

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы МОЛДАГОЖИНОЙ М.К.
«Разработка комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью» подготовленной на соискание степени доктора философии по специальности 6D070700 – «Горное дело»

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 горнотехническим условиям 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 из набрызг-бетонной крепи.

- 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, 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 и работы комбинированной податливой крепи на основе блочно-иерархического подхода;

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов вал вводов и рекомендаций базируется на использовании апробированных методов и методик исследования, методе компьютерного моделирования, оценкой 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;

- разработана методика инженерного расчета основных узлов машины центробежного торкретирования;

- предложена методика компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния узлов и элементов машины центробежного торкретирования и комбинированной податливой крепи.

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 механизации ее возведения.

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 6М071200- 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 оборудование» КазННТУ 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 статьи 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.

Основное содержание работы

Исследованию технологии и механизации анкерной и набрызгбетонной крепи посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых, таких как Ш.М. Айталиев, Б.И. Исаков, П. Шилкин, В.Н. Семевский, А.А. Борисов, Е.Я. Махно, А.П. Широков, А.Т. Талбор, А. Коста, А. Джонстон и ряд других.

Однако ряд вопросов, связанных с работой системы «анкерная крепь-закрепляемый массив» и машин для возведения податливых крепей достаточно полно не исследован, что и предопределило **актуальность** настоящих исследований.

Существует международная методика выбора крепления для горно-капитальных и подготовительных выработок на основании Q-рейтинга. Q-система- это индекс качества тоннелей, разработанный в Норвежском геотехническом институте Бартоном в 1974 году (Рис.1). согласно этой диаграммы в горных породах 3-7 категорий устойчивости горного массива рекомендуется использовать систематическое анкерование в сочетании с набрызгбетоном для крепления горных выработок.



Рисунок 1. - Диаграмма выбора типа и параметров крепи в зависимости от Q-рейтинга.

Проведенный анализ литературных источников и практики горных предприятий как у нас в стране, так и за рубежом показал, что наиболее перспективными следует считать набрызгбетонную крепь и анкерную крепь.

Основным преимуществом таких крепей является возможность сохранять работоспособность при значительных смещениях контура горного массива, быстрое возведение крепи, большая несущая способность, широкий диапазон использования в различных горно-технических условиях.

В настоящее время в горной промышленности получили распространение анкеры различной конструкции: железобетонная штанговая крепь, сталеполимерная, стеклопластиковые анкеры, анкерная фрикционная крепь, гидрораспорная анкерная крепь, анкерные тросовое крепление и ряд других. Для установки анкерного крепления широко используются анкероустановщики со 100% механизацией этого процесса.

Большой прогресс достигнут и в набрызг-бетонной крепи, где имеется ряд машин, наносящих сухую и мокрую торкрет-смесь на стенки горных выработок с помощью сжатого воздуха.

Однако эти крепи являются жесткими и практически не допускают податливости, что необходимо для эффективного управления состоянием породного массива. Поэтому необходима разработка податливой крепи, устраняющей отмеченные недостатки.

Проведенный анализ позволил предложить комбинированную крепь из гидрораспорных анкеров, работающих совместно с набрызгбетонной крепью (рис.2).

