

На правах рукописи

Мошкин Николай Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ АНКЕРОВ
КАК ПРОСТРАНСТВЕННО-КРИВОЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ И
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность: 01.02.06 – динамика, прочность машин, приборов и
аппаратуры

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск-2004

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования «Сибирский государственный
индустриальный университет» г. Новокузнецк

Научный руководитель: заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Л.Т. Дворников

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
В.Ф. Горбунов
кандидат технических наук, доцент
В.М. Замятин

Ведущая организация: Институт горного дела СО РАН (ИГД СО РАН) г.
Новосибирск.

Защита состоится 15 декабря 2004 г. в 14 часов на заседании
диссертационного Совета Д212.269.01 при ГОУ ВПО «Томский
политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30,
корп. 4, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
ГОУ ВПО «Томский политехнический университет» (634034, Томск, ул.
Белинского, 53а).

Автореферат разослан 12 ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент



Т.Г. Костюченко

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Развитие современной науки и техники неразрывно связано с разработкой и созданием новых машин, оборудования, которые должны максимально увеличивать производительность труда, способствовать повышению безопасности работ, снижать себестоимость выпускаемой продукции. Особенно это важно в отраслях промышленности, занимающихся добычей полезных ископаемых подземным способом. Основными тенденциями развития машин и оборудования в этих отраслях являются увеличение мощности добычного оборудования, повышение скоростей проходки. Для обеспечения выполнения поставленных задач важную роль играет своевременное и надежное крепление горных выработок с помощью анкерной крепи, одним из основных и наиболее ответственных элементов которой является так называемый горный анкер. Рассматриваемый вид крепления горных выработок в последние годы получил исключительно широкое применение, а используемые в практике элементы анкерного крепления часто не удовлетворяют требованиям прочности и безопасности ведения работ. Все это требует не только отыскания новых технических решений, но и рассмотрения всего комплекса проблем с теоретических позиций.

Цель исследования. Разработка теоретических основ совершенствования горных анкеров, выявление основных факторов влияющих на эффективность их работы, совершенствование конструкций и внедрение найденных решений в практику.

Идея работы заключается в использовании известных теорий пространственно-криволинейных стержней для решения частных задач, позволяющих добиться совершенствования конструкции основных узлов исследуемого объекта.

Задачи исследований:

- Найти единый подход к рассмотрению горных анкеров, как ответственных тяжело нагруженных элементов анкерной крепи и изучить закономерности между конструктивными решениями элементов анкерного крепления и их работоспособностью.
- Обосновать методы определения нагрузок и деформаций в стержнях горных анкеров. Провести теоретические исследования нагружений, действующих на стержень анкера во всех фазах его работы от начала введения в шпур до стационарного нагружения.
- Произвести поиск подходов к отысканию конкретных технических решений по совершенствованию конструкций основных узлов горного анкера, довести их до реального использования.

Методы исследования основаны на использовании:

- теории пространственно-криволинейных стержней В.А.Светлицкого;
- решений частных задач нагружения и деформации горных анкеров, в том числе с использованием компьютерной программы ANSYS.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Горный анкер как основной элемент крепления горных выработок в шахтах и рудниках требует глубокого изучения и исследования. От прочности и надежности анкеров напрямую зависит безопасность горных работ, их производительность и экономические затраты.

- Длина горных анкеров во много раз превосходит их поперечный размер, что приводит к их искривлению и при изготовлении и при эксплуатации. В основе их исследования должна лежать теория пространственно-криволинейных стержней, которая однозначно описывает их геометрию, нагружения и деформации на всех стадиях установки анкеров в пробуренные скважины и при стационарном нагружении.

- Все элементы горного анкера – собственно стержень, затяжное и замковое устройства должны выполняться равнопрочными, способными выдерживать реальные нагрузки, что требует разработки достаточно простых методов их расчета и проектирования, основанных на адекватных моделях.

- Широкое использование горных анкеров в частности в горном деле постоянно требует нахождения и реализации новых технических решений способных быть использованными во всем многообразии условий применения.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов обеспечена тем, что в основе поиска лежат достаточно проверенные геометрическая и деформационная теории пространственно-криволинейных стержней, в частности разработанная профессором В.А. Светлицким, метод конечных элементов для определения их напряженного состояния, использование адекватных физических моделей, известных статистических методов обработки экспериментальных данных.

Научная новизна работы:

- впервые, в общем виде разработана теория поведения стержня анкера при различных фазах его работы;

- найдены закономерности, связывающие нагружения и деформации горных анкеров при их эксплуатации;

- вскрыты возможности создания узлов горного анкера из условия их равнопрочности.

Практическая полезность заключается в разработке конкретных подходов к решению задач, связанных с совершенствованием ответственных тяжелонагруженных узлов анкерного крепления. В результате выполненных исследований впервые созданы методики расчета элементов горных анкеров, позволившие довести разработку новых конструкций до серийного производства.

