

ОТЗЫВ

официального оппонента докт. техн. наук Батугина Андриана Сергеевича на диссертацию Кузнецова Николая Николаевича «Исследование энергоемкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примереместорождений Кольского региона)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Рассматриваемая диссертационная работа содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, Приложение. Во введении формулируется актуальность, цель, задачи исследования, научная новизна, защищаемые научные положения, практическая значимость, достоверность научных положений, указаны методы исследования и приводятся сведения о реализации и апробации работы.

Оценка актуальности работы. Известно, что Кольский регион является одним из наиболее удароопасных в России. Согласно действующим Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам", выделение удароопасных зон в пределах шахтных полей проводится по данным прочностных и деформационных характеристик всех разновидностей пород и руд. Для получения данных о склонности пород разрушаться в динамической форме их механические свойства исследуют при нагружении до предела и за пределом прочности, что требует использования труднодоступного специализированного оборудования. В реальных условиях рудников постоянно изменяется напряженное состояние массива, чередуются участки с различным геомеханическим состоянием. В этих условиях требуется оперативно и надежно выделять удароопасные зоны в пределах шахтных полей, в связи с чем в разных странах мира продолжают исследования по разработке методов оценки удароопасности пород и классификаций по склонности массива к горным ударам. Изменения геомеханического состояния массива в пространстве и времени связаны как с процессами ведения горных работ, так и природными факторами, определяющими геодинамику месторождения. В этих условиях требования к испытательному оборудованию ограничивают мобильность в принятии решений по обеспечению геодинамической безопасности. Разработка и обоснование упрощенной и оперативной оценки удароопасности с использованием

стандартного оборудования позволила бы предприятиям более гибко и оперативно реагировать на изменение горно-геологической обстановки и принимать решения по обеспечению безопасности. В этой связи диссертационная работа Кузнецова Н.Н., направленная на исследование механических и энергетических параметров скальных пород месторождений Кольского региона при разных условиях нагружения, а также разработку подхода к оценке удароопасности (склонности к динамическим разрушениям) пород с позиции энергоемкости их разрушения, выполнена на актуальную тему.

Оценка содержания диссертации и обоснованности научных положений

В первой главе автор представляет аналитический обзор методов испытаний механических свойств горных пород и ставит задачи по анализу существующих методов исследования энергоемкости разрушения горных пород и энергетических критериев оценки склонности пород к динамическим разрушениям; комплексному исследованию механических и энергетических свойств скальных горных пород месторождений Кольского региона при различных режимах нагружения; по разработке критерия оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям (удароопасности) при испытании на стандартных прессах в условиях одноосного сжатия; по выполнению оценки склонности скальных горных пород месторождений Кольского региона к удароопасности в условиях трехосного сжатия при различных величинах бокового давления.

Цель работы формулируется как «Разработка критерия оценки склонности к динамическим разрушениям (удароопасности) скальных горных пород с позиции их энергоемкости на примере месторождений Кольского региона».

Вторая глава диссертации посвящена доказательству первого научного положения о зависимости между характером разрушения скальных горных пород месторождений Кольского региона и величиной их критической удельной энергии деформирования. Автор подробно описывает методику проведения испытаний и полученные результаты. Основным итогом экспериментальных работ - получение данных о механических и энергетических параметрах скальных горных пород Хибинского массива. По результатам сравнительного анализа и статистической оценки полученных данных установлено, что породы с величиной критической удельной энергией деформирования свыше 0,0500 МДж/м³ разрушались в динамической форме с разлетом осколков и взрывоподобным звуком (табл.

2.3 и рис. 2.18). При этом наиболее интенсивное разрушение установлено для образцов уртита неравномерно-зернистого, уртита среднезернистого массивного (полевошпатового до ювитов) и ийолита трахитоидного. Величины критической удельной энергии деформирования таких пород являются самыми высокими (свыше 0,2500 МДж/м³).

На основе анализа полученных результатов автор делает вывод о том, что скальные горные породы, величина критической удельной энергии деформирования которых ниже 0,0500 МДж/м³, не склонны к динамическим разрушениям. В случае, если критическая энергия горных пород будет превышать величину 0,0500 МДж/м³, то они будут склонны к динамическим видам разрушения. При этом наиболее опасными по таким видам разрушения автор считает породы со значениями критической удельной энергии деформирования свыше 0,2500 МДж/м³. Полученный вывод, который лежит в основе первого научного положения, представляется достаточно обоснованным.

Третья глава посвящена доказательству второго научного положения и разработке критерия оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям по результатам испытаний горных пород на одноосное сжатие на стандартных прессах.

В главе подробно описаны эксперименты по испытанию образцов скальных пород на стандартном прессе. Автор обращает внимание, что графики деформирования образцов могут иметь выгнутую, вогнутую и прямолинейную форму, что интерпретируется как энергетический показатель деформируемости пород. Расчетная разница удельной энергии деформирования образцов и удельной энергией идеально упругого деформирования составляет 1-35% (табл. 3.1). Автор полагает, что чем меньше эта разница, тем более склонна порода к разрушению в динамической форме. По результатам эксперимента выявлено два различающихся режима деформирования пород и определен критерий отнесения пород к различным категориям по степени склонности к разрушениям в динамической или статической форме: если значение реальной энергии деформирования меньше условно-расчётной идеально упругой энергии на величину свыше 10%, то порода отнесена к типу пород, разрушение которых возможно только в статическом режиме. По разработанному критерию в табл. 3.1 автор приводит классификацию скальных пород месторождений Кольского региона по склонности к динамическому разрушению.