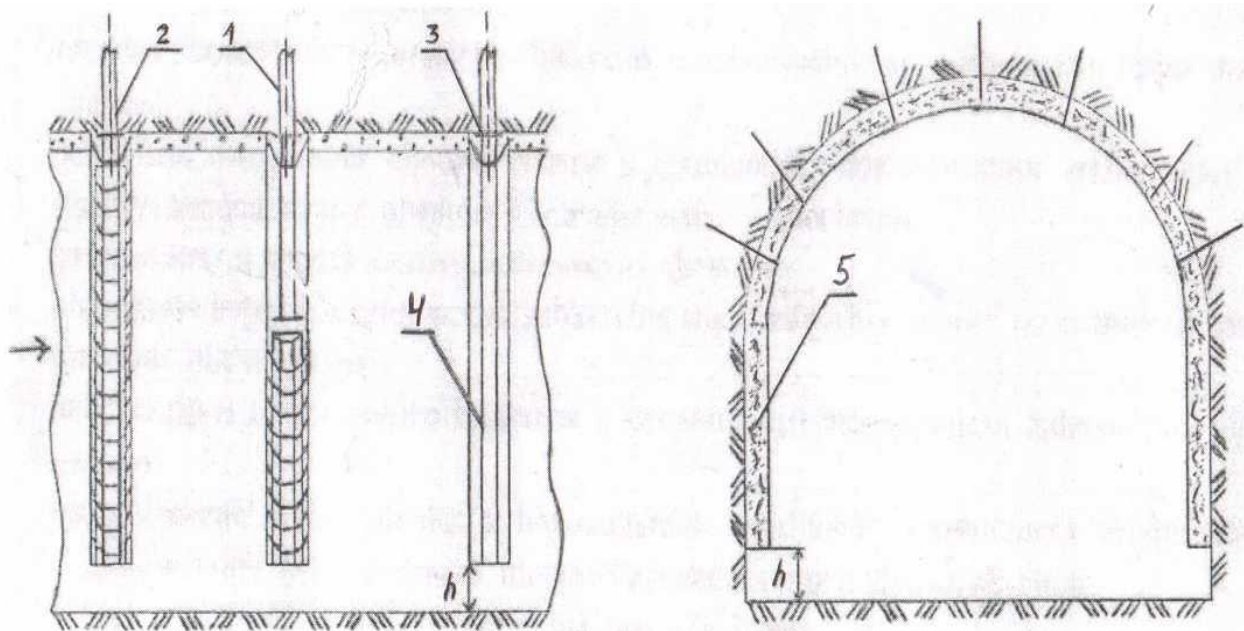


Рис.2 - Схема выработки с комбинированной податливой крепью
1- опорная шайба, 2- трубчатый анкер, 3- торец, 4- железобетонная арочная крепь, 5- набрызгбетон;

Такую крепь с регулируемой податливостью можно создать, благодаря разработанным в Казахстане трубчатым гидрораспорным анкерам и машине центробежного торкретирования МЦТ. Возведение такой крепи осуществляется в следующем порядке. Устанавливаются трубчатые гидрораспорные анкера (ТГА), на них крепится нужной конфигурации арматура, на которую машиной МЦТ наносится торкретбетон, создавая тем самым железобетонную арку. При этом арка, не доходит до почвы выработки на расстояние (h), равное величине интенсивного смещения горных пород.

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 продолжают свою работу.

Для реализации такой крепи потребовалось решить ряд задач:

- разработать и обосновать принципиально новую схему комбинированной податливой крепи;
- исследовать работу системы «анкер-закрепляемый породный массив» и конструкцию гидрораспорного анкера;
- для нанесения торкрет-смеси высокого качества исследовать работу новой машины центробежного торкретирования;
- разработать методику расчета гидрораспорных трубчатых анкеров;
- исследовать работу предлагаемой комбинированной податливой крепи путем компьютерного моделирования.

Для обеспечения эффективной работы анкерной крепи необходимо четко представлять механизм закрепления горных пород. С этой целью была исследована работа системы «трубчатый гидрораспорный анкер-закрепляемые горные породы». Как уже указывалось ранее в предлагаемой комбинированной податливой крепи используется оригинальная конструкция анкеров, разработанная АО «Массагет».

Для разработки методики расчета устойчивой работы таких анкеров совместно с закрепляемыми горными породами в диссертации предложена модель этого процесса (рис.3).