Реализация работы. Основные положения и результаты исследований использованы при проектировании в ООО «Горный инструмент» г.Новокузнецк новых конструкций узлов горных анкеров. Разработанные на этой основе новые элементы анкерной крепи внедрены в производство и

поставляются на шахты и рудники Кузбасса. Объем производства разработанной новой анкерной крепи типа АК20 с использованием новых элементов составляет более 5000 комплектов ежемесячно.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на региональных и международных научно-практических конференциях: «Научоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2003, 2004 гг.), на региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Новокузнецк, 2001 г.), на научно-практических конференциях по проблемам механики и машиностроения (Новокузнецк, 2002, 2003 гг.), на XXIV Российской школе по проблемам науки и технологий, посвященной 80-летию со дня рождения академика В.П.Макеева (Миасс, 2004 г.), на региональном конкурсе «Инновации и изобретения года» (Кемерово, 2002 г) и на кафедре Теории механизмов и машин и основ конструирования СибГИУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано восемь научных работ и получено пять патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 62 наименования, и приложения. Основной текст изложен на 150 машинописных страницах, поясняется 56 рисунками и 8 таблицами.

Основное содержание работы

В первой главе приводится обзор известных конструкций горных анкеров, способов их закрепления в шпуре и исследований более чем за 50 лет, позволивших установить многие количественные и качественные зависимости между конструктивными решениями элементов анкерного крепления и их работоспособностью.

Значительный вклад в изучение и обобщение результатов работ в области анкерного крепления горных выработок внесли: Мельников Н.И., Широков А.П., Лидер В.А., Ануфриев В.Е. и многие другие. Анализ известных конструкций и исследований в области анкерного крепления горных выработок показал, что до настоящего времени серьезных научных подходов при отыскании конструктивных решений элементов анкерной крепи не использовалось. Накопленные сведения о применении в практике горных анкерных соединений носят в основном описательный характер и не являются в научном смысле достаточно состоятельными при решении задач целенаправленного их совершенствования. Среди разнообразия конструкций анкеров наиболее массово используемыми в практике являются анкеры, закрепляемые в шпуре с помощью быстротвердеющих многокомпонентных полимерных смол.

Схематично обобщенная конструкция такого анкерного устройства (горного анкера) представлена на рисунке 1.

Как видно из рисунка основными элементами горного анкера, сшивающего слои горных пород, являются замковое устройство 2, стержень 3 и натяжное (затяжное) устройство, состоящее из гайки 6 и шайбы 5.

Замковое устройство анкера служит для закрепления стержня в породе, а натяжное устройство - для создания в стержне анкера предварительных напряжений с целью уменьшения развития деформации горных пород. В анкерах, стержни которых закрепляются с помощью быстротвердеющих смесей по всей длине скважины, замковое устройство, а также предварительное натяжение в стержнях может отсутствовать. Далее будем употреблять термин «затяжное устройство» как более соответствующее его назначению.



Рисунок 1 – Устройство горного анкера

Анкеры, наиболее часто использующиеся на практике, показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 - Конструкции анкеров

На рисунке показаны: а) анкер сталеполимерный - АСП; б) анкер с использованием арматурного металлопроката диаметром 20 мм с

винтовым профилем - А20В; в) анкер с использованием арматурного металлопроката диаметром 20 мм - А20; г) ампула полимерная типа АП-330; д) анкер сталеорганический АСО; е) закладной деревянный элемент; ж) анкер конструкции Широкова - ШК-1М.

Все рассмотренные выше и широко применяющиеся конструкции анкеров, в том числе и сталеполимерные анкеры с использованием в качестве стержня анкера арматурного винтового металлопроката, а также канатно-тросовые являются неизвлекаемыми (кроме ШК-1). Однако в отдельных случаях возникает потребность в анкерах, которые быстро устанавливаются и также быстро могут быть демонтированы. При этом прочность элементов такого анкера должна соответствовать неизвлекаемым сталеполимерным анкерам.

Проведенный анализ известных конструкций анкеров и опубликованных работ в области анкерного крепления горных выработок позволил сформулировать основные задачи настоящего исследования, приведенные выше.

Во второй главе диссертации рассматривается поведение стержня анкера при его установке и стационарном нагружении.

На рисунке 3 показана обобщенная схема горного анкера как сложной пространственно-криволинейной системы, состоящей из ряда элементов.

Особо выделяются у горного анкера три основных элемента: стержень

анкера 1, замковое соединение 2 и затяжное устройство 3.

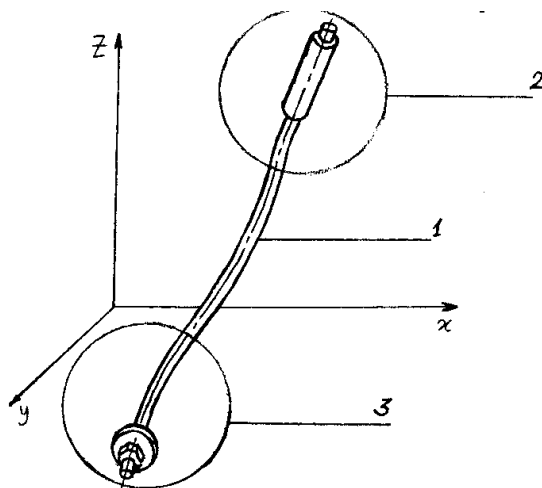


Рисунок 3 – Горный анкер в пространстве массива
С целью исследования нагружения пространственно-криволинейных горных анкеров, необходимо знать действующие внешние нагрузки в

виде сосредоточенных и распределённых сил и моментов, которые определяются технологическим процессом установки и особенностями их нагружения.

