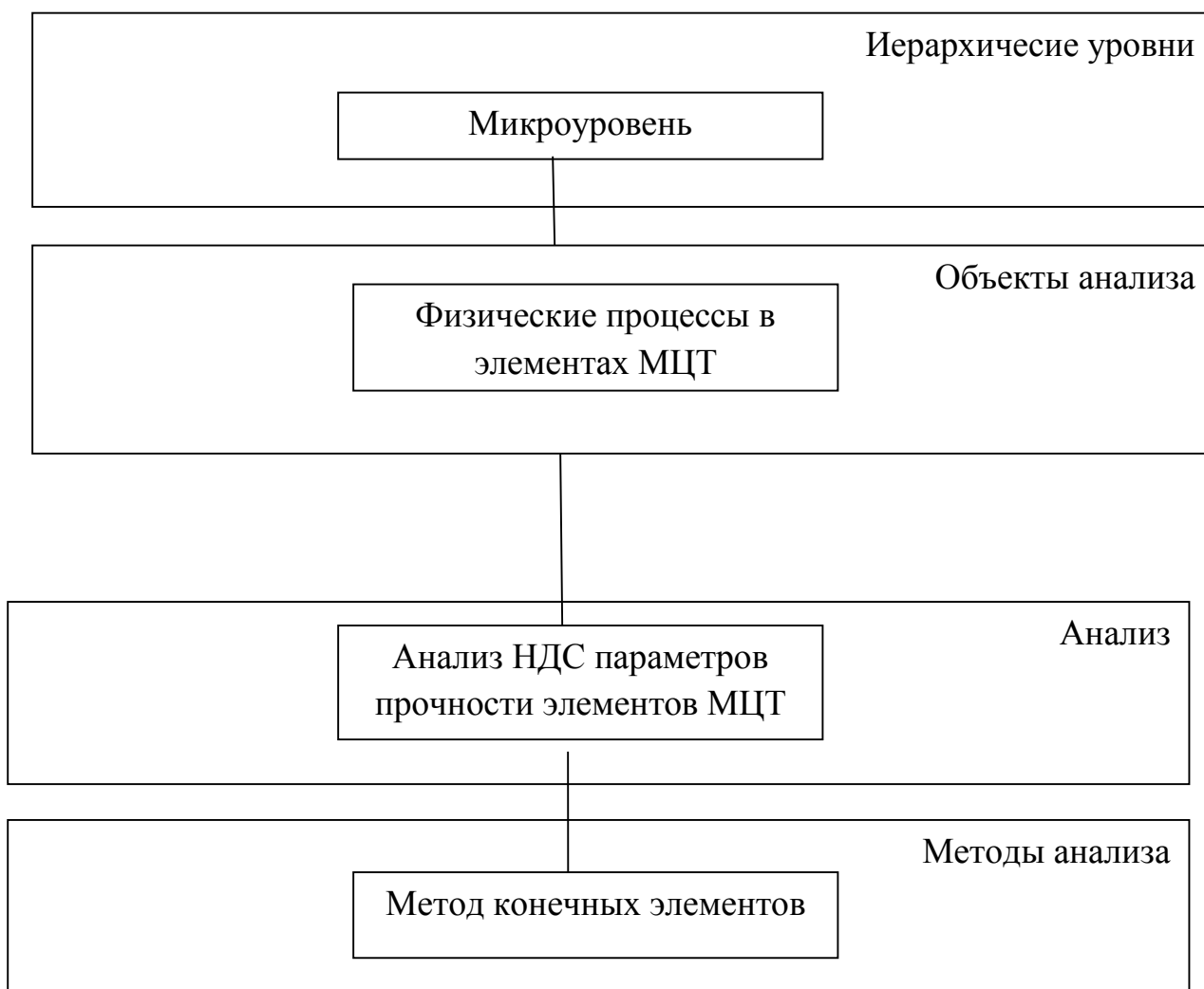


Рисунок 4.4 - Иерархические уровни и методы исследования машины центробежного торкретирования.

Использование методов микромоделирования позволяет решить ряд задач, связанных с НДС узлов машины с учетом технологических факторов (нагружение лопаток торкрет- смесью, изменение частоты вращения, размера лопаток нагнетателя и др.)

Основой для компьютерного моделирования послужила программа ANSYS, основанная на методе конечных элементов (МКЭ). Она включает в себя большое число широких возможностей, таких как препроцессор, твердотельное моделирование, прочностной, тепловой, гидравлический и смешанные виды расчета, постпроцессорную обработку результатов, графические возможности и задачи оптимального проектирования [44,45,46].

4.1.2 Основные положения метода конечных элементов

Для обеспечения необходимой прочности элементов и узлов машины центробежного торкретирования, обеспечивающих надежную работу при минимальном расходе материалов необходимо исследование напряженно-деформированного состояния конструкции. Это позволяет обеспечить более высокую точность расчетов конструкции на прочность и обеспечить ее долговечность.

В качестве одного из наиболее эффективных методов расчета прочности сложных конструкций следует отметить метод конечных элементов [47,48,49,50].

Напряженно-деформированное состояние элементов и узлов МЦТ в зависимости от нагрузки на них и характеристик материалов, из которых они изготовлены можно описать дифференциальными уравнениями, любое из которых может быть получено из общего квазигармонического уравнения [43]

$$\frac{d}{dx} \left(K_x \frac{du}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(K_y \frac{du}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(K_z \frac{du}{dz} \right) + Q = 0, \quad (4.1)$$

где x, y, z - пространственные координаты;

u - искомая непрерывная функция;

K_x, K_y, K_z - коэффициенты, описывающие свойства объекта;

Q - внешнее воздействие.

4.1.3 Выбор расчетной схемы центробежного нагнетателя

Новым неисследованным элементом машины МЦТ является центробежный нагнетатель. Совершенствование его конструкции, снижение металлоемкости затруднено тем, что неизвестны нагрузки на лопатки нагнетателя и вал, на котором он установлен, а известные методики расчета таких конструкций не учитывают ряд силовых, конструктивных, и технологических факторов, которые оказывают существенное влияние на прочностные характеристики нагнетателя. Получить истинную картину напряженно-деформированного состояния этих элементов можно на основе программы ANSYS.

Расчетная схема центробежного нагнетателя представляет собой условие отображения реальной конструкции и задается в виде пространственной системы связанной в узлах конечных элементов с подробным изображением их технологии, связей, внешних нагрузок, граничных условий и т.п.

В нашем случае была принята объемная модель с возможностью вращения вала вокруг собственной оси UZ. Для моделирования был принят элемент Solid 73 (рисунок 4.6) и материал объекта, со следующими характеристиками: материал изотропный, номер материала MAT=1, модуль упругости $E=2 \cdot 10^5$ МПа; плотность $\rho=7850$ кг/м³.

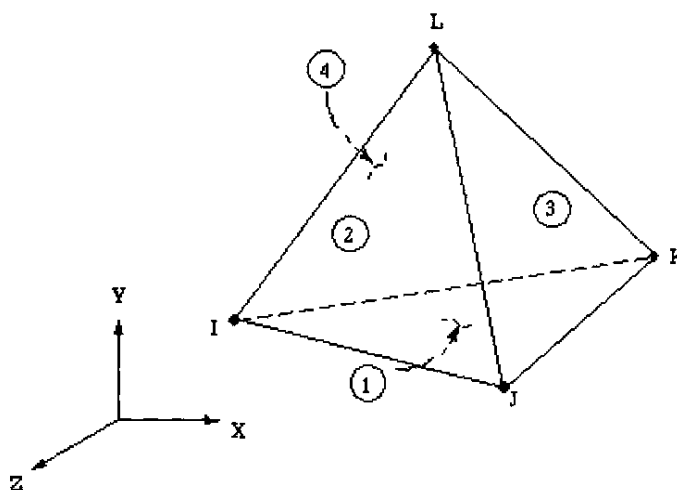


Рисунок 4.6 - Общий вид твердотельного элемента SOLID 73

В таблице 4.1 приведены основные входные и выходные характеристики использованных элементов [44].