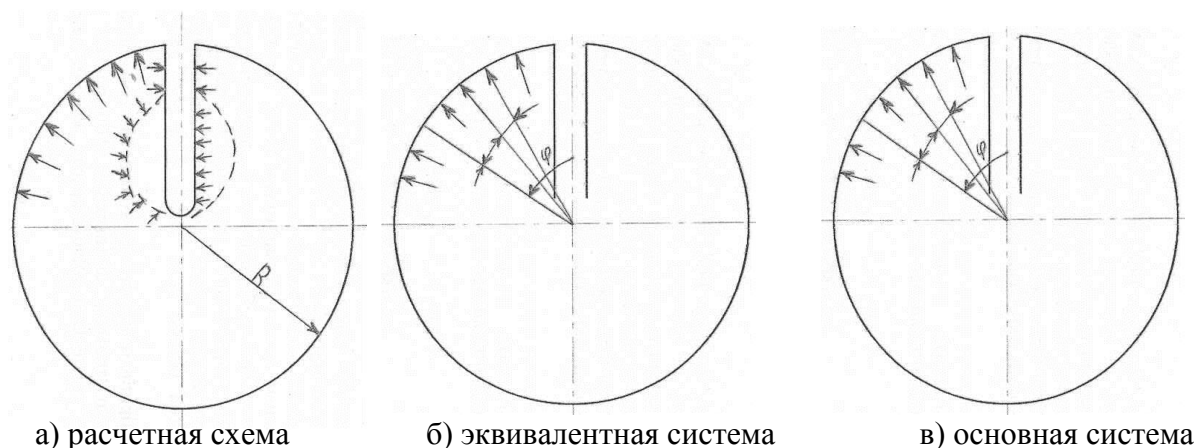


Рис.3- Расчетная схема работы гидрораспорного трубчатого анкера

Сечение анкера 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. Рассматривая плоскую задачу можно получить решение для кольца анкера с длиной образующей, равной «в». Расчетная схема представляет собой три раза статически неопределенную раму. Решая эту задачу установлено, что при наступлении пластических деформаций, напряжения становятся равными пределу текучести, а давление жидкости при котором начинают развиваться пластические деформации определяется выражением

$$P_{\text{тек}} \geq \frac{\delta_T \cdot t^2}{5,5 \cdot R^2}, \quad (1)$$

где δ_T – предел текучести материала анкера;

t - толщина стенки анкера;

R - радиус цилиндрической части заготовки анкера;

В диссертации рассмотрены условия совместной работы анкера и закрепляемой породы после «раскрытия» трубы (рис.4). При этом предполагалось, что:

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

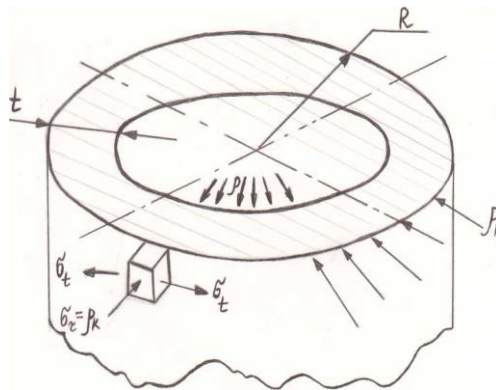


Рис.4 а Напряженное состояние трубы анкера

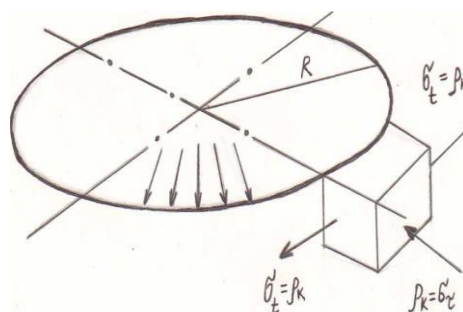


Рис. 4 б - Напряженное состояние стенки шпура

Решение этой задачи позволило получить расчетную формулу для рационального давления жидкости в полости трубы и возникающих при этом сил трения

$$P = \frac{\delta_t}{\frac{R}{t} \left[1 - \frac{\frac{R}{t} - 1/E_c}{\frac{(1+\mu_p)}{E_p} + (\frac{R}{t} - \mu_c)/E_c} \right]} \quad (2)$$

где δ_t - окружные нормальные напряжения;
 E_c – модуль упругости стали;
 μ - коэффициент Пуассона.