Предложенный критерий проверен автором путем испытаний пород по методике, используемой при оценке склонности пород к разрушению в

динамической форме, а именно, по соотношению величин модуля упругости и модуля спада. Здесь автор приводит результаты испытаний трех типов пород на жестком прессе MTS 816, установленном в Санкт-Петербургском Горном университете и приходит к выводу о сопоставимости результатов. На основе анализа этих результатов сформулировано второе научное положение.

В четвертой главе рассмотрена оценка склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям в условиях трехосного сжатия и обосновывается третье научное положение. На основании анализа полученных данных при испытаниях образцов скальных пород в условиях трехосного сжатия, а также анализа литературных источников, автор приходит к выводу, что с переходом от условий одноосного сжатия к трехосному и при снижении величины соотношения между компонентами тензора напряжений уменьшается скорость выделения накопленной в процессе нагружения энергии, а также снижается склонность пород к разрушениям в динамической форме, что составляет ядро третьего научного положения. Полученный вывод не противоречит положениям теории прочности Кулона-Мора и представляется достаточно обоснованным.

Так же автор делает важный вывод, что для скальных горных пород, склонных к динамическим разрушениям, характерно быстрое выделение накопленной в условиях трехосного сжатия (при боковом давлении до 30 МПа) упругой энергии (менее 40 с), а критическая удельная энергия деформирования в два и более раз превышает остаточную энергию в образцах после их разрушения. Для несклонных к динамическим разрушениям пород время выделения энергии в условиях трехосного сжатия более длительное (около 200 с и выше), а разница между величинами критической и остаточной энергии близка к нулю.

Оценка научной новизны

1. На основании данных, представленных автором в тексте диссертации и на рисунках 2.16; 2.17; 2.18 и таблицах 2.2 и 2.3 можно заключить, что им экспериментально установлена закономерность поведения пород месторождений Кольского региона в условиях одноосного сжатия, которая заключается в том, что образцы скальных горных пород с величиной критической удельной энергии деформирования ниже 0,05 МДж/м³ разрушаются в статической режиме, а образцы пород с величиной критической энергии выше 0,05 МДж/м³ разрушаются в динамической форме.

2. При испытании пород месторождений Кольского региона в условиях трехосного сжатия экспериментально установлена зависимость

повышения значений пределов прочности и критической удельной энергии деформирования образцов скальных горных пород (на примере апатитнефелиновых руд, уртитов, ийолитов, гнейса, туфогенно-осадочной породы и карбонатита) с увеличением бокового давления: при боковом давлении порядка 20-30 МПа значения прочности по сравнению с одноосным сжатием увеличились в два-три раза, а критической энергии - в пять-десять раз; для образцов уррита среднезернистого массивного при боковом давлении 80 МПа прочность возросла в четыре раза по сравнению с одноосным сжатием, а критическая энергия – в четырнадцать раз. Обнаруженная зависимость согласуется с представлениями о поведении пород при увеличении объемного сжатия, новыми являются обнаруженные соотношения для пород Кольского региона.

3. Автором для пород месторождений Кольского полуострова экспериментально установлена закономерность, согласно которой время выделения накопленной в условиях трехосного сжатия (при боковом давлении до 30 МПа) упругой энергии для склонных к динамическим разрушениям пород менее 40 с. Для этих же пород критическая удельная энергия деформирования в два и более раз превышает остаточную энергию в образцах после их разрушения. Для несклонных к динамическим разрушениям пород время выделения энергии в условиях трехосного сжатия достигает 200 с и выше, а разница между величинами критической и остаточной энергии близка к нулю.

4. Автором обоснован подход к оценке склонности пород к разрушению в динамической форме с учетом энергоемкости их разрушения при испытаниях в условиях одноосного сжатия, что можно использовать при оценке удароопасности.

Практическая значимость работы заключается в разработке критерия оценки склонности скальных пород Кольского региона к разрушениям в динамической форме, что может быть использовано для прогноза удароопасности на месторождениях.

Результаты диссертационной работы обсуждены на конференциях всероссийского и международного уровней и достаточно полно опубликованы в 20 печатных научных статьях в журналах из перечней ВАК, Scopus, Web of Science.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертация написана четким и понятным языком, хорошо оформлена, в работе подробно представлены теоретическое описание, используемые экспериментальные методики, экспериментальные данные.

По работе имеются замечания:

1. В табл. 2.3, на рис. 2.18 приводится шкала характера разрушения пород месторождений Кольского региона при одноосном сжатии, в которой автор использует такие термины, касающиеся характера разрушения, как «Динамический», «Интенсивно динамический», «Слабо динамический», «Статический» без их пояснения и методики определения. Тем не менее на основе этих терминов строится первое научное положение.

2. Не пояснено, почему в таблице 2.2 перечислено 15 типов горных пород, а на рисунках 2.16 и 2.17 отражена информация только о 12 из них.

3. В выводах по главе 2 идет речь об установлении в диссертационном исследовании важных закономерностей, однако формулировок закономерностей не приводится.

4. Приложение А содержит одну страницу, титульный лист отчета по установлению регламента по обоснованию устойчивости борта карьера. Непонятно, какое отношение это имеет к автору и теме диссертации.

5. В третьем научном положении автор использует понятие неоднородности тензора напряжений, имея в виду соотношение между осевой и боковой нагрузкой. Однако даже при изменении бокового сжатия вид напряженного состояния не меняется (коэффициент Лоде-Надаи $\mu\sigma = +1$). В реальных условиях могут различаться все три компоненты главных напряжений и вид напряженного состояния изменяться. Поскольку данная ситуация автором не рассматривается, то, возможно, следовало бы более корректно оговорить условия.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы Кузнецова Н.Н. Работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимости. Экспериментальные исследования