Таблица 4.1 - Входные характеристики элемента SOLID73

Название элемента	SOLID73
Узлы	I,J,K,L,
Степени свободы	UX, UY, UZ ROTX, ROTY, ROTZ
Реальные константы	Нет
Свойства материала	EX, EY, EZ, ALPX, ALPZ, (PRXY, PRYZ, PRXZ, or NUXY, NUYZ, NUXZ), DENS, GXY, GYZ, GXZ, DAMP
Поверхностные нагрузки	Давления: сторона 1 (J-I-K), сторона 2 (I-J-L), сторона 3 (J-KL), сторона 4 (K-I-L)
Нагрузки на тело	Температурные: T(I), T(J), T(K), T(L)
Специальные характеристики	Большое отклонение, пластичность

Геометрическое построение структурной модели осуществлялось следующим образом: задавались координаты точек, по которым строились линии, из которых в свою очередь состояются поверхности, объединяемые в объемы (рисунок 4.7)

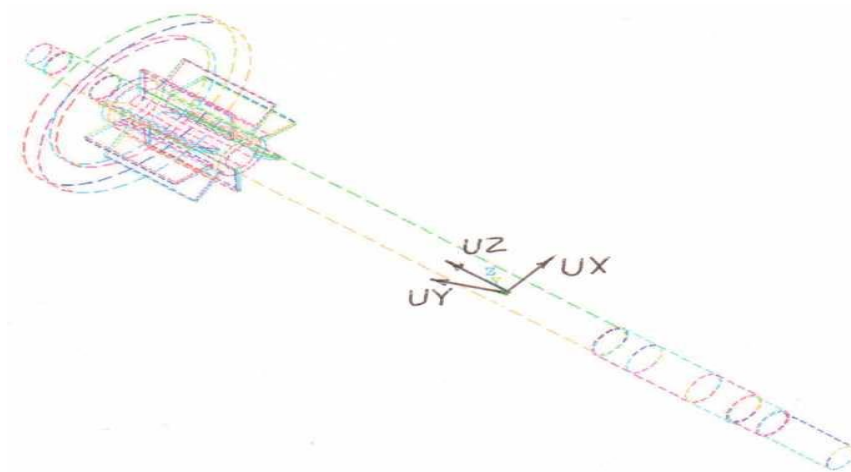


Рисунок 4.7 - Геометрическое построение структурной модели вала с импеллером центробежного нагнетателя

Производилось разбиение областей конечными элементами (рисунок 4.8)



Рисунок 4.8 Разбиение областей структурной модели вала с импеллером центробежного нагнетателя

После получения конечно-элементной модели исследуемого объекта было проведено закрепление ее с целью ограничения степеней свободы, для чего была учтена реальная ситуация, т.е. тот факт, что тело под действием внешней приложенной нагрузки и сил реакции должно находиться в равновесии. Закрепление производится по верхнему торцу лопатки импеллера

А-А- по осям UX и UY , (расчетная величина предельной нагрузки по лопатку $0,4 \text{ Н/м}$) тем самым имитировалось давление торкрет смеси на одну из сторон лопаток. Кроме того, имитация подшипниковых узлов осуществлялась закреплением поверхностей I, II, III по оси UZ .

Имитация момента вращения привода машины центробежного торкретирования осуществлялась приложением, сосредоточенных нагрузок, противоположных по направлению, вдоль оси UY ($F=13,3 \text{ Н/м}$) к узлам В и С (рисунок 4.9).

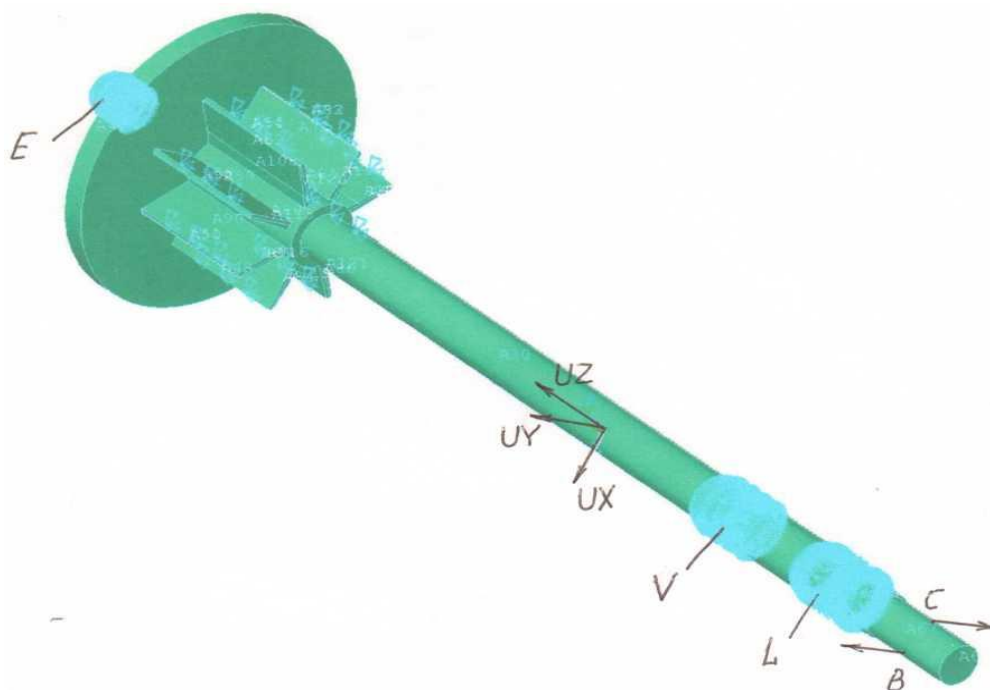


Рисунок 4.9 Закрепление поверхностей и приложение сосредоточенных нагрузок

4.1.4 Результаты компьютерного моделирования

По результатом компьютерного моделирования получены картины эквивалентных напряжений вдоль вала и лопаток импеллера, а также графики абсолютной величины эквивалентной нагрузки. Их анализ позволяет представить реальную картину напряженно-деформированного состояния исследуемых элементов.

Из рисунков распределения эквивалентной нагрузки $Seqv$ (рисунки 4.10, 4.11, 4.12) видно, что интересующая нас область лопаток импеллера загружена следующим образом: наиболее нагружен узел 7 со стороны противоположной стороне нагруженной торкрет-смесью у основания лопатки. Также наблюдается повышение нагрузки у края вершины лопатки со стороны нагруженной торкрет-смесью. Для получения более подробной картины распределения эквивалентной нагрузки, в интересующих нас направлениях, построены графики зависимости напряжений в исследуемой области от длины произвольно выбранного контура.