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:

$$F = f P_k \pi d_{ш} \cdot l_3, \text{ Н}, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения скольжения стали по породе; P_k - давление на поверхности контакта трубы со стенкой шпура, l_3 - 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».

Проведенные исследования свидетельствует 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.

Одной из важных характеристик анкерной крепи являются ее несущая способность. Проведенные исследования позволили предложить

неразрушающий метод определения несущей способности анкерного крепления, для чего предложена формула

$$F_{г.а.} = k\mu\pi d_{ш}l_3Pf_{тр}, \text{ Н}, \quad (4)$$

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.

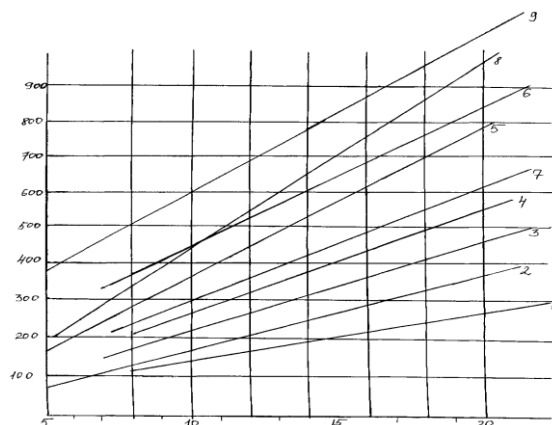
В зависимости используется для расчетов величина давления жидкости внутри анкера, а не давление P_k на поверхности контакта трубы со стенкой шпура, как это предусмотрено в формуле. Это связано с тем, что практически невозможно с высокой степенью достоверности определить величину P_k , в то время, как 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.

На рисунке 5 представлены результаты экспериментов по определению силы извлечения анкера

F , кН



P , МПа

Рис.5 - Зависимость усилия извлечения анкера от давления жидкости распора в различной среде

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

$$F_{aH} = A + B \cdot P + C \cdot P^2, \text{ Н}, \quad (5)$$
$$5,0 < P < 35,0, \text{ Мпа}$$

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

По результатам проведенных исследований предложены усовершенствованные конструкции гидрораспорных трубчатых анкеров и технология возведения анкерной крепи.

Вторым моментом в возведении предлагаемой комбинированной податливой крепи является возведение бетонного пояса толщиной 250-300 мм, работающего совместно с трубчатыми гидрораспорными анкерами. Для этого предлагается использовать принципиально новую конструкцию машины для возведения набрызг-бетонной крепи МЦТ 12, разработанную АО «Массагет». Эта машина в отличие от существующих, использующих для нанесения набрызг-бетонной смеси сжатый воздух, использует центробежную силу вылета смеси из специального нагнетателя.

Существующие методики расчета в полном объеме неприменимы для расчета машины МЦТ, поскольку у них разные принципы действия. В связи с этим одной из задач настоящего исследования была разработка методики расчета основных элементов машины МЦТ-12 и моделирование напряженно-деформированного состояния ее основных узлов в процессе работы.

По результатам исследований рекомендованы формулы до расчета

- производительности шнекового питателя;
- напряжений в опорных подшипниках;
- мощности привода;
- статической устойчивости машины МЦТ.

По предложенной методике проведены проверочные расчеты основных узлов машины и даны рекомендации по их усовершенствованию.

Для получения информации о напряженно-деформированном состоянии узлов машины МЦТ-12 было проведено моделирование их работы с использованием программного комплекса ANSYS. 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.

По результатам 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 (рис.6 и 7).



Рисунок 6 - Распределение эквивалентных напряжений

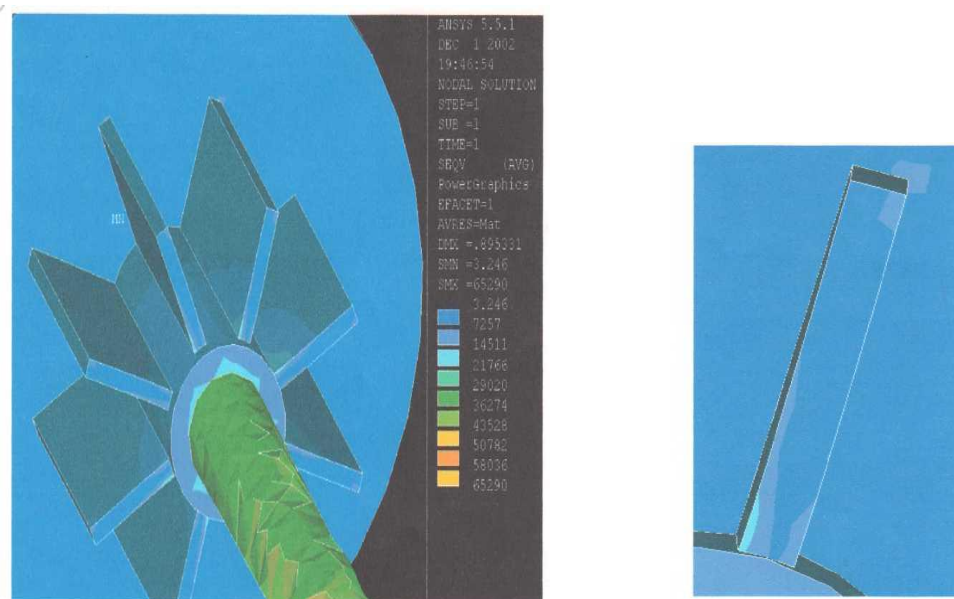


Рисунок 7 - Распределение эквивалентных напряжений

Из рисунков распределения эквивалентной нагрузки 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.

Результаты компьютерного моделирования позволили рекомендовать модернизированную конфигурацию лопатки импеллера с наиболее рациональным сечением, а также рекомендовать методику расчета элементов МЦТ по средневзвешенному значению нагрузок, а места с пиковыми значениями нагрузок должны проверяться на допустимую перегрузку в соответствии с существующими проектными нормативами.

С целью получения картины работы, предложенной комбинированной податливой крепи с регулируемой несущей способностью было проведено компьютерные моделирование с использованием программы Autodesk inventor.

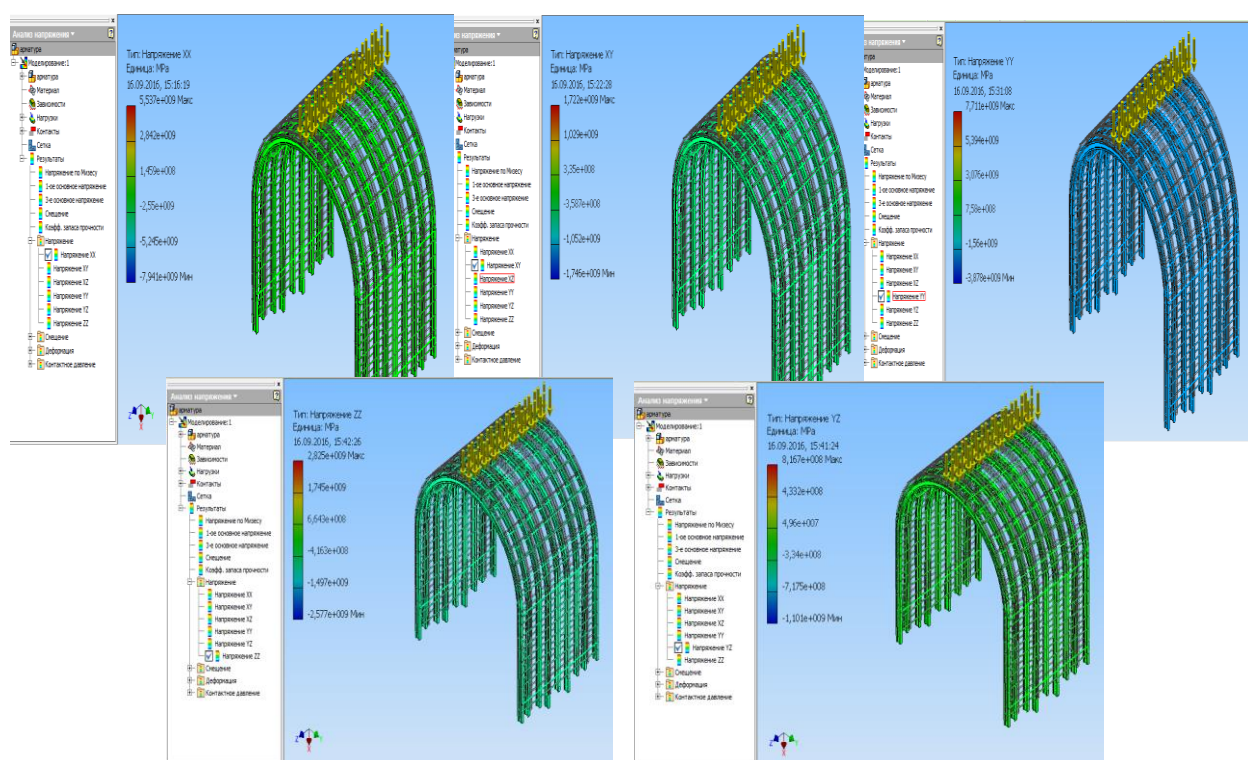
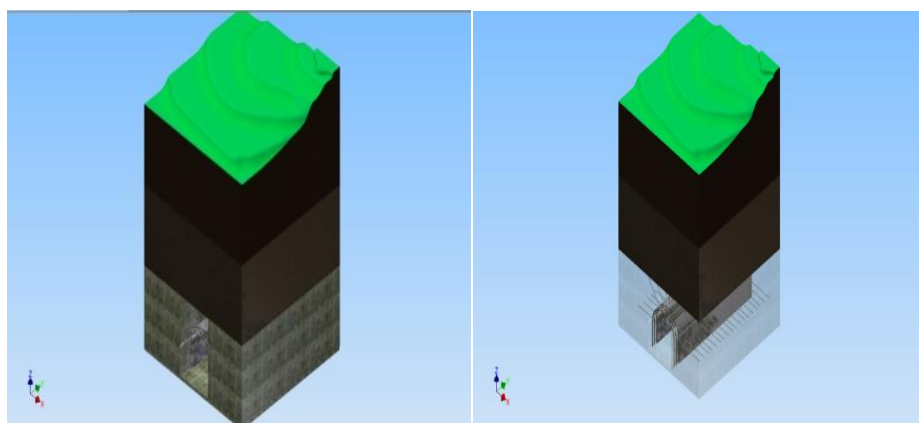


Рис. 8 – напряжения в комбинированной податливой крепи



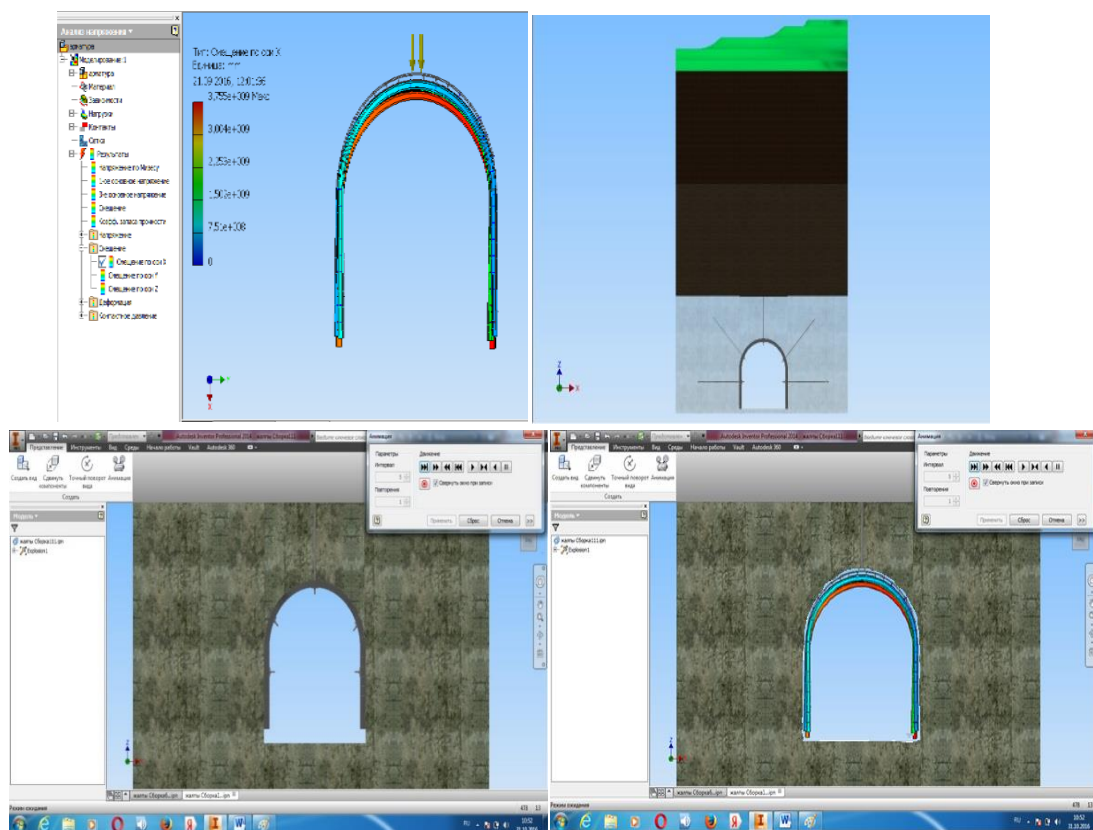


Рис. 9 – Деформации комбинированной податливой крепи от воздействий внешних сил.

Результаты моделирования представлены на рисунках 8 и 9.

Анализ результатов моделирования 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 действуют следующие силы:

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

Величина внешних сил, воздействующих на элементы крепи не одинаковые. Под воздействием этих сил конструкция элементов крепи подвергается деформациям. Чрезмерная деформация повлияет на качество и безопасность крепи, поэтому величина установленных деформаций

сравнивалась с величиной деформаций, полученных с помощью программы Autodesk inventor. Сравнение проведено в пространстве X,Y,Z и определены величины безопасной деформации.

Исследования показали, что когда действуют на конструкцию элементов крепи не одинаковые по величине внешние силы, на некоторых жестко связанных участках крепи возникает явление смещения крепи.

Когда смещение возникает чрезмерно, крепь переходит в опасное состояние, поэтому величина смещений крепи не должна превышать безопасную величину.

Под действием поверхностных слоев на поверхности крепи появляется давление. Когда это давление меньше чем стандартный предел прочности материала элементов крепи, крепь отвечает предъявляемый требованиям по прочности и устойчивости.

По результатам моделирования определены безопасные величины смещений и давлений. Деформации предлагаемой крепи от воздействия внешних сил, определенные по результатам моделирования показали, что для исследованных условий величина деформации не превышает допустимых величин и крепь устойчива.

Таким образом можно сделать вывод, что предлагаемая комбинированная податливая крепь вполне работоспособна и может эффективно использоваться.

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 анкера 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 результатам исследований установлены рациональные размеры лопаток нагнетателя.

7. Разработана методика компьютерного моделирования работы комбинированной податливой крепи и получена качественная характеристика нагрузок на такую крепь.