

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Неугомонова Сергея Сергеевича «Развитие научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости подземных горных выработок с учетом воздействия статических и динамических нагрузок», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 2.8.8. Геотехнология, горные машины, 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Диссертация включает 6 глав, заключение, список литературы из 170 наименований и 4 приложения. Объем – 334 стр. текста, 109 табл., 186 рисунка.

1. Актуальность темы диссертации

Эффективность горнодобывающих предприятий в значительной степени определяется использованием таких технологий, которые максимально адаптированы к геомеханическим процессам в массиве горных пород. В мировой практике поддержания горных выработок в тяжелых условиях основным трендом является отказ от тяжелых металлоёмких рамных крепей и замена их комбинированными системами крепления на основе различных типов анкеров и торкретбетона с разного рода элементами усиления: фибры, штрипсы и др. Данные технологии позволяют достаточно эффективно ограничивать деформации массива на контуре выработок, исключить внезапные вывалы структурных блоков. Обеспечение устойчивости горных выработок на больших глубинах является одним из наиболее трудоемких процессов геотехнологии, а обоснование рациональных параметров крепления – одной из самых сложных задач геомеханики. Решение проблемы обеспечения устойчивости подземных выработок под воздействием статических и динамических сил путем обоснования конструкций и параметров крепи является основополагающей для повышения безопасности и эффективности горных работ.

Одним из путей обеспечения устойчивости горизонтальных выработок в зоне влияния очистных работ и снижения отрицательного воздействия высоких статических и динамических нагрузок является применение высокопроизводительных технологий крепления с применением комбинированных конструкций, основанных на совмещении разных способов управления состоянием массива и осуществляющих дифференцированное поглощение энергии деформирования пород в приконтурных зонах массива. Поэтому тема диссертации Неугомонова С.С., посвященная обоснованию и развитию научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости горных выработок с учетом статических и динамических нагрузок путем применения крепей на основе анкеров фрикционного вида закрепления, является весьма актуальной.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за №	_____
Дата регистрации	30.10.2024
Фамилия регистратора	_____

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций соискателя, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Результаты диссертации отражены в шести защищаемых положениях.

Первое положение, выносимое на защиту: устойчивость выработок под воздействием статических и динамических нагрузок обеспечивается комплексом мер, включающих оценку и контроль состояния приконтурного массива и его взаимодействия с элементами крепи в соответствии с установленными особенностями их нагружения и деформирования во времени и пространстве. Идея данного положения заключается в том, что обеспечение устойчивости горных выработок представляет собой совокупность технологических процессов управления состоянием массива, включающих оценку самого массива и факторов, определяющих его устойчивость, в том числе материалы и конструкции крепи, способ и порядок их использования в пространстве и времени.

Данное положение обосновано результатами обобщения известных способов крепления, а также собственных исследований автора. Они включали оценку параметров поля напряжений вокруг выработок численным моделированием, лабораторные испытания элементов конструкции крепи с целью выявления условий взаимодействия активной крепи с массивом, опытно-промышленные испытания на рудниках Казахстана и России.

Автор доказал, что устойчивость подземных выработок способны обеспечить различные сочетания элементов крепи: «анкера – подхваты – набрызгбетон» в зависимости от действующих нагрузок, учитывая способ и период их возведения.

Достоверность данного защищаемого положения опирается на корректность постановки задачи исследования, а также использование верифицированных инженерных и математических моделей, определяющих напряженно-деформированное состояние массива горных пород во взаимодействии с элементами крепи. Исходные данные для моделирования (геологическое строение, физико-механические свойства и нарушенность пород, природное напряженное состояние массива) принимались по экспериментальным данным.

Новизна положения состоит в обосновании способа обеспечения устойчивости горных выработок, заключающегося в оперативной оценке состояния массива пород и отличающегося учетом выявленных закономерностей изменения состояния пород по длине анкера при выборе конструкции и порядка возведения крепи.

На основании выявленных закономерностей дезинтеграции приконтурного массива соискатель доказывает, что при проходке выработок в околорудной зоне процессы разупрочнения горных пород за счет поглощения воды из шахтной атмосферы происходят в интервале от 0 до 24 часов после обнажения. В призабойной области на глубинах до двух габаритов выработки период интенсивного роста нагрузки также составляет от нескольких часов до суток. Таким образом, устойчивость приконтурного массива определяется в том числе скоростью проходки: при креплении металлической арочной податливой крепью

проходческий цикл составляет 2–3 смены. Применение комбинированной крепи на основе самозакрепляющегося анкера (далее СЗА), позволяет сократить проходческий цикл до 1 рабочей смены, что позитивно сказывается на устойчивости выработки.

Второе защищаемое положение относится к способу обеспечения устойчивости выработок в массивах, сложенных разными типами горных пород с различающимися прочностными и деформационными свойствами. Суть заключается в использовании СЗА, нагружение и деформирование которых происходит по всей длине стержня сразу после его установки, а их несущая способность увеличивается по мере эксплуатации за счет возникновения дополнительных закрепляющих сил трения при смещениях структурных частей массива.

На основании проведенных исследований автор установил следующее. Несущая способность анкера определяется свойствами материала анкера и коэффициентом его трения с породой. Анкер обладает способностью к смещению в определенных диапазонах без потери несущей способности, а также к деформациям стержня, что определяет его податливость. В крепких породах, в которых характерными являются сдвиги и вывалы структурных блоков по трещинам, анкеры за счет своей жесткости лучше поглощают энергию деформаций, чем поверхностные удерживающие элементы крепи (сетка, набрызгбетон). В слабых породах с большими упругопластическими смещениями контуров выработок поверхностные элементы крепи рассеивают больше энергии деформаций, чем анкера. Комбинация жесткой и податливой крепи не обеспечивает удовлетворительных результатов из-за разницы в деформируемости жестких и податливых элементов. Податливая крепь представляется предпочтительным вариантом, в том числе для борьбы с динамическими проявлениями горного давления. В диссертации автор доказывает, что всем перечисленным условиям удовлетворяют системы крепи на основе СЗА, усиленные армокаркасом, набрызгбетоном и армирующей сеткой. Каждый элемент крепи выполняет свою функцию в процессе обеспечения устойчивости.

Данное положение обосновывается результатами лабораторных испытаний свойств и условий взаимодействия фрикционного анкера с породами, численного моделирования, а также подтверждается не противоречивостью расчетной схемы, учитывающей многообразие геологических и технологических параметров и получением зависимостей влияния интенсивности разупрочнения пород на устойчивость окружающего выработку массива.

Установленные соискателем закономерности изменения напряженно-деформированного состояния и устойчивости массива пород показывают тесную взаимосвязь между конструктивными элементами крепи и механизмами их совместного нагружения и деформирования. Последнее свидетельствует о новизне второго научного положения.

Достоверность данного положения, как и первого, подтверждается: использованием апробированного и обоснованного для геомеханических исследований различных постановок задач конечно-элементного анализа и

метода конечно-дискретных элементов, позволяющих максимально учесть геологические и технологические факторы; обоснованностью принятия исходных данных и краевых условий задач для моделирования, отвечающих натурным горнотехническим ситуациям.

В третьем положении защищаются выявленные автором закономерности нагружения и деформирования элементов крепи, используемые для обоснования типа и параметров крепи. Они заключаются в дифференцированном поглощении энергии деформирования массива в приконтурной зоне горных выработок, в том числе в условиях динамических форм проявления горного давления. Автор доказывает, что в породах, склонных к потере прочности, по всей поверхности обнажения следует обеспечить формирование изолирующего слоя набрызгбетонной крепи в срок не более 1 рабочей смены, что сократит вероятность возникновения высоких статических напряжений. В трещиноватых породах устойчивость обеспечивается созданием распределенного подпора контура выработки армокаркасом и предотвращением вывала «закрывающего блока». Это снижает вероятность дальнейшего развития процесса обрушения; динамическая нагрузка горных ударов компенсируется деформациями и податливостью анкерной крепи, в том числе созданием слоёв армированного набрызгбетона.

Достоверность положения подтверждается сходимостью результатов численного моделирования и опытно-промышленных экспериментов, а также положительными результатами опытно-промышленных испытаний технологии на Орловском и Артемьевском рудниках АО Востокцветмет.

Новизна защищаемых положений заключается в полученных закономерностях изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива от влияния сорбционных свойств горных пород в период проведения выработки, заключающихся в потере прочностных характеристик и устойчивости в определенный период времени после контакта вскрытого участка массива с рудничной атмосферой, а также разработанной методики выбора конструкции самозакрепляющейся анкерной крепи, исходя из напряженно-деформированного состояния массива горных пород, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия элементов крепи по длине анкера с разнопрочным и разномодульным массивом в ходе нагружения и деформирования при возведении и эксплуатации крепи.

Четвертым положением защищаются новые закономерности взаимодействия фрикционного анкера с породными стенками шпура. На их основе обеспечивается приращение несущей способности СЗА за счет увеличения в 2,5 раза площади контакта анкер-шпур, обусловленного действием введенной в полость анкера вставки из материала с модулем упругости ниже стали (например, дерева, пластика и т.п.).

Обоснованием данного положения являются экспериментальные исследования. Ими доказано, что повышение силы закрепления СЗА в шпуре возможно за счет увеличения площади контакта анкера и шпура. Принципиальное изменение схемы нагружения анкера обеспечивается новым техническим решением, защищенным патентом. В конусную часть анкера с

цилиндрическим поперечным сечением вводится вставка из материала с модулем упругости ниже, чем у стали. При установке в шпур вставка сжимается в радиальном направлении и создает по всей внутренней поверхности анкера распределенное давление. Тем самым обеспечивается прирост несущей способности СЗА.

Достоверность четвертого положения опирается на использование комплексного метода исследований, верифицированных инженерных и математических моделей, достоверных результатов аналитических расчетов, экспериментальных исследований и данных практики. Достоверность полученных результатов и сформулированных рекомендаций подтверждается качественной и количественной согласованностью результатов, полученных разными методами. Расхождение результатов исследований находятся в пределах их погрешности. Достоверность положения также подтверждена результатами опытно-промышленной эксплуатации комбинированной конструкции фрикционного анкера на Гремячинском месторождении калийных руд.

Новизна положения состоит в разработанной математической модели расчета несущей способности СЗА и выбора параметров крепи на основании выявленных закономерностей деформирования фрикционного анкера с усиливающими вставками с породным контуром шпура.

Пятое положение: сохранение функциональности СЗА в условиях действия горных ударов обеспечивается совместной деформацией анкера с массивом за счет относительного удлинения стержня анкера и перераспределения несущей способности по всей его длине с увеличением силы трения по периметру шпура с сохранением исходной прочности массива.

Автор доказывает, что устойчивость выработок при горных ударах обеспечивается СЗА за счет податливого режима его работы при динамических смещениях контура выработки вплоть до 300–400 мм. Совместное деформирование СЗА с массивом реализуется за счет относительного удлинения стержня вдоль оси анкера на величину до 20% и перераспределения несущей способности по длине с увеличением силы трения в приконтурной зоне шпура, сохраняющей исходную прочность массива. Анкерные стержни должны быть совместимы с другими опорными элементами единой конструкции крепи с учетом способности к поглощению энергии, при этом часть энергии деформирования массива распределяется через армокаркас, далее от него напряжения передаются на опорную плиту и через опорный узел – на стержень анкера.

Достоверность пятого положения так же, как и четвертого обеспечивается использованием комплексного метода исследований, верифицированными инженерными и математическими моделями, достоверными результатами аналитических расчетов, экспериментальных исследований и данных практики, что подтверждается качественной и количественной согласованностью результатов, полученных разными методами.

В совокупности с предыдущим положением автором разработана методика выбора конструкции самозакрепляющейся анкерной крепи, исходя из

напряженно-деформированного состояния массива горных пород, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия элементов крепи по длине анкера с разнопрочным и разномодульным массивом в ходе нагружения и деформирования при возведении и эксплуатации крепи, что в чём и заключается новизна результатов исследований.

Шестое положение по существу является результирующим. В его основу заложен методический подход к обоснованию, проверке и корректировке параметров расположения и типоразмеров крепи путем оперативного контроля несущей способности СЗА в процессе их возведения, основанный на регистрации смещений стержня в шпуре с использованием специального захвата, что также повышает надежность крепи в период обеспечения устойчивости горной выработки в заданные сроки эксплуатации, а также ремонтпригодность, снижение трудоемкости и материалоемкости процессов крепления и перекрепления горных выработок.

Обоснованность данного положения состоит в учете всего многообразия горно-геологических, геомеханических условий и технологических приемов обеспечения устойчивости горных выработок в условиях воздействия статических и динамических нагрузок.

Новизна положения опирается на установленные соискателем устойчивые связи между напряженно-деформированным состоянием массива пород и элементами горной крепи. По мнению автора, данные взаимосвязи являются отправной точкой для формулировки методических основ выбора и обоснования параметров крепи на основе фрикционных анкеров, учитывающие особенности совместного влияния элементов конструкции крепи и их взаимодействия с массивом горных пород, осуществляющих дифференцированное поглощение энергии деформирования пород в приконтурных зонах выработки.

Достоверность данного положения, по сути, подтверждается следствием всех предыдущих научных положений, в том числе, методическим подходом к проведенным исследованиям.

3. Значимость полученных результатов для науки и практики

Научное значение результатов, полученных Неугомоновым С.С., на мой взгляд, состоит в развитии научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости подземных горных выработок путем создания комбинированных конструкций крепи с применением фрикционных анкеров и определения области их безопасного и рационального применения. Методические основы опираются на установленные автором закономерности совместного деформирования системы горная крепь – массив пород, которые определяют необходимость и рациональные параметры тех или иных конструктивных элементов комбинированной крепи. Результаты диссертации инициируют импульс дальнейшего развития исследований в части изучения механизмов взаимодействия крепи и связанных с этим прикладных решений в технологии обеспечения устойчивости подземных горных выработок.

Практическая ценность работы заключается в разработке безопасных и эффективных технологий крепления горных выработок путем интеграции преимуществ известных методов и способов обеспечения устойчивости с учетом закономерностей изменения напряженного состояния массива пород и деформационных характеристик элементов фрикционной анкерной крепи и комбинаций на её основе в принципиально новых условиях ведения горных работ.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Основные положения диссертации имеют необходимую апробацию и достаточно полно опубликованы в 37 научных статьях и в двух патентах.

Тема диссертации и защищаемые научные положения соответствуют паспортам специальностей 2.8.8. Геотехнология, горные машины, 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Диссертация написана грамотным техническим языком, обладает внутренним единством, подробно иллюстрирована и оформлена в соответствии с существующими требованиями. Результаты исследований и полученные на их основе рекомендации реализованы при разработке технологических регламентов и выполнении научно-исследовательских работ (НИР) для горнодобывающих предприятий.

Содержание автореферата полностью соответствует диссертации.

5. Замечания по диссертации

1. Согласно первому защищаемому положению устойчивость выработок обеспечивается комплексом мер, включающих оперативную оценку и контроль состояния приконтурного массива... При этом методы и способы оценки состояния массива и его контроля не раскрыты.

2. Автор подразумевает, что самозакрепляющиеся анкера являются податливой крепью по сравнению с жесткими железобетонными или сталеполимерными анкерами. Однако в работе не содержится сопоставительных расчетов жесткости разных типов анкеров.

3. Для каких горно-геологических условий справедливы выявленные закономерности потери устойчивости приконтурного массива в период до 24 часов, и в каких случаях следует этим пользоваться ?

4. Недостаточно изучен вопрос в допустимой разнице модулей стали, из которой изготовлен самозакрепляющийся анкер, и внутренней вставки.

5. В диссертации не приведены рекомендации о рациональном соотношении диаметров шпура и анкера. По моему мнению, это соотношение должно зависеть от упругости вмещающих пород.

6. Заключение

Диссертация Неугомонова С.С., представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-методические основы технологии обеспечения устойчивости подземных горных выработок с учетом воздействия статических и динамических нагрузок, обоснованные установленными закономерностями взаимного влияния состояния массива вокруг выработки и элементов ее крепи, определяющих необходимость и рациональные параметры тех или иных технологических и конструктивных решений, внедрение которых обеспечивает безопасность и экономическую эффективность горных работ, что вносит значительный вклад в развитие горнодобывающей промышленности страны.

По совокупности полученных новых научных результатов и практическому значению выводов и рекомендаций, диссертация соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор – Неугомонов Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.8.8. Геотехнология, горные машины, 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
главный консультант по геомеханике
СМТ Consulting (Russia)

Макаров
Александр Борисович

Научные специальности:
05.15.01 – Маркшейдерия;
05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых.

125009, Москва, Кузнецкий мост ул., д.4/3, стр.1.
тел. (495) 545 44 17; факс (495) 545 44 18; e-mail: abm51@mail.ru

Я, Макаров А.Б., согласен на обработку персональных данных.

Подпись главного консультанта по геомеханике, проф. Макарова А.Б. удостоверяю.

Менеджер по персоналу
СМТ Consulting



А.Н. Кувшинова