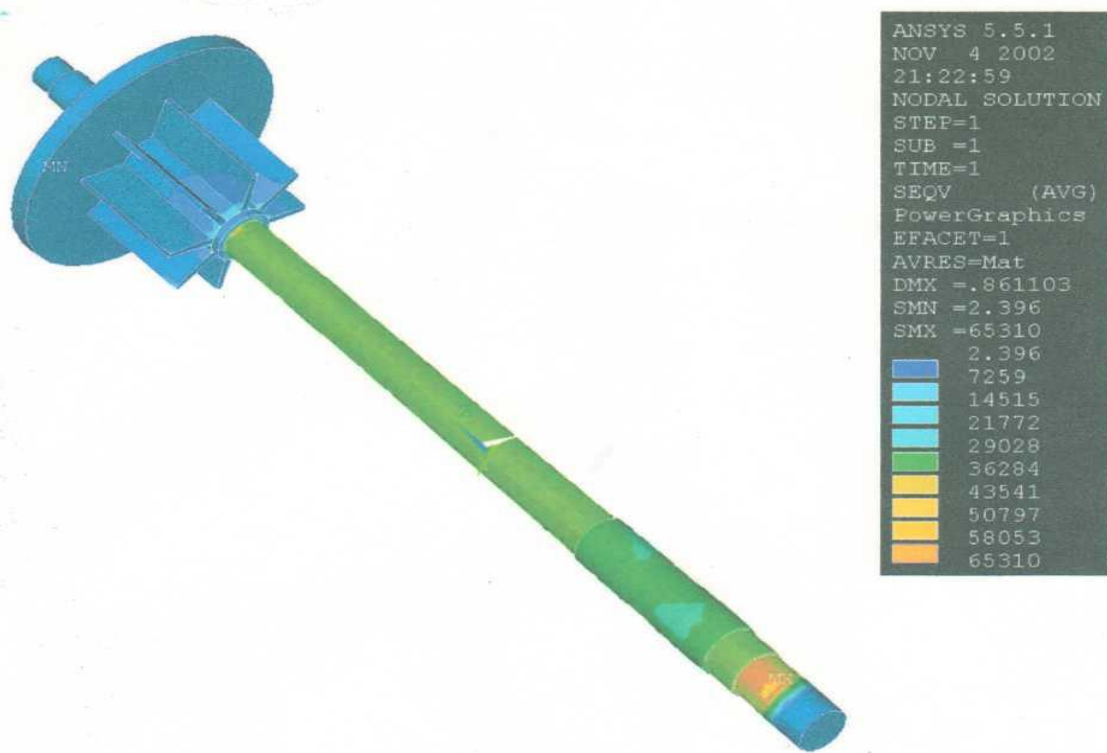


Рисунок 4.10 - Распределение эквивалентных напряжений

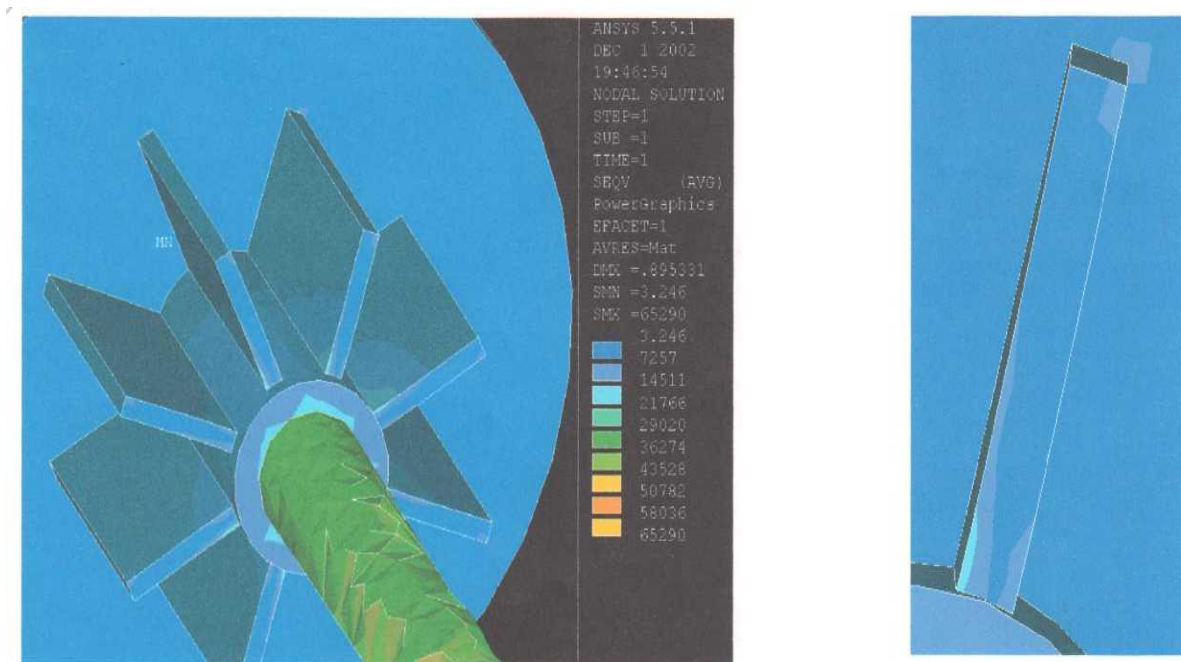


Рисунок 4.11 - Распределение эквивалентных напряжений

Из графика (рисунок 4.12) изменения эквивалентных напряжений по направлению 1 – 2 (вдоль оси вала), видно, что наибольшие напряжения на валу наблюдаются на расстоянии 0,6 м ($Segv = 4100$ кПа) от точки 1 и на конце вала в месте приложения пары сил ($Segv = 4458$ кПа).

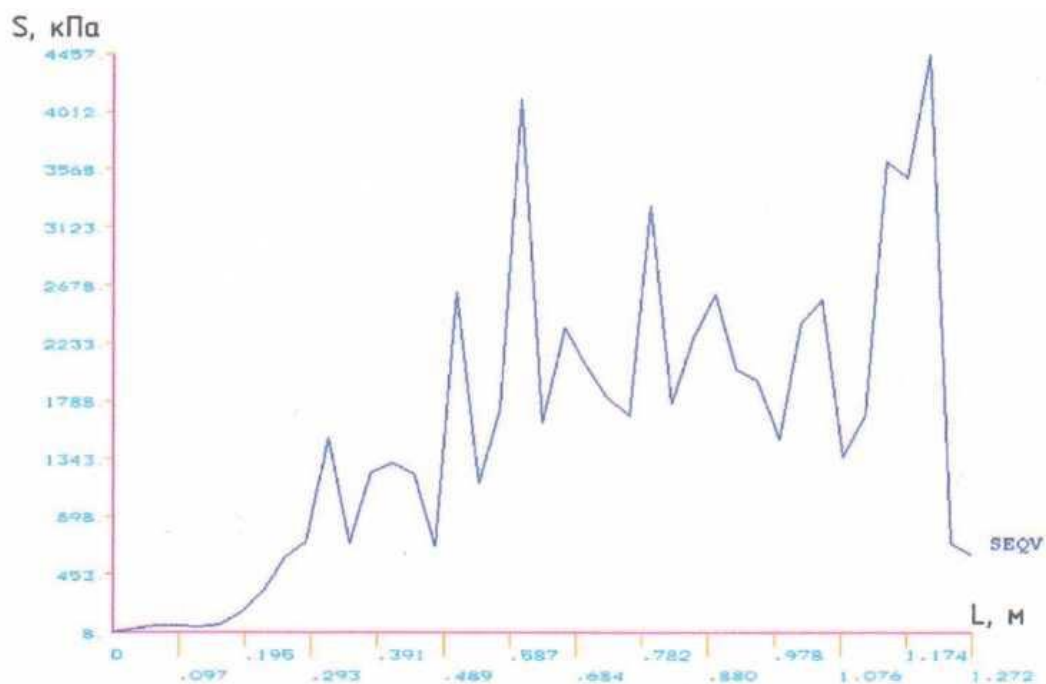


Рисунок 4.12 - График изменений эквивалентных нагрузок по направлению 1 – 2

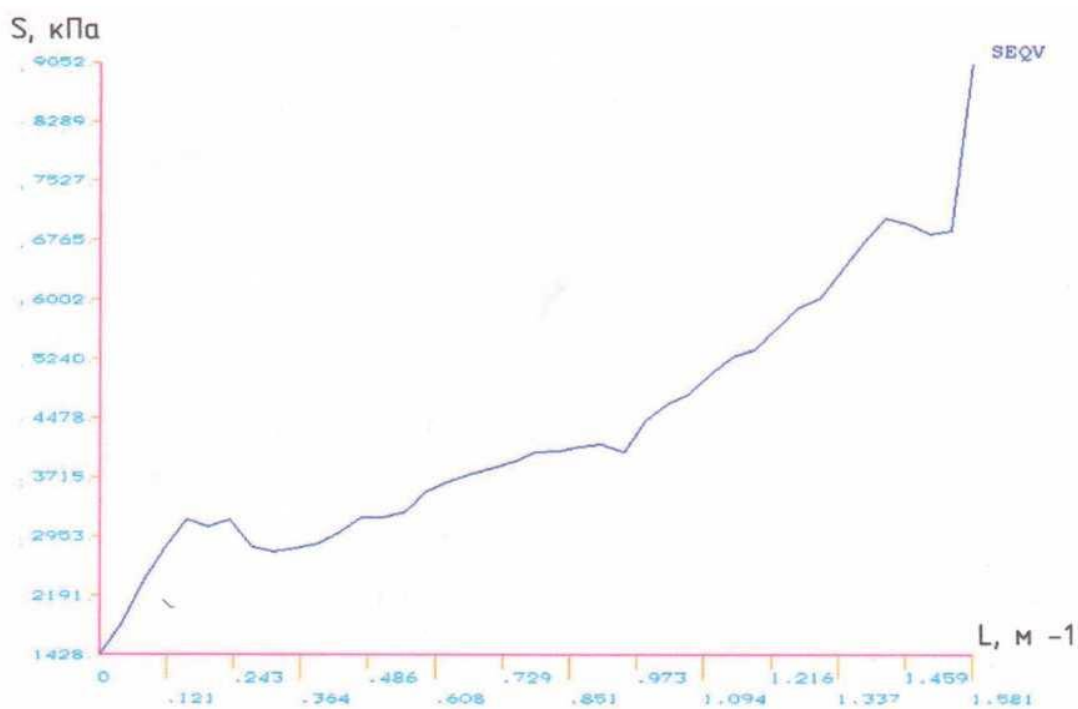


Рисунок 4.13 - График изменения эквивалентных напряжений по направлению 3-4

Из графика (рисунок 4.13) изменения эквивалентных напряжений по направлению 3-4 (вдоль основания лопатки), видно, что максимальное напряжение приложено у края лопатки (точка 3) и составляет 9050 кПа.