Чтобы заставить горный анкер выполнять свое основное предназначение, необходимо в толще горных пород пробурить шпур (скважину), ввести в него анкер, закрепить его в шпуре и «сшить» им слои горной породы с помощью затяжного устройства.

При этом можно выделить три принципиально отличных друг от друга режима нагружения, которые испытывает анкер за время его установки:

- введение анкера в шпур,
- процесс закрепления анкера в шпуре,
- стационарное состояние анкера.

Анализ отличающихся режимов работы горного анкера важен на том основании, что поломки стержня анкера возможны на любой стадии его работы. Далее будем рассматривать в основном поведение анкеров, закрепляемых в шпуре с помощью полимерных, застывающих смол (коротко такие анкера называются сталеполимерными), так как именно такие анкера получили в последнее время наиболее широкое применение. У сталеполимерных анкеров в отличие от всех остальных диаметр стержня анкера и диаметр шпура для его установки отличаются на незначительную величину (5-6 мм). Как правило, пробуренный для установки анкера шпур также не является прямолинейным.

Параметры искривления геометрической оси шпура могут существенно отличаться от параметров искривления анкера. При введении такого анкера в реальный шпур, естественно, некоторые участки стержня будут дополнительно искривляться, а некоторые напротив выпрямляться или даже искривляться в противоположную сторону. При этом на вводимый анкер будут действовать реакции от стенок шпура. Эти усилия могут распределяться по всей его длине или действовать только на некоторых участках. Распределённые усилия со стороны стенок шпура приведут к возникновению распределённых же сил трения, для преодоления которых необходимо прикладывать продольную силу со стороны свободного конца

анкера. Если учесть, что анкер в шпинделе вводящей его в шпур машины закреплён, то задача сведётся к известной схеме задачи Эйлера о продольном изгибе стержня. Критическая сила F_k , при которой стержень анкера длиной L потеряет устойчивость, может быть найдена по обобщённой формуле Л.Эйлера

$$F_k = \frac{n^2 \pi^2 EJ}{\psi L^2}, \quad (1)$$

где n – любое целое число, характеризующее изгиб стержня,

ψ – коэффициент приведения длины стержня (коэффициент Ф.С.Ясинского),

J – момент инерции поперечного сечения стержня.

Если анкер упирается в стенку шпура в самом его устье, то F_k можно определить, принимая $n=1$.

Более реальная ситуация возникает тогда, когда стержень практически весь вошёл в шпур и упёрся в стенку, не дойдя до забоя шпура (рисунок 4).

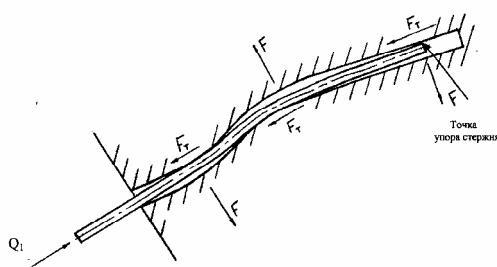


Рисунок 4 – Усилия действующие на стержень анкера, частично введенный в шпур

В этом случае стержень оказывается ограждённым стенками шпура от свободного изгиба. При нарастании силы F_k он может искривиться в несколько полуоволн, т.е. в формуле (1) целое число n может принимать значения более единицы.

Уже при искривлении с двумя полуволнами ($n = 2$), значение критической силы должно возрасти вчетверо.

Реально стержень в скважине, ограниченной её стенками, может искривиться и более сложным образом, т.е. с $n > 2$.

Если принять за максимальное усилие 2000 Н (это усилие обусловлено возможностями существующих машин, используемых при установке горных анкеров), при $L = 2500$ мм и параметрах реальных стержней, то по (1) можно найти, что

$$n = \sqrt{\frac{F_k \psi L^2}{\pi^2 EJ}} = 2,48, \quad (3)$$

т.е. стержень неизбежно изогнется не менее чем в две полуволны и упрется изогнутыми участками в стенки скважины.

Таким образом, уже при введении анкера в скважину на него будут действовать несколько внешних сил: осевое усилие Q , распределённые перерезывающие нагрузки, распределённые продольные силы трения, сосредоточенные изгибающие силы F .

На завершающей стадии введения анкера в шпур режим его работы

меняется. Анкер вводится, толкая перед собой ампулы с

самотвердеющими смолами. Чтобы процесс отвердевания начался,

необходимо тем же анкером нарушить сплошность ампул и их

содержимое перемешать. С этой целью анкер приводится во вращение и

одновременно подается далее вглубь шпура (рисунок 5).

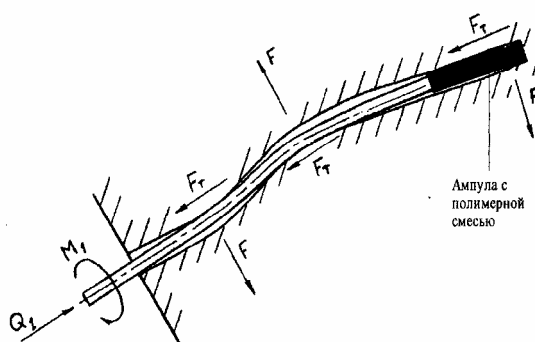


Рисунок 5 – Усилия действующие на стержень анкера при
закреплении в шпуре

В процессе закрепления анкера в шпуре стержень нагружается дополнительно распределённым крутящим моментом или вдоль всего анкера

или вдоль его закрепляемой части. При этом необходимо учитывать на внешнем конце анкера момент M_1 , увеличивающийся во времени.

Наконец, когда анкер за счёт сил сцепления эпоксидных смол со стенками шпура и с телом анкера становится жёстко скреплённым с массивом горных пород, на внешний конец анкера устанавливается затяжное устройство, и после его затяжки анкер нагружается растягивающей силой F_1 . При этом растягивающее усилие частично распрямляет стержень анкера, при этом добавляются распределённые силы q (рисунок 6).

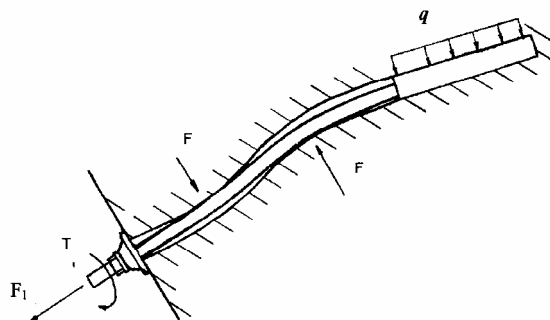


Рисунок 6 – Усилия действующие на стержень анкера при стационарном состоянии

Определение всех действующих силовых факторов на анкер требует решения обратной задачи искривления стержней, которая может быть сформулирована так: где и какие силы должны быть приложены к стержню, чтобы его изогнутая ось искривилась заданным образом. Задача эта имеет свои сложности, а потому в настоящей работе она до конца не была рассмотрена. Будем считать приложенные силы заданными. Чтобы исследовать теперь деформации тела анкера, необходимо изучить анкер как пространственно-криволинейный стержень со сложным нагружением.

Учитывая, что горный анкер в массиве горной породы может занимать сколь угодно сложное положение, т.е. положение пространственно-криволинейного стержня, изучение его нагружения и деформации невозможно без полного знания всех его геометрических характеристик. Последнее становится особенно важным при использовании

в практике гибких анкеров - в виде кусков канатов различной длины. Поэтому автором рассмотрена геометрия криволинейных стержней в полном объеме определяющих её параметров.

Основными параметрами и мерами, характеризующими геометрическую ось стержня анкера в пространстве, показанными на рисунке 7, являются: касательная в точке M - t , нормальная плоскость, главная нормаль- n , соприкасающаяся плоскость, бинормаль- b , спрямляющая плоскость, кривизна- ρ , кручение.

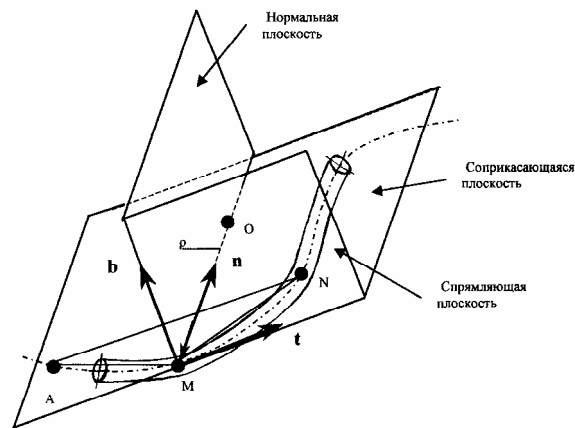


Рисунок 7 – Основные параметры и меры осевой линии пространственно-криволинейного стержня анкера

Три оси, имеющие начало в точке M и направленные по касательной, главной нормали и бинормали к кривой в этой точке, образуют ребра естественного триэдра, или естественного (сопровождающего) трехгранника. Векторы орты касательной, главной нормали и бинормали соответственно t , n , b образуют правую тройку векторов. Кривизна кривой K оценивается через радиус кривизны $\rho = OM$, как обратная ему величина.

Изменение направления бинормали при перемещении вдоль кривой линии определяет кручение T кривой. Аналитические связи между единичными векторами триэдра (t , n , b) и мерами кривизны K и кручения T были установлены Фредериком Френе. Они в векторной форме имеют вид

$$\frac{dt}{ds} = \mathbf{K}\mathbf{n}, \quad \frac{dn}{ds} = -\mathbf{K}\mathbf{t} + \mathbf{T}\mathbf{b}, \quad \frac{db}{ds} = -\mathbf{T}\mathbf{b}.$$

Для определения изменения геометрии стержня под действием внешних сил, рассмотрены две системы координат, относительно которых и определяется изменение геометрии. Неподвижные декартовы оси обозначены как $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3$, подвижные ортогональные $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3(\mathbf{e}_j)$, связанные с осевой линией стержня т.е. являющиеся осями сопровождающего трёхгранника.

Располагаясь в криволинейной скважине, стержень анкера может находиться под действием самых разнообразных как статических, так и динамических нагрузок.

Учитывая изложенное, элементарный участок ds стержня в самом обобщённом виде можно рассмотреть как сложно нагруженный элемент, включающий внешние сосредоточенные силы $\mathbf{F}_i$, распределённые силы $\mathbf{q}=\varphi(s)$, силы трения $\mathbf{F}_T=\varphi(s)$, сосредоточенные моменты $\mathbf{T}_k$ и распределённые моменты $\mathbf{\mu}=\mathbf{f}(s)$, (рисунок 8).

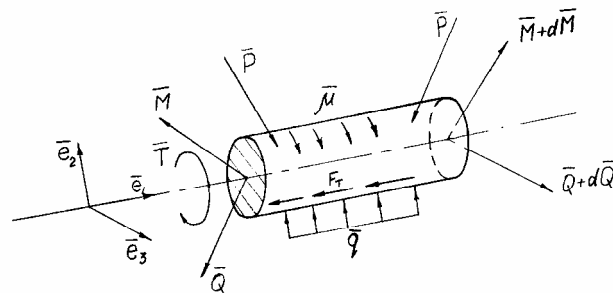


Рисунок 8 – Силловые факторы, действующие на элементарный участок стержня анкера

Под действием внешних нагрузок на концах элементарного участка ds стержня возникнут внутренние силы $\mathbf{Q}$ и $\mathbf{Q}+d\mathbf{Q}$ и моменты $\mathbf{M}$ и $\mathbf{M}+d\mathbf{M}$.

Равновесие элемента можно описать следующими уравнениями

$$\mathbf{Q}+d\mathbf{Q} + \mathbf{q}ds + \mathbf{F}ds = \mathbf{Q},$$

$$\mathbf{M}+d\mathbf{M}+d\mathbf{s}\mathbf{e}_1\mathbf{Q} + \mathbf{\mu}ds + \mathbf{T}_kds = \mathbf{M},$$

где $\mathbf{e}_1$ - единичный вектор, совпадающий с касательной к осевой линией стержня.

После преобразований можно записать

$$\frac{d\mathbf{Q}}{ds} + \mathbf{q} + \mathbf{F} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{d\mathbf{M}}{ds} + \boldsymbol{\mu} + \mathbf{e}_1 \mathbf{Q} + \mathbf{T}_k = 0. \quad (3)$$

В записанных уравнениях неизвестными являются векторы $\mathbf{Q}$, $\mathbf{M}$ и $\mathbf{e}_1$, а известными: распределенные нагрузки $\mathbf{q}$ и $\boldsymbol{\mu}$, сосредоточенные силы и моменты, приложенные к стержню (рисунок 8) и условия закрепления стержня. Последнее неизвестное $\mathbf{e}_1$ является одним из трёх единичных векторов сопровождающего трехгранника. Векторы $\mathbf{e}_2$ и $\mathbf{e}_3$ могут быть совмещены с направлениями главных осей рассматриваемого сечения. При известных силах и моментах, приложенных к стержню, находящемуся в равновесии, зависимости (2) и (3) являются исходными для определения напряжений, возникающих в поперечных сечениях стержня.

Однако, эта система уравнений не является достаточной для определения $\mathbf{Q}$ и $\mathbf{M}$. Дело в том, что в результате деформирования стержня под действием приложенных сил единичный вектор $\mathbf{e}_1$ неизбежно меняет свое положение в пространстве. Для определения истинного положения вектора $\mathbf{e}_1$ необходимо изучить закономерности, приводящие к изменению его положения в зависимости от деформации стержня. Наиболее глубоко этот вопрос был исследован профессором Светлицким В.А. Воспользуемся его подходами.

Изменение положения вектора $\mathbf{e}_1$ в пространстве охарактеризуем изменением начала базиса $\mathbf{U}$ и поворотом координатных осей вектора $\mathbf{e}_j$. Выполненные Светлицким В.А. преобразования позволили получить следующую систему уравнений равновесия:

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{Q}}{ds} + \mathbf{F} &= 0, \\ \frac{d\mathbf{M}}{ds} + \mathbf{e}_1 \mathbf{Q} + \mathbf{T}_k &= 0, \\ L_1 \frac{d\mathbf{V}}{ds} - \mathbf{K} + L \mathbf{K}_0 &= 0, \\ \frac{d\mathbf{U}}{ds} - (1 - I_{11})\mathbf{e}_1 - I_{21}\mathbf{e}_2 - I_{31}\mathbf{e}_3 &= 0, \\ \mathbf{M} &= \mathbf{A}(\mathbf{K} - \mathbf{K}_0^{(1)}), \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \mathbf{q} + \sum_{i=1}^n \mathbf{F}^{(i)} \delta(s - s_i), \\ \mathbf{T}_k &= \boldsymbol{\mu} + \sum_{\nu=1}^p \mathbf{T}_k^{(\nu)} \delta(s - s_i). \end{aligned}$$

Система пяти векторных уравнений (4) содержит пять неизвестных векторов: $\mathbf{Q}$, $\mathbf{M}$, $\mathbf{V}$, $\mathbf{K}$, $\mathbf{U}$. Эта система может быть представлена в проекциях на связанные оси, и тогда компоненты Q_i и M_i векторов $\mathbf{Q}$ и $\mathbf{M}$ получают

четкий физический смысл: Q_1 -осевая сила, Q_2 и Q_3 - перерезывающие силы, M_1 -крутящий момент, M_2 и M_3 -изгибающие моменты, q_1 , q_2 , q_3 – проекции вектора $\mathbf{q}$ -распределенной нагрузки, μ_1 , μ_2 , μ_3 - проекции вектора μ -распределенного момента, U -перемещение сопровождающего трехгранника связанного с осевой линией, F и T_k – сосредоточенная сила и момент, A - жесткость при кручении и изгибе, K_1 , K_2 и K_3 – кручение и кривизна стержня. V - углы поворота связанных осей.

Представленная система уравнений позволяет определять внутренние усилия в стержне при различных внешних силах и моментах, в том числе внутри жесткого канала.

В третьей главе рассмотрены варианты получения решений частных задач деформации анкера под действием приложенных сил.

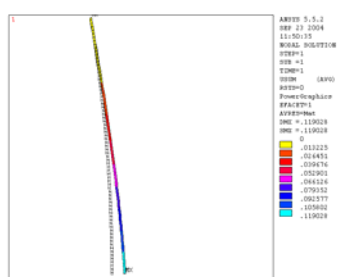
Получены системы уравнений, описаны все ситуации, возникающие при установке анкера. Для получения численных значений перемещений при заданных геометрических параметрах стержня и действующих на него нагрузках был использован метод компьютерного моделирования в соответствии с программой ANSYS.

В качестве исходных данных были применены фактические размеры используемых анкеров и реальные действующие усилия (таблица 1). Для упрощения задачи стержень анкера представлен как плоско искривленный. Радиус кривизны задан равным 15 м.

Таблица 1

Параметры анкера	Величина
1. Длина, м	2,5
2. Диаметр, м	0,02
3. Осевое усилие при введении анкера в шпур, Н	1000
	5000
	10000
4. Осевое усилие при стационарном режиме, Н	30000
	140000
5. Радиус кривизны стержня, м	15

Схема нагружения стержня и результаты расчетов для различных ситуаций приведены в виде рисунков, отображающих виды деформаций и численные их значения.



Для первой ситуации, когда анкер находится вне скважины, деформации его приведены на

рисунке 9. Значения наименьших (желтый цвет) и наибольших деформаций (голубой цвет) находятся в диапазоне от 0,01 м до 0,12 м.

Рисунок 9 – Деформации стержня при усилии 1000 Н

Для стационарного состояния, когда на стержень анкера действует только растягивающая осевая сила, схема нагружения и деформации представлены на рисунках 10 и 11. Значения наименьших и наибольших деформаций находятся в диапазоне от 0,00 м до 0,11 м.



Рисунок 10 – Схема нагружения стержня при стационарном состоянии

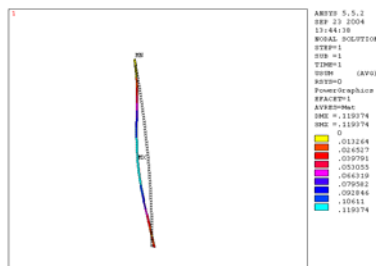


Рисунок 11 – Деформация стержня при усилии 30 КН

Находясь в шпуре, стержень ограничен от свободного изгиба стенками шпура. Ранее мы установили, что и шпур и стержень анкера не являются прямолинейными. Допустим, что стержень соприкасается со стенками шпура в четырех точках, не находящихся на одной прямой, тогда схема нагружения будет соответствовать | наибольшим деформаций будут нах

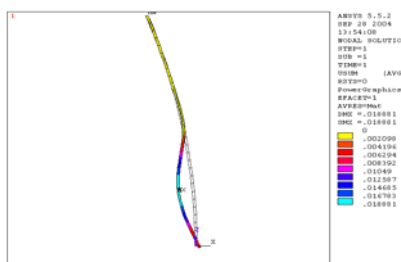
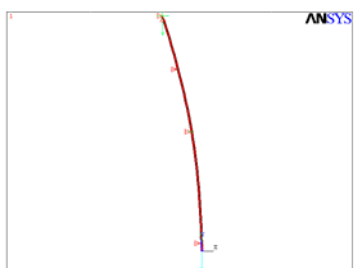


Рисунок 12 – Схема

нагружения стержня, когда
стержень ограничен от
свободного изгиба стенками
шпура

Рисунок 13 – Деформация

стержня при усилии 30 КН

Как видно из рисунков, максимальные деформации стержень испытывает при первой схеме нагружения, когда он находится в свободном состоянии и не ограничен от перемещения стенками шпура. Поэтому наиболее опасной с точки зрения деформаций, приводящих к выходу стержня из строя, является первая ситуация, т.к. пространственно-криволинейный стержень для рассматриваемого случая уже при 1000 Н теряет устойчивость. В виду того, что в последнее время наметилась тенденция к снижению металлоемкости анкерной крепи за счет уменьшения диаметра стержня анкера, этот вывод является достаточно важным. Применение более прочных материалов и уменьшение за счет этого диаметра стержня анкера ограничено задачей: как ввести пространственно искривленный стержень в шпур, осевая линия которого представляет собой пространственную кривую. Эта задача особенно актуальна для сталеполимерных анкеров, у которых диаметр стержня и диаметр шпура близки.

Таким образом, используя известные компьютерные программы, например ANSYS, можно моделировать поведение стержня в скважине и определять численные значения деформаций при различных схемах его нагружения.

В четвертой главе приводится обоснование, экспериментальные исследования и результаты разработки комплекса новых технических решений элементов анкерной крепи, полученных в результате теоретических исследований.

Разработанные автором конструкторская и технологическая документации позволили организовать серийное производство анкерной крепи типа АК20 с использованием новых элементов, значительно превосходящих по своим параметрам существующие конструкции анкерных устройств.

Теоретические исследования, научные обоснования и практические эксперименты выполненные автором позволили создать новые элементы анкерной крепи, отличные от широко применяющихся в настоящее время. В процессе создания различных вариантов конструктивных решений элементов анкерной крепи, пригодных для массового производства, получен окончательный вид затяжного устройства,

полностью соответствующий поставленной задаче. Общий вид затяжного устройства и его отдельных элементов анкерной крепи типа АК представлены на рисунке 14.



Рисунок 14 – Общий вид затяжного устройства анкерной крепи типа АК и его отдельных элементов

Разработанные новые конструктивные решения элементов анкерной крепи защищены следующими охранными документами:

1. Замок анкера. Патент РФ №2166092.

Сущность замкового устройства заключается в том, что анкер снабжен двумя гайками, соединенными с анкером одна левой, другая правой резьбами различного диаметра и выполненными фигурными со встречными скосами, между которыми установлена конгруэнтная гайкам втулка из легко деформируемого упругого материала, например, резиновая, а геометрическая ось резьбовых соединений расположена эксцентрично геометрической оси гаек. Благодаря тому, что отверстия с резьбой в гайках выполнены эксцентрично, а сами гайки свободно вращаются на резьбе, после начала вращения анкера, гайки не поворачиваясь вокруг собственных осей сближаются и, воздействуя своими скосами на эластичную втулку, выдавливают ее из гнезда, в результате чего втулка, увеличиваясь в диаметре, надежно фиксирует анкер в скважине.

2. Затяжное устройство анкера. Патент РФ №2212540.

Сущность устройства заключается в том, что гайка затяжного устройства выполняется трехступенчатой. Первая ступень гайки выполнена

цилиндрической. Нажимная ступень гайки имеет коническую форму с углом наклона конуса меньшим угла трения между гайкой и шайбой. Третья, затяжная ступень гайки выполняется по форме, обеспечивающей её затяжку необходимым инструментом. Шайба выполняется с плоским основанием на забой и с двухступенчатым отверстием, одна ступень которого выполняется цилиндрической, а вторая конической, конгруэнтной конической поверхности гайки.

3. Стержень анкера. Свидетельство РФ №29748.

Сущность полезной модели заключается в том, что у стержня анкера, выполненного из арматурной стали с трапецеидальной резьбой, ширина головки витка резьбы, осевая проекция правой боковой стороны витка, ширина впадины витка, осевая проекция левой боковой стороны витка выполнены равными между собой и равными высоте витка резьбы

4. Горный анкер. Патент РФ №38836.

Задачей настоящей полезной модели является выполнение резьбового соединения анкер-гайка неравнопрочным с предпочтением для гайки, что обеспечивает исключение возможности среза резьбы гайки при критических нагрузках и позволяет доворачивать гайку на неразрушенный участок резьбы стержня.

Сущность предлагаемой полезной модели заключается в том, что горный анкер, выполненный в виде стержня из стального арматурного проката с однозаходным винтовым профилем с последовательно расположенными на боковых поверхностях стержня серповидными выступами, представляет собой арматурный прокат с трапециевидным профилем резьбы, выполненный с неодинаковой по основанию шириной профиля выступов резьбы и впадин, причем ширина профиля впадин выполняется вдвое более ширины профиля выступов резьбы.

5. Шайба анкера. Решение о выдаче патента РФ на полезную модель по заявке №2004114414(015787)

Шайба затяжного устройства анкера с посадочным гнездом под гайку, отличающаяся тем, что она выполнена с внутренним и внешними опорными кольцами, причем торцы внутреннего и внешнего опорных колец лежат в разных плоскостях, что обеспечивает между ними упругий зазор.

Основные разработки доведены автором до серийного производства на ООО «Горный инструмент».

Копии названных охранных документов приведены в приложении диссертации. Широкое внедрение описанных технических решений планируется в самое ближайшее время.

Основные выводы:

Анализ конструкций горных анкеров и известных исследований, посвященных определению нагрузок, действующих в основных узлах анкера показали, что проблема создания долговечного и надежного

анкерного крепления для различных условий эксплуатации требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, направленных на развитие и уточнение представлений о работе анкера в целом и отдельных его узлов.

В настоящей работе рассмотрена одна из задач этой проблемы - обоснование путей совершенствования ответственных узлов горного анкера.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1. Накопленные к настоящему времени сведения о применении в практике горных анкерных соединений носят описательный характер и не являются в научном смысле достаточно состоятельными при решении задач целенаправленного их совершенствования, что определяет актуальность глубокого изучения их геометрии, нагруженности, напряженно-деформированного состояния на всех стадиях функционирования.
2. Горный анкер представляет собой сложную механическую систему, включающую – собственно стержень анкера, замковое и затяжное устройства, которые могут быть изучены как независимо, так и в комплексе их взаимодействия.
3. В самом общем случае горный анкер представляет собой пространственно-криволинейный стержень, нагруженный осевыми и радиальными сосредоточенными и распределенными силами и моментами, исследование которого наиболее полно может быть основано на уравнениях Френе и на подходах профессора Светлицкого В.А., учитывающих деформации осевой линии стержня, в том числе внутри жесткого канала.
4. Общее решение задачи о деформировании пространственно-криволинейного стержня позволяет рассматривать многообразие частных

задач, непосредственно описывающих поведение горных анкеров на всех стадиях их установки от введения в шпур, размешивания ими эпоксидных смол, до стационарного нагружения при удерживании кровли горных выработок.

5. Использование компьютерных программ ANSYS, основанных на представлении напряжений и деформаций в конструкциях через метод конечных элементов позволило найти решение частных задач нагружения горных анкеров распределения деформаций и напряжений при различных способах нагружений.

6. Новые подходы к исследованию горных анкеров как пространственно-криволинейных стержней, позволили найти и рекомендовать для практики принципиально отличающиеся от известных, технические решения, в частности:

- Замок анкера. Патент РФ №2166092,

- Затяжное устройство анкера. Патент РФ №2212540,

- Стержень анкера. Свидетельство РФ №29748,

- Горный анкер. Патент РФ №38836,

- Шайба анкера. Решение о выдаче патента РФ на полезную модель по заявке №2004114414(015787).

7. Лабораторные и промышленные испытания новых технических решений, найденных автором и защищенных патентами Российской Федерации, показали их значительное превосходство перед известными и применяющимися решениями с точки зрения прочности закрепления, безопасности при эксплуатации и удобства при использовании.

8. Один из наиболее ответственных узлов горного анкера крепления, а именно затяжное устройство анкера по патенту РФ №2212540 получил широкое применение в практике. По разработанной автором конструкторской документации анкерная крепь типа АК20 с указанным затяжным устройством анкера доведена до серийного производства на ООО «Горный инструмент».

9. В настоящее время, анкерная крепь типа АК20 с новым затяжным устройством выпускается серийно.

10. Горный анкер с новым замковым устройством, защищенным патентом РФ № 2166092, в настоящее время проходит промышленные испытания на шахтах Кузбасса и готовится к серийному производству. Таким образом, в диссертации на примере горного анкера рассмотрен алгоритм подхода к решению задач, связанных с совершенствованием ответственных узлов стержневых конструкций.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Шмаров А.В., Мошкин Н.В. Обоснование нового вида крепления анкерного болта в скважине. Материалы региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». Новокузнецк, 2001.-С. 291-292.

2. Дворников Л.Т., Мошкин Н.В. Затяжное устройство и замок анкера. Материалы регионального конкурса «Инновации и изобретения года». Администрация Кемеровской области, Кузбасская торгово-промышленная палата, Областной совет ВОИР. Кемерово, 2002.- С. 11.

3. Мошкин Н.В. Совершенствование ответственных узлов анкерного крепления. Материалы двенадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения. Новокузнецк, 2002 г.-С. 213-216.

4. Дворников Л.Т., Мошкин Н.В. К проблеме совершенствования анкерного крепления горных выработок. Международная научно-практическая конференция. «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Сборник научных статей. Новокузнецк, июнь 2003 года. (В рамках выставки – ярмарки Уголь России и майнинг 2003).-С. 14-18.

5. Дворников Л.Т., Мошкин Н.В. Исследование напряженного состояния стержня горной анкерной крепи. Материалы тринадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения. Новокузнецк, 2003 г.-С. 168-177.

6. Дворников Л.Т., Мошкин Н.В. О прочности анкерного крепления горных выработок полимерными смесями. XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева. Сборник докладов (Межрегиональный совет по науке и технологиям) Миасс: МСНТ, 2004.-С. 147-149.

7. Прокушенко С.И., Дворников Л.Т., Мошкин Н.В. К проблеме совершенствования анкерного крепления горных выработок. Международная

научно-практическая конференция «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Сборник научных статей. Новокузнецк, июнь 2004 года. (В рамках выставки – ярмарки Уголь России и майнинг 2004).-С. 12-16.

8. Прокушенко С.И., Дворников Л.Т., Мошкин Н.В., Новые решения элементов анкерной крепи. Региональный научно-производственный и социально-экономический журнал «ТЭК и ресурсы Кузбасса». №2/15, 2004.- С. 42-45.

9. Патент РФ № 2166092. Дворников Л.Т., Шмаров А.В., Мошкин Н.В., Свердлов С.Г. Замок анкера, Опубликовано 27.04.2001 г. Бюл. №12.

10. Патент РФ № 2212540. Дворников Л.Т., Прокушенко С.И., Мошкин Н.В., Полынцев Н.А. Затяжное устройство анкера. Опубликовано 20.09.2003 г. Бюл. № 26.

11. Свидетельство РФ на полезную модель № 29748. Дворников Л.Т., Прокушенко С.И., Мошкин Н.В., Вечужанин Д.С., Бабанов А.П. Стержень анкера. Опубликовано 27.05.2003 г. Бюл. №15.

12. Патент РФ на полезную модель № 38836. Дворников Л.Т., Прокушенко С.И., Мошкин Н.В., Горный анкер. Опубликовано 10.07.2004 г. Бюл. №19.

13. Дворников Л.Т., Прокушенко С.И., Мошкин Н.В., Шмаров А.В. Шайба анкера. Решение о выдаче патента РФ на полезную модель по заявке №2004114414(015787).

Мошкин Николай Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ АНКЕРОВ
КАК ПРОСТРАНСТВЕННО-КРИВОЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ И
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Автореферат

Изд. Лиц. №01439 от 05.04.2000 г. Подписано в печать 02.11.04
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. Печ. л. 1,39. Уч.-изд. Л. 1,56. Тираж 120. Заказ 255.

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр ГОУ ВПО «СибГИУ»