

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кузнецова Николая Николаевича «Исследование энергоемкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примере месторождений Кольского региона)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика

1. Структура и объем работы

Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы из 160 наименований. Она изложена на 145 страницах машинописного текста и содержит 63 рисунка, 9 таблиц и 67 формул.

2. Актуальность темы диссертации

При отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах и при наличии в массивах высоких тектонических напряжений мы все чаще сталкиваемся с динамическими проявлениями горного давления. Иногда они происходят в виде горных и горно-тектонических ударов (техногенных землетрясений) с тяжелыми последствиями. Чтобы снизить риски горного производства, опасного по критериям закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности...», Правила безопасности при ведении горных работ... предписывают проводить оценку удароопасности массива пород на всех месторождениях, отрабатываемых подземным способом. Первый шаг этого процесса - выявление пород, склонных к горным ударам.

Склонность пород к динамическим разрушениям определяется хрупким характером разрушения. Для этого проводят лабораторные испытания образцов, по результатам которых определяют их прочностные и деформационные параметры, характер их разрушения. Основным методом оценки склонности горных пород к удароопасности (динамическим разрушениям), имеющим фундаментальное обоснование, является сопоставление модуля упругости при нагружении с модулем спада при разрушении пород. Также имеются критерии, позволяющие выполнять такую оценку на основании сравнительного анализа накопленной энергии упругих деформаций и энергии, выделившейся в процессе разрушения. Реализация данных критериев на практике сдерживается отсутствием жестких прессов, необходимых для определения запредельных характеристик. Поэтому существует насущная потребность в разработке нового метода, позволяющего определять склонность к динамическим разрушениям горных пород по результатам испытаний на стандартных (мягких) прессах по стандартным методикам без

получения полной диаграммы деформирования. Также нуждаются в дальнейшем изучении процессы накопления и выделения энергии горными породами и определение их склонности к горным ударам в трехосном напряженном состоянии.

Поэтому тема диссертации Кузнецова Н.Н., посвященная исследованию удароопасности скальных горных пород с позиции энергоемкости их разрушения, является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение для обеспечения промышленной безопасности подземной разработки месторождений.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна.

Для изучения процессов деформирования и разрушения скальных горных пород, а также оценки их склонности к динамическим разрушениям (удароопасности), в работе использован комплексный подход, включающий экспериментальное определение механических свойств пород в образцах и энергетических параметров их деформирования и разрушения на современном лабораторном оборудовании и применение компьютерных технологий для обработки результатов исследований. В работе изучены закономерности изменения прочностных свойств пород Кольского региона при различных режимах нагружения. Установлена взаимосвязь между характером их разрушения и величиной критической удельной энергии деформирования. Разработан критерий оценки склонности скальных пород к горным ударам по результатам испытаний образцов на одноосное сжатие.

В первом защищаемом положении автор доказывает связь между характером разрушения скальных горных пород и величиной критической энергии их деформирования в условиях одноосного сжатия.

По результатам лабораторных исследований автором установлено, что при одноосном сжатии горных пород с величиной накопленной энергии перед разрушением до $0,05 \text{ МДж}/\text{м}^3$ преобладает разрушение в статическом режиме. В случае, если критическая энергия горных пород превышает $0,05 \text{ МДж}/\text{м}^3$, они разрушаются в динамической форме. Наиболее опасными являются породы, способные накопить до разрушения энергию выше $0,25 \text{ МДж}/\text{м}^3$. Данное утверждение основано на результатах экспериментальных исследований 34 типов пород Кольского полуострова. Чтобы реализовать данный критерий, по результатам испытаний образцов на одноосное сжатие необходимо получить модуль упругости пород и их прочность. Этого достаточно для расчета удельной энергии, запасенной образцом перед разрушением. Т.е. для

практического применения предложенного критерия достаточно иметь обычное оборудование, которое широко доступно.

Достоверность данного положения подтверждается большим количеством полученных экспериментальных данных и их статистической обработкой. Новизна данного положения заключается в установлении порогового значения критической удельной энергии деформирования для скальных горных пород, на основании которого их можно разделять на склонные и не склонные к динамическим разрушениям.

Вторым защищаемым положением автор обосновывает упрощенный критерий оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям. Он основан на анализе диаграмм деформирования образцов при одноосном сжатии и сопоставлении величин идеально упругой и реальной энергии их деформирования.

Экспериментальными исследованиями автором установлено, что для пород со статическим характером разрушения диаграмма деформирования до предела прочности имеет вогнутый вид. Т.е. наряду с упругим сжатием в ходе нагружения в породе происходит накопление необратимых деформаций, полагаю, в виде микротрешин. Породы, деформирующиеся линейно по закону Гука, сохраняют сплошность вплоть до разрушения, и разрушаются в динамической форме, т.е. являются склонными к горным ударам. Это означает следующее. Увидеть склонность породы к динамическому разрушению можно и до разрушения образца, т.е. неразрушающим тестом, анализируя диаграмму деформирования образца до разрушения. Поэтому для оценки склонности породы к горным ударам по данному критерию уже не важен тип пресса – «мягкий» ли он или «жесткий», т.к. факт разрушения образца еще не случился.

Достоверность данного положения подтверждается сопоставимостью результатов, полученных по предлагаемому автором критерию, с результатами такой оценки по методике А.Н. Ставрогина, принятой действующими в РФ методическими рекомендациями по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам.

Новизна данного положения заключается в том, что для определения склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям не нужно определять запредельные характеристики пород на «жестких» прессах, а необходимым и достаточным условием для этого будет получение диаграмм деформирования образцов при одноосном сжатии до предела прочности и определение величин их расчетной (идеально упругой) и реальной энергии деформирования.

В третьем защищаемом положении автор рассматривает изменение свойств скальных горных пород и их склонности к динамическим разрушениям в условиях трехосного сжатия.

В диссертации определено, что в условиях трехосного сжатия с увеличением бокового давления от 0 до 30 МПа прочность пород месторождений Кольского полуострова увеличивалась в 2-3 раза, а критическая энергия - в 5-10 раз. Для образцов уртита среднезернистого массивного при боковом давлении 80 МПа прочность возросла в 4 раза по сравнению с одноосным сжатием, тогда как критическая энергия – в 14 раз.

Соискателем установлено, что для скальных горных пород, склонных к динамическим разрушениям, характерно быстрое выделение накопленной в условиях трехосного сжатия упругой энергии (менее 40 с), а критическая удельная энергия деформирования будет в два и более раз превышать остаточную энергию в образцах после их разрушения. Для несклонных к динамическим разрушениям пород время выделения энергии в условиях трехосного сжатия будет более длительным (около 200 с и выше), а разница между величинами критической и остаточной энергии будет близка к нулю.

На основании экспериментальных данных и анализа литературных источников автором сделан вывод о том, что с переходом от условий одноосного сжатия к трехосному и при снижении девиаторной компоненты тензора напряжений уменьшается скорость выделения накопленной упругой энергии, а также снижается склонность пород к разрушению в динамической форме.

Данное научное положение основано на достаточно большом объеме лабораторных испытаний образцов скальных горных пород. Достоверность этого положения подтверждена большим количеством полученных экспериментальных данных, их статистической обработкой и сопоставимостью результатов испытаний, полученных автором и другими исследователями.

Научная новизна этого положения заключается в определении того, каким образом изменяется характер деформирования скальных горных пород, их физические свойства и склонность к динамическим разрушениям при переходе от условий одноосного нагружения к трехосному.

4. Значимость научных положений и выводов для науки и практики.

Научная значимость работы заключается в установлении зависимости между характером разрушения образцов скальных горных пород при одноосном сжатии и величиной их критической удельной энергии деформирования.

Практическим результатом работы является предложенный автором упрощенный критерий оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям, основывающийся на анализе графиков деформирования образцов скальных пород при одноосном сжатии до предела прочности и сопоставлении величин их накопленной фактической и расчетной идеально упругой энергий деформирования.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Изложение и стиль отвечает общепринятым требованиям и стандартам. Результаты экспериментальных исследований носят завершенный характер и естественно вытекают из содержания.

Основные результаты диссертационных исследований прошли качественную апробацию через публикации и выступления на различных научно-технических мероприятиях. Всего по теме диссертации опубликована 41 работа, из них 9 работ - в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 11 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science и Scopus, а также получено 2 патента на изобретения.

Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям и задачам. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. Структура диссертации и автореферата имеет логическую последовательность, ясность и полноту изложения.

6. Замечания и вопросы по диссертации.

1. В ходе лабораторных экспериментов автор изучал влияние различных режимов нагружения на прочность и склонность скальных горных пород к динамическому разрушению. Однако в работе не отражено, как изменение скорости нагружения может повлиять на эти характеристики.

3. В работе мало уделено внимания тому, насколько сильно структурные особенности массива горных пород влияют на склонность к динамическому разрушению.

4. При анализе удароопасности пород в условиях трехосного сжатия автор использует понятие контрастности компонент тензора напряжений в виде разности главных напряжений. В тензорном исчислении для этих целей используют девиатор напряжений и октаэдрические напряжения.

5. Способность пород сохранять хрупкий характер разрушения в объемном сжатии ранее изучал Кейджу Моги. Его уравнение известно, как линия Моги. Соискателю надо было сопоставить свои результаты с ранее установленными.

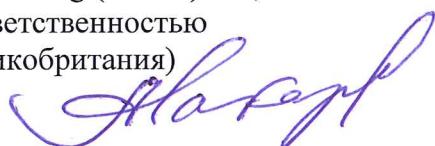
Отмеченные замечания к диссертации в целом не снижают ценности полученных научных результатов и носят характер рекомендаций для дальнейшей работы.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация Кузнецова Николая Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи по определению склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям (удароопасности) с позиции их энергоемкости.

Диссертация соответствует предъявляемым требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор - Кузнецов Николай Николаевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор,
главный консультант по геомеханике SRK Consulting (Russia) Ltd,
филиала частной компании с ограниченной ответственностью
«Эсаркей Консалтинг (Россия) Лимитед» (Великобритания)



Макаров
Александр Борисович

125009, Москва, Кузнецкий мост ул., д.4/3, стр.1.
тел. (495) 545 44 17; факс (495) 545 44 18
info@srk.ru.com; www.srk.com
Тел: 8 (916) 612 44 93. e-mail: abm51@mail.ru

Дата составления отзыва: 26 июля 2021 г.

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

Подпись главного консультанта по геомеханике, проф. Макарова А.Б. УДОСТОВЕРЯЮ:

Менеджер по персоналу
SRK Consulting



А.Н. Кувшинова