Из графика (рисунок 4.14) изменения эквивалентных напряжений по направлению 5-6 (поперек вершины лопатки), видно, что максимальное

напряжение складывается на участке удаленном от края лопатки нагруженного торкретсмесью (узел 5) на 1,3 мм; $Segv = 15417$ кПа.

Из графика (рисунок 4.15) изменения эквивалентных напряжений по направлению 7-8 (поперек основания лопатки), видна концентрация напряжений у противоположенных торцов лопатки, в точке 7 ($Segv = 12020$ кПа), и в точке 8 ($Segv = 9880$ кПа).

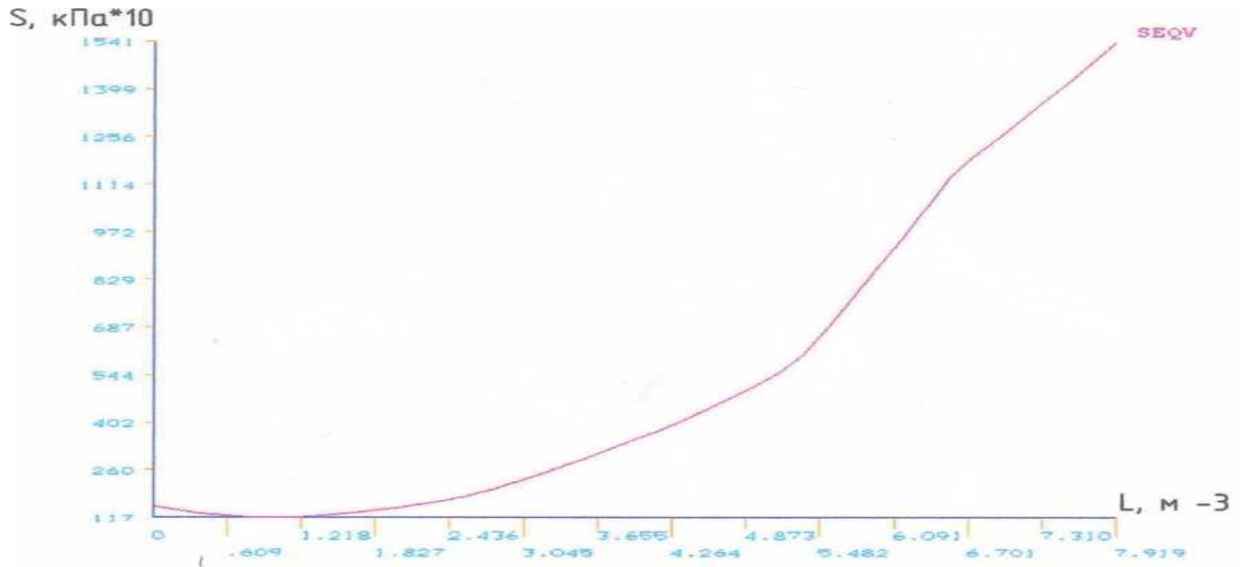


Рисунок 4.14 - График изменения эквивалентных напряжений по направлению 5-6

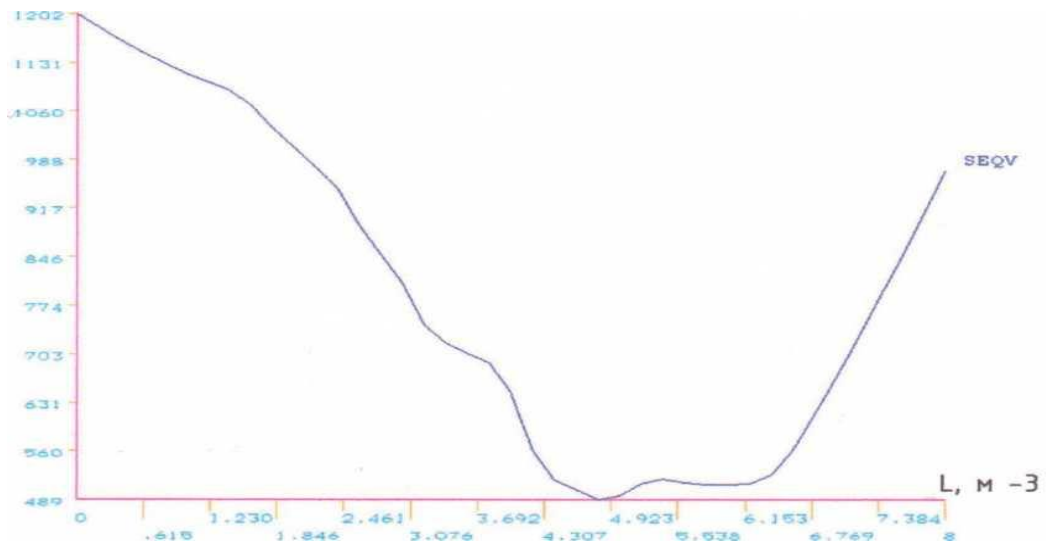


Рисунок 4.15 - График изменения эквивалентных напряжений по направлению 7-8

Из графика (рисунок 4.15) изменения эквивалентных напряжений по направлению 9-10 (от одной вершины лопатки до противоположной), видны симметричные скачки напряжений в точках равноудаленных от оси вала на 22 мм (т-ка К), и составляют соответственно 11975 кПа и 11950 кПа.

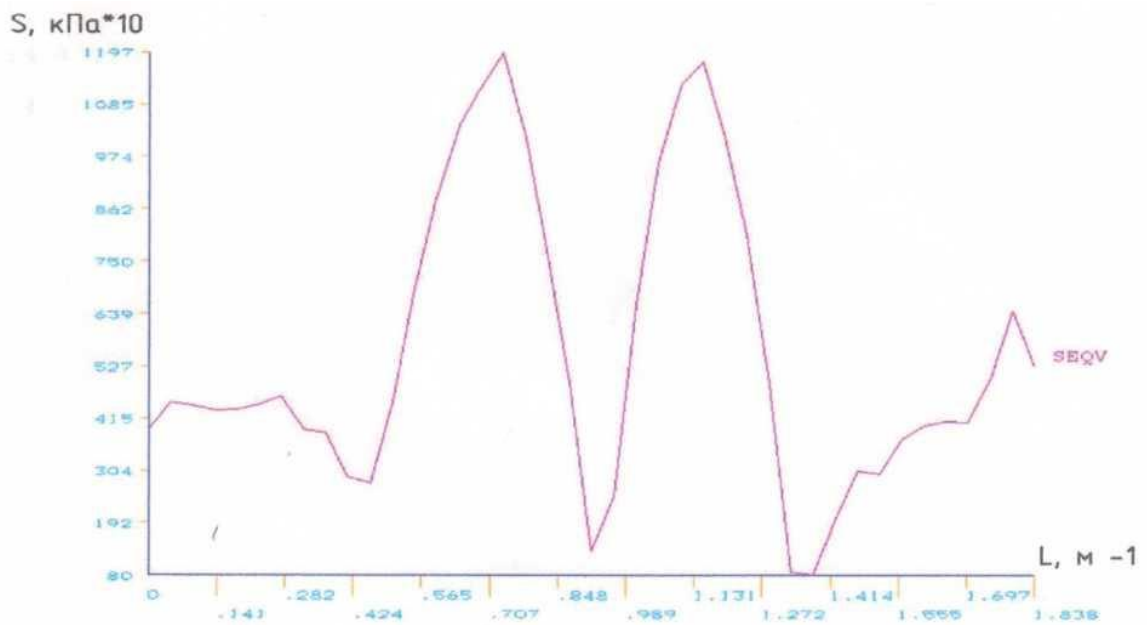


Рисунок 4.16 - График изменения эквивалентных напряжений по направлению 9-10

Из графика (рисунок 4.16) изменения эквивалентных напряжений по направлению 11-10 (вдоль вершины лопатки), видны скачки напряжения у концов лопатки, т-ка 11 Segv = 4080 кПа, т-ка 10 Segv = 3500 кПа.

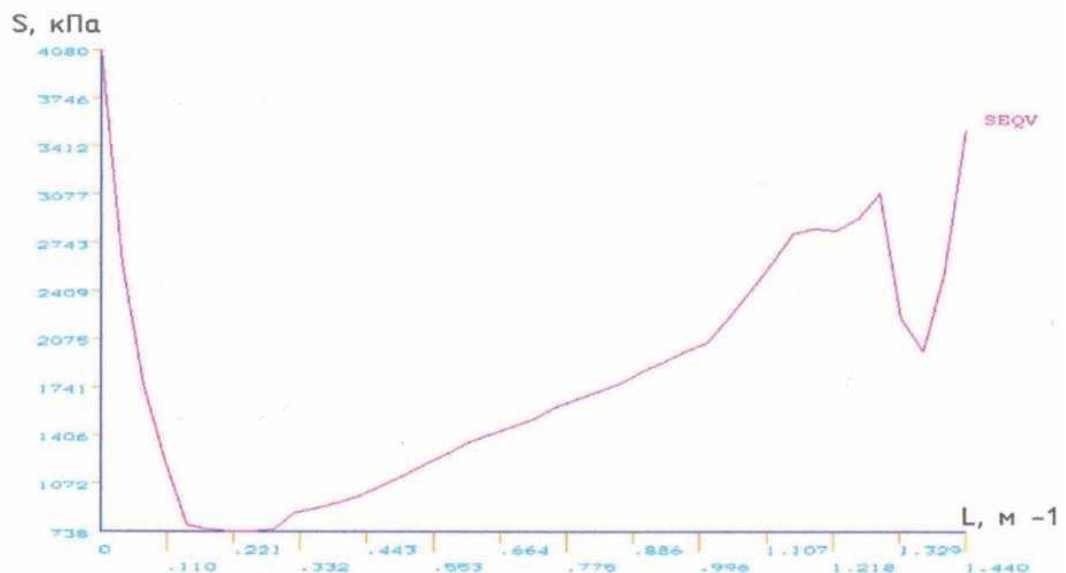


Рисунок 4.17 - График изменения эквивалентных напряжений по направлению 11-10

Анализируя данные полученных графиков, можно сделать следующие выводы:

При рассмотрении концентраций напряжений по различным направлениям вала центробежного нагнетателя, выяснилось, что зачастую предельное напряжение материала (сталь 40X, $\sigma = 640$ МПа) [51], во много раз

превышает приложенные нагрузки, что дает основания для пересмотра конфигурации сечения лопаток импеллера вала центробежного нагнетателя МЦТ, в целях экономии материала, снижения массы и увеличении срока их службы,

На основе анализа величины эквивалентных напряжений, возникающих в построенной структурной модели вала центробежного нагнетателя МЦТ, предлагается увеличить сечение в основании лопатки до 10 мм со стороны возникновения наибольших нагрузок, и уменьшить сечение у вершины лопатки до 6 мм с наименее загруженной стороны (рисунок 4.17). Экономия материала лопатки составляет 56 г на одной лопатке, и соответственно 448 г на восьми лопатках импеллера.



Рисунок 4.18 - Модернизированная конфигурация лопатки импеллера

С учетом вышеупомянутого предложения была построена структурная модель вала центробежного нагнетателя МЦТ с модернизированным сечением лопаток импеллера.

По результатам сравнительного анализа графиков изменения эквивалентных напряжений была составлена таблица 4.2

Таблица 4.2 - Изменение эквивалентного напряжения

Направление	Напряжение эквивалентное 1-ый вариант Segv , кПа	Напряжение эквивалентное 2-ой вариант Segv , кПа	Изменение эквивалентного напряжения, кПа	Изменение эквивалентного напряжения, %

1-2	4458	4639	+181	+4
3-4	9052	6528	-2524	-27,9
5-6	15420	16820	+1400	+9
7-8	12030	11760	-270	-2,3
9-10	11975	12080	+105	+0,9
11-10	4080	4171	+91	+2,2

Данные результатов анализа графиков изменения эквивалентных напряжений подтверждают целесообразность изменения конфигурации лопаток импеллера вала центробежного нагнетателя МЦТ.

Анализ графиков распределения эквивалентных нагрузок позволяет рекомендовать методику расчета элементов МЦТ по средневзвешенному значению эквивалентных нагрузок. Места с пиковыми значениями нагрузок должны проверяться на допустимую перегрузку в соответствии с существующими проектными нормативами.

4.2 Пути совершенствования конструктивных параметров МЦТ

Возможные пути совершенствования конструктивных параметров нам видятся в двух направлениях. Первый – это усовершенствование отдельных узлов, надежность которых является определяющей для машины в целом. И второй путь – это повышение функциональных возможностей машины МЦТ.

К первому пути совершенствования относятся и проведенные компьютерные исследования отдельных элементов машины МЦТ. В результате проведения этих работ даны рекомендации разработчикам по конкретным деталям и разработана методика расчета основных параметров МЦТ. С помощью этой методики можно исследовать работу любого узла машины в различных режимах и дать рекомендации разработчикам по усилению той или иной детали с целью повышения долговечности работы машины. Эту методику можно применить и к другим видам горных машин, работающих в экстремальных условиях при подземной разработке полезных ископаемых.

Второй путь усовершенствования машины - как указано выше – это расширение функциональных возможностей МЦТ. Дело в том, что техническая производительность машины является достаточно высокой и ограничивается производительностью шнекового питателя (до 10м³). Если учесть, что у существующих машин для возведения набрызгбетонной крепи производительность не превышает 4м³/ч., то по этому показателю МЦТ находится далеко впереди. Но остается нерешенной задача как обеспечить такую машину затворенной торкрет-смесью, поскольку на самой машине нет смесеобразующего узла. Вследствие чего, эксплуатационная производительность машины намного ниже, чем техническая. Здесь находится резерв по повышению ее функциональной возможности, т.е. машина должна сама готовить бетонную смесь, тогда не будет необходимости в бетоносмесительном узле. За счет сокращения времени на доставку

затворенной торкрет-смеси, увеличится эксплуатационная производительность машины.

4.3 Моделирование работы комбинированной податливой крепи

С целью получения картины работы предложенной комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью было проведено компьютерное моделирование с использованием программы Autodesk inventor [52,53,54,55,56] (рис. 4.26)

Программа Autodesk inventor разработана компанией Autodesk для того, чтобы обеспечить быстрое и качественное параметрическое трехмерное твердотельное моделирование различных объектов.

Система Autodesk имеет в своем составе довольно мощный и в то же время простой и удобный в использовании инструментарий, который позволяет производить визуальное моделирование объектов и деталей, осуществлять различные расчеты, делать анализ напряженно-деформированного состояния объектов.

Программные продукты Autodesk inventor имеют всесторонний гибкий набор программного обеспечения для 3D моделирования.

Модель inventor является точным 3D цифровым прототипом и объединяет прямое моделирование и форму, адаптацию и функцию проекта.

Производимая при помощи Autodesk inventor визуализация позволяет в полной мере оценить все нюансы и тонкости моделируемой конструкции.

Изображения создаваемые с помощью Autodesk inventor, получаются очень реалистичными и имеют практически фотографическое качество. Программный пакет дает возможность произвести их анимацию, а полученный результат очень помогает наилучшим образом донести конструкторскую идею до исследователя.

Программный комплекс Autodesk inventor позволяет также создать точные цифровые модели практически любого оборудования. Для этого конструкторам достаточно объединить выполненные детали в единые сборки и наложить между ними все необходимые зависимости. Цифровые модели дают возможность не только с очень высокой степенью точности и достоверности оценить эргономику и дизайнерские параметры изделий, но также произвести расчет множества их характеристик, а также осуществить анализ работы.

К основным возможностям программы Autodesk inventor можно отнести:

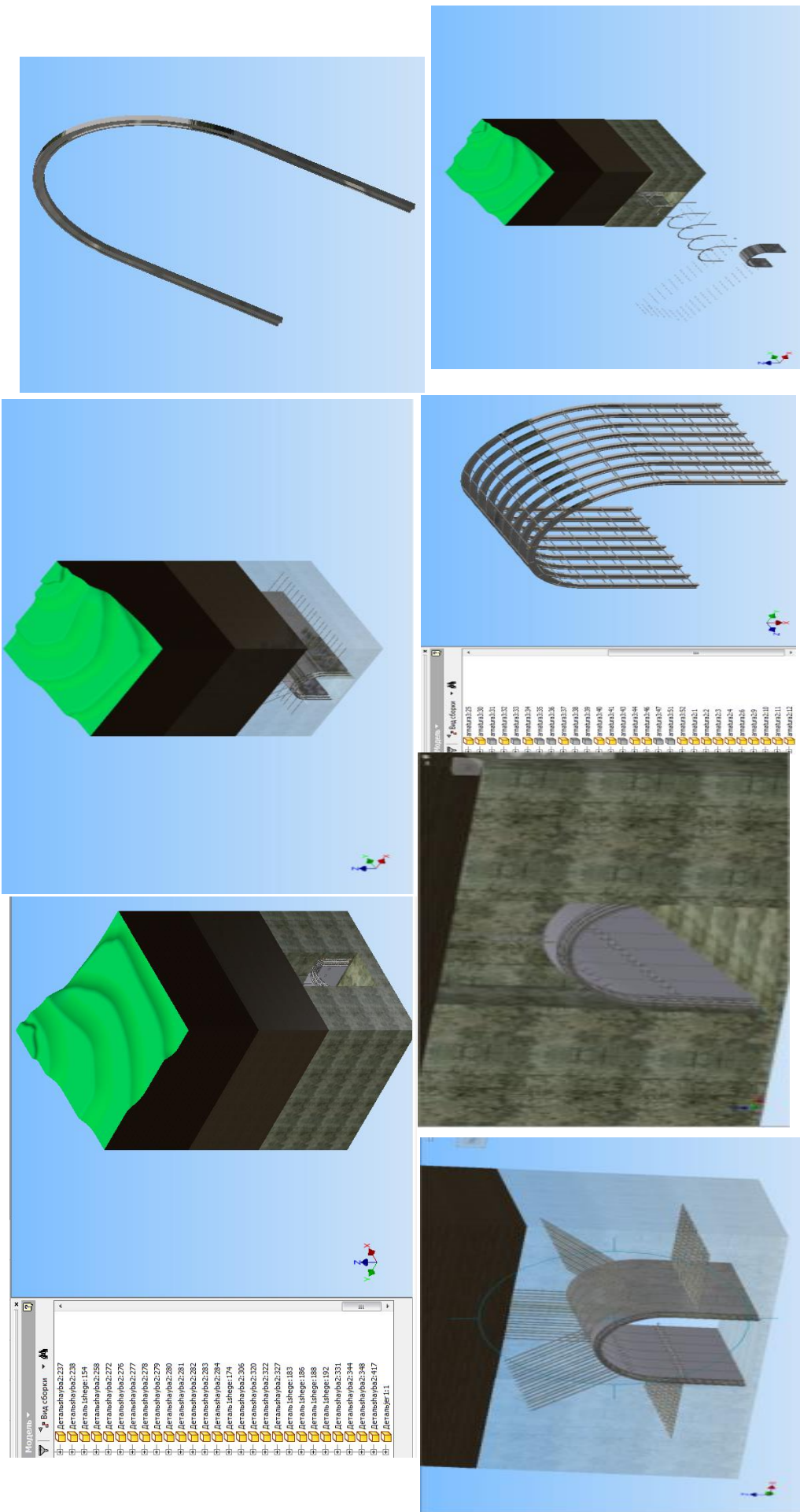


Рис. 4.26 - Компьютерное моделирование работы комбинированной податливой крещи

- взаимодействие модуля с Auto CAD Mechanical, благодаря чему документация формируется гораздо быстрее, а пояснения к чертежам компонентов наносятся проще. При этом изменение файлов в inventor приводят к автоматическому обновлению чертежей Auto CAD Mechanical.

- чертежи inventor будут сохраняться в формате DWG, а значит, их можно распечатать, просматривать и измерять в программе Auto CAD с высокой точностью, при этом исходная модель и полученный результат будут иметь полную ассоциативность.

- программа Autodesk inventor может открывать DWG-файлы, которые могут быть распечатаны, просмотрены и измерены, кроме того, при 3D-моделировании можно использовать проектные данные из файлов 2D.

- создание блоков Auto CAD из разных видов чертежей inventor, причем полученные виды могут быть вставлены в исходные чертежи Auto CAD.

- функция синхронизации шаблонов позволяет открывать DWG-файлы в inventor, при этом слои, размерные и текстовые стили будут формироваться автоматически такими, какими они были в Auto CAD.

Программа Autodesk inventor использует такие форматы, как:

- IPT (для деталей),
- IAM (для узлов),
- IDF и DWG (для чертежей).

При этом любые данные могут быть переформатированы в DWG, за счет чего налаживается непосредственная интеграция с Auto CAD и приложениями, созданными на его основе. Например, Auto CAD Mechanical. Кроме того, программой поддерживается процесс импорта и экспорта таких файлов, как CATIA, JT 6, JT 7, UG-NX и многих других. С помощью Autodesk inventor можно решить целый комплекс задач, связанных с проектированием любой степени сложности.

Анализ чертежей предлагаемой крепи показал, что в зависимости от внешней нагрузки при достижении определенной нагрузки составные элементы крепи теряют свою работоспособность. При аналитических расчетах, основанных на кинематических схемах не учитывается влияние некоторых параметров на конструктивные элементы крепи, хотя они могут оказать существенное влияние на безопасную работу крепи. Потому что, чтобы учесть влияние этих факторов, наряду с аналитическими расчетами необходимо учитывать и результаты моделирования.

Анализ показал, что на крепь действует следующие силы:

- сила горного давления со стороны вмещающих закрепляемых пород.
- сила смещения крепи за счет давления;
- напряжения в элементах крепи.

Комбинированная податливая крепь должна работать в пределах безопасных напряжений, не допускающих ее разрушения. Для установления величины безопасных напряжений крепи с помощью программы Autodesk inventor была промоделирована работа элементов предлагаемой крепи в координатах X,Y,Z (рисунок 4.27)

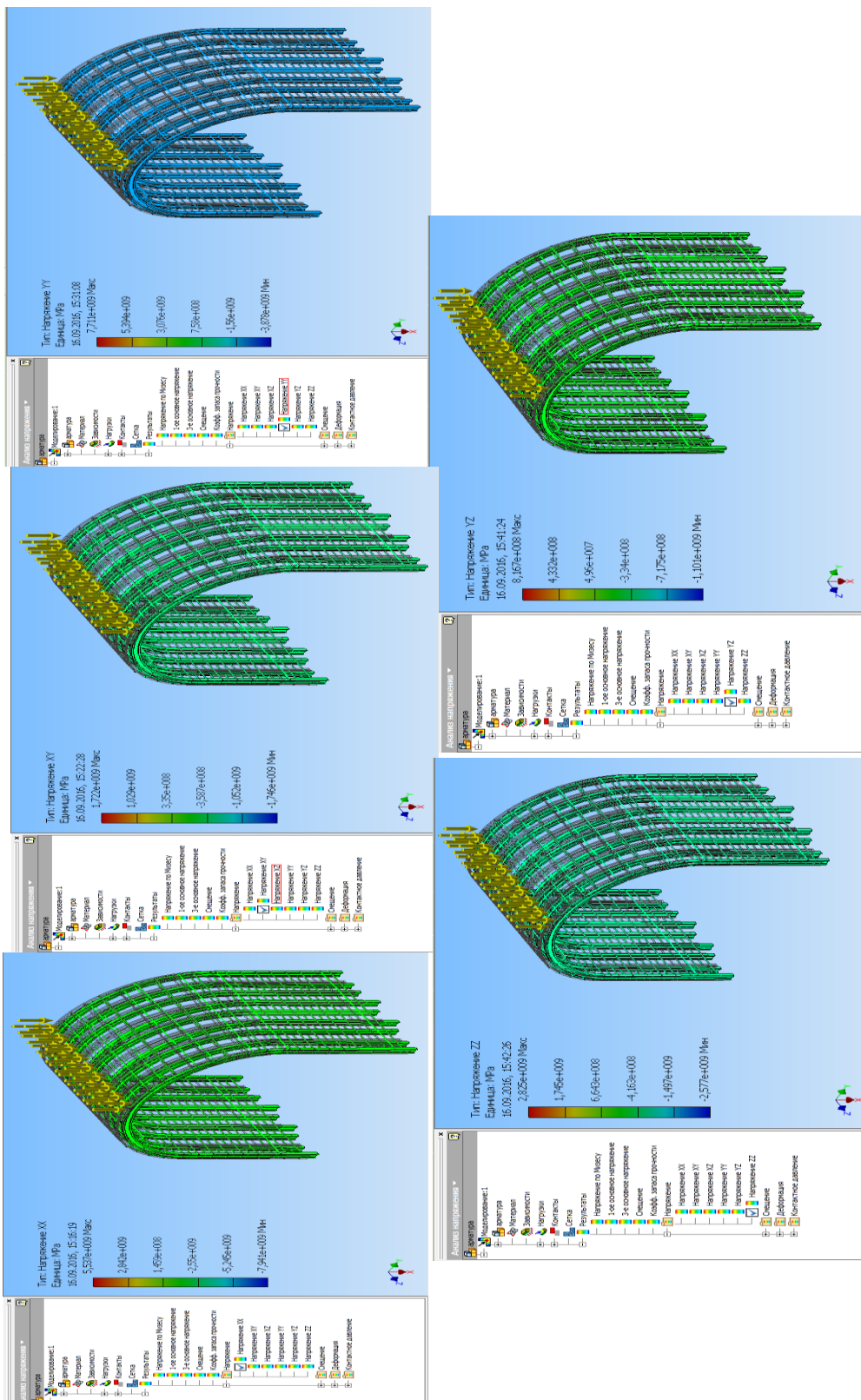


Рис. 4.27 - Напряжения в комбинированной податливой крепи

Масса закрепляемых вмещающих пород создает определенные напряжения в элементах крепи потому для того, чтобы предлагаемая крепь отвечала всем требованиям к ее эффективной работе, величина напряженно-

деформированного состояния ее элементов должна быть меньше, чем предел прочности материала крепи.

4.5 Экономическая эффективность предлагаемой технологии возведения комбинированной податливой крепи.

Предлагаемая комбинированная податливая крепь с регулируемой несущей способностью как показали выполненные исследования технически позволяет обеспечивать требуемую устойчивость горных выработок. Вместе с тем использование трубчатых гидрораспорных анкеров (ТГА) и машина центробежного торкретирования позволяют получить и экономический эффект.

Для сравнения был проведен расчет экономической эффективности с использованием фактических данных по одному из рудников Казахстана, применяющих сталеполимерное анкерное крепление и набрызгбетонную крепь.

Технико-экономические преимущества трубчатых гидрораспорных анкеров, оцениваемые по эксплуатационным затратам состоят в их более низкой стоимости за счет меньшей металло- и материалоемкости и более высокой производительности труда на установку анкерной крепи.

Стоимость изготовления и установки одного сталеполимерного анкера составляет 14430,1тг. По расчетам стоимость изготовления и установки одного трубчатого гидрораспорного анкера составляет 13382,4тг. Таким образом установка одного ТГА позволяет получить прямой экономический эффект в размере

$$\Delta C = C_1^A - C_2^{\text{ТГА}} = 14430,1 - 13382,4 = 1047,7 \text{ тг},$$

где C_1^A - себестоимость изготовления и установки сталеполимерного анкера тг; $C_2^{\text{ТГА}}$ - себестоимость изготовления и установки трубчатого гидрораспорного анкера, тг

На 1 м² закрепляемой кровли устанавливается 4 анкера. При расчете на 1.0 тыс. м² закрепляемой кровли экономический эффект составляет

$$\mathcal{E}_1 = \Delta C \cdot 4 \cdot A = 1047,7 \cdot 4 \cdot 1000 = 4190,8 \text{ тыс. тг},$$

где A - закрепляемая площадь.

Возведение 1м² набрызг-бетонной смеси на действующем руднике составляет 2154,8 тг при толщине крепи 40мм. При возведении крепи толщиной 200 мм потребуется 3^x-4^x кратный проход и стоимость возведения 1м² такой крепи составит ориентировочно 7541,8тг.

При использовании машины МЦТ 12 возведение опорного пояса возможно осуществить за 1 проход. При этом средняя себестоимость закрепления 1 м² кровли и стенок выработки составит по расчетам 6317,4тг.

Тогда при закреплении торкрет-бетоном 10 тыс. м² площади экономический эффект составит

$$\mathcal{E}_2 = (C_1^{\text{CM}} - C_2^{\text{CM}})A = (7541,8 - 6317,4) \cdot 10000 = 12\,244\,000\text{тг},$$

где C_1^{CM} - себестоимость возведения 1 м^2 торкрет-бетонной крепи существующим способом, тг

C_2^{CM} - себестоимость возведения 1 м^2 торкрет-бетонной крепи при использовании МЦТ 12, тг

Общий экономический эффект составляет

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 4,191 + 12,244 = 16,435 \text{ млн.тг}$$

Таким образом, можно считать, что предлагаемую крепь технически и экономически целесообразно использовать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации осуществлено решение важной народно-хозяйственной задачи, представляющий научно обоснованные технические и технологические разработки, обеспечивающие повышение качества крепления горных выработок путем возведения податливой крепи с высокой степенью механизации.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Для повышения эффективной работы крепи горных выработок целесообразно использовать податливые крепи, допускающие смещения и деформации за пределами упругих напряжений при сохранении своей несущей способности.
2. Предложена конструкция податливой комбинированной крепи с регулируемой податливостью, состоящая из поясов трубчатых гидрораспорных анкеров и железобетонной арки, возводимых в определенном порядке. В период интенсивного смещения горных пород работают только трубчатые гидрораспорные анкеры с заданной несущей способностью, а к концу этого периода железобетонная арка, подвешенная к анкерам опирается на почву закрепляемой выработки и включается в работу.
3. Базируясь на воззрениях о совместной работе анкеров с закрепляемыми вмещающими породами предложена модель «анкер-закрепляемые породы» в основу которой положена схема анкера, представляющая собой замкнутый контур сложного очертания, нагруженный симметричной равномерно распределенной нагрузкой.
4. Разработана методика расчета и прогнозирования основных характеристик гидрораспорной трубчатой анкерной крепи на базе выявленных закономерностей зависимости несущей способности анкера от давления жидкости распора, обеспечивающей полное раскрытие трубчатого анкера и характеристик закрепляемых горных пород.
5. Для улучшения качества и повышения эффективности возведения набрызг-бетонной крепи целесообразно использовать новый принцип-центробежный нагнетатель, позволяющий возводить с полной механизацией крепь толщиной до 200-250 мм за один проход.
6. Разработана методика компьютерного моделирования нагрузок на элементы центробежного нагнетателя и по результатами исследований установлены рациональные размеры лопаток нагнетателя.
7. Разработана методика компьютерного моделирования работы комбинированной податливой крепи и получена качественная характеристика нагрузок на такую крепь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Справочник по горнорудному делу. М.: Недра, 1983
- 2 Ткачёв В.А. Шахтное и подземное строительство. Технология строительства горных выработок: учебное пособие В.А. Ткачёв, А.Ю. Прокопов, Е.В. Кочетов //Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008.-244 с.
- 3 Каретников В.Н, Клейменов В.Б, Нуждихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок –М.: Недра, 1989
- 4 Баклашов И.В. Механизация подземных сооружений.
- 5 Типовые паспорта крепления горных выработок для рудников цветной металлургии. –М.: МинЦветМет СССР 1978г
- 6 Мельников Н.И. Проведение и крепление горных выработок –М.: Недра 1988г
- 7 Порцевский А.К. Технология проведения горизонтальных, вертикальных горных и горно-разведочных выработок. –М.: Недра, 2004.
- 8 Проведение подземных горных выработок: учеб.пособие для техникумов / В.К. Шехурдин, Е.Н. Холобаев, В.И. Несмотряев. –М.: Недра, 1980, 295 с.
- 9 Гелескул М.И., Каретников В.И. Справочник по креплению капитальных подготовительных горных выработок. – М.: Недра, 1982. – С. 160.
- 10 Давыдов Ю.Н. Технология проведения подготовительных выработок: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2007. - 156 с.
- 11 Шахтное подземное строительство. Технология строительства горизонтальных и наклонных выработок: учеб.пособие / П.С. Сыркин, И.А. Мартыненко, М.С. Данилкин- Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. -430 с.
- 12 Мельников А.И. Анкерная крепь – М.: Недра, 1980.
- 13 Шириков А.П., Лидер В.А. и др. Анкерная крепь. Справочник. – М.: Недра, 1990.
- 14 Оборудование производство фирмы Atlas Copco 2015 г.
- 15 Оборудование фирмы MINOVA 2014 г.
- 16 Бекежанов Е.Б., Шапошник Ю.Н., Неверов С.А. и др. Обоснование применения армокасов при оценке устойчивости массива горных пород по рейтинговой классификации Новежского геотехнического института.
- 17 BS 7861-1:1996 – «Stratareinforcement support system used in coal mines. Part 1, RMT (BS 7861-1:1996 –Детали системы укрепления породы, используемой в шахтах. Часть 1. Технические требования, RMT).
- 18 Горный журнал Казахстана. Податливые крепи и механизация их возведения. №11, стр. 26-33, 2016г.
- 19 Семевский В.Н. Штанговая крепь.- М.: Металлургиздат, 1956.
- 20 Мельников Н.И. Анкерная крепь.- М.: Недра, 1980.

- 21 Тимофеев О.В, Мордухович М.М. Временного руководство по применению штанговой крепи в подготовительных выработках на шахтах Кузбасса. – ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1971.
- 22 Борисов А.А. Новые методы расчета штанговой крепи. –М.: Госгортехиздат, 1962.
- 23 Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. –М./-Л.: Госстрой издат, 1933
- 24 Салганик Р.Л., Аффанасенко Г.В., Иофис И.М. Горные давление. – М.: Недра, 1992
- 25 Толпакораев А.Т. К расчету параметров анкерной (штанговой) крепи. Уголь, №1, 1962.
- 26 Международный научно-исследовательский журнал. Успехи современной науки и образования. «Механизации возведения комбинированной крепи» №11, 2016г, г. Белгород.
- 27 Протодьяконов М.М. Главы из книги «Давление горных пород». – В кн.: Вопросы разрушения и давления горных пород. – М.,1955.
- 28 Цимбаревич П.М. Механика горных пород. 2-е издание переработанное. –М.: Углетехиздат, 1948.
- 29 Губенин Ю.Б. Прогнозирование размеров обрушений пород в выработках. Г.Ж. №9, 1982.
- 30 Прочностные исследования крепи и пород, окружающих горные выработки. – М.: Недра, 1972.
- 31 International Journal of Applied Engineering Research. Research India Publications. «The system is “roof bolting-mountain». ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 21, 2016, pp. 10454-10457.
- 32 Картозия Б.А., Борисов В.Н. Инженерные задачи механики подземных сооружений. М.: Издательство МГГУ, 2001.
- 33 Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных горных выработок. – М.: Недра, 1986
- 34 Луканкин Г.Л., Мартынов Н.Н., Шодрин Г.А. и др. Высшая математика. –М.: Высшая школа.
- 35 Справочник машиностроителя. Т6. – М.: Машиностроение, 1956.
- 36 European Science and Technology. «Research of hydraulic tubular anchor s operation». Materials of the XIV international research and practice conference. Munich, Germany. стр. 67-72
- 37 Журнал- Безопасность труда в промышленности. «Самоходная машина для транспортирования и нанесения набрызг-бетонной смеси на поверхность выработки».№5, стр. 42-46. Москва, 2016г.
- 38 Межецкий Г.Д, Загребин Г.Г., Раметник Н.Н. Сопротивление материалов. –М.: Дамков и К 2008.
- 39 Костенко Н.А., Балясимкова С.В., Волошановская Ю.Э. и др. сопротивление материалов –М.: Высшая школа, 2007.
- 40 Павлов П.А., Паршин Л.К, Мельников Б.Е. Сопротивление материалов. Санкт-Петербург, 2003

- 41 Иванов М.Н. Детали машин. –М.: Высшая школа, 1984. –С.230.
- 42 Игнатьев Р.А., Красноусков С.А. Новые самоходные набрызгмашины. –М.: Недра, 1980. –С. 136-137.
- 43 Наргужин М.Р. Разработка методологических основ расчета характеристик живучести крановых металлоконструкций: Дисс. докт.техн.наук. –М.: 1999.
- 44 ANSYS 5.5- Theory Reference: User's Manual. – ANSYS, Inc., 1998. -455 р.
- 45 ANSYS 5.5-Basic Analysis Procedures Guide: User's Manual. – ANSYS, Inc., 1998. -550 р.
- 46 ANSYS 5.5-Finite Element Reference: User's Manual. – ANSYS, Inc., 1998. -440 р.
- 47 Галлагер Р. Метод конечных элементов: Основы. –М.: Мир, 1984. – 428 с
- 48 Зенкович О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. - 541 с.
- 49 Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. - 304 с.
- 50 Owen D.R.J. Three-dimensional Elastic Finite-Element Analysis // Int. J. Num. meth. Eng. -1975. – Vol. 9, №1. – P. 209-218.
- 51 ТУ 5745-001-16216892-06 «Торкрет-бетон. Технические условия».
- 52 Зиновьев Д. Конструирование в Autodesk Inventor, М.: ДМК Пресс, 2012. Autodesk Inventor Professional 2012.
- 53 Зиновьев Д. Основа проектирования в Autodesk Inventor 2016, М.: ДМК-Пресс, 2016
- 54 Autodesk Inventor 2013, М.: ДМК-Пресс, 2012
- 55 Плаксин А.А. Mental ray мастерство вазуализации в Autodesk 3ds Max, М.: ДМК-Пресс, 2015
- 56 Чехлов Д.А. Визуализация в Autodesk Maya mental ray renderer. М.: ДМК-Пресс, 2015.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по академической
работе
КазНТУ имени К.И. Сатпаева
Р. Искаков



АКТ №
внедрения результатов исследований по диссертации
докторанта PhD Молдагожиной М.К
в учебный процесс

Комиссия в составе:

Председатель Абишева З.С. директор ГМИ им. А.О. Байконурова, д.т.н

Члены Столповских И.Н., профессор каф. ТМиО, д.т.н.

ФИО сотрудника члена УС института Рыбеков К.Б зав.кафедрой «Горное дело»,
К.Т.Н.

рассмотрела материалы диссертации «Разработка комбинированной
податливой крепи с регулируемой несущей способностью»

Автор Молдагожина М.К

Апробация полученных результатов: Полученные результаты
опубликованы в статьях и материалах международных конференций

Актуальность и научная новизна: Предложенная методика моделирования НДС узлов и деталей горных машин актуальна и характеризуется новизной и приняла решение о **внедрении** в учебный процесс: Методики моделирования напряженно-деформированного состояния узлов машины МЦТ в лекционный курс дисциплины «Горные машины и оборудование» специальности 5В072400- «Технологические машины и оборудование (по отраслям)

/ Директор ГМИ
им. А.О. Байконурова

Проф. кафедры ТМиО

Заведующий кафедрой
«Горное дело»

Научный руководитель



Абишева З.С.

Столповских И.Н

Рыбеков К.Б.

Крупник Л.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по академической
работе
КазНТУ имени К.И. Сатпаева
Р. Исаков
« _____ » _____ 20__ г.



АКТ №

внедрения результатов исследований по диссертации
докторанта PhD Молдагожиной М.К
в учебный процесс

Комиссия в составе:

Председатель Абишева З.С. директор ГМИ им. А.О. Байконурова, д.т.н

Члены Столповских И.Н., профессор каф. ТМиО, д.т.н.

ФИО сотрудника члена УС института Рысбеков К.Б зав.кафедрой «Горное дело», к.т.н.

рассмотрела материалы диссертации «Разработка комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью»

Автор Молдагожина М.К

Апробация полученных результатов: Полученные в результате исследований данные опубликованы в журналах и доложены на международных научно-практических конференциях

Актуальность и научная новизна: Крепление горных выработок трубчатыми гидрораспорными анкерами ТГА позволяет повысить эффективность анкерного крепления на основе работы системы «анкер-закрепляемый горный массив» и приняла решение о внедрении в учебный процесс: конструкции трубчатых гидрораспорных анкеров (ТГА) и методики их расчета в лекционный курс «Инновационные технологии и техника недропользования по специальности 6М071200- для магистрантов, обучающихся по программе ГПИИР-2

/ Директор ГМИ
им. А.О. Байконурова

Проф. кафедры ТМиО

Заведующий кафедрой
«Горное дело»

Научный руководитель



Абишева З.С.

Столповских И.Н.

Рысбеков К.Б.

Крупник Л.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Товарищество с ограниченной ответственностью

МАССАГЕТ – ПЛЮС

050061, г. Алматы, мкр. Курылышы, ул. Кокорай 2А, телефон директора 8 (727)2758130,
3939484, т/факс: 8 (727)2 904460, РНН 600300087057, ИИК KZ 87856000000006381 в АГФ
АО «Банк Центр Кредит», БИК КСЖВКЗКХ, БИН 980840002196

№

80

от « 30 » июля 20 16 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ТОО «Массагет-Плюс»

Азимбеков М.К.

АКТ

внедрения результатов докторской диссертации Молдагожиной М.К.
«Разработка комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью»

Комиссия в составе:

Председатель	<u>Искендилов К.А</u>
Член комиссии	<u>Усербаев Н.А</u>
Член комиссии	<u>Касымова П.К</u>

составила настоящий акт в том, что результаты докторской диссертации «Разработка комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью», а именно:

- усовершенствованная конструкция трубчатых гидрораспорных анкеров;
- технология возведения анкерной крепи из трубчатых гидрораспорных анкеров;
- методика инженерного расчета узлов машины центробежного торкретирования;
- методика компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния элементов машины центробежного моделирования;

Приняты ТОО «Массагет-плюс» для использования при проектировании ТГА и МЦТ

Председатель комиссии

Искендилов К.А

Члены комиссии

Усербаев Н.А

Касымова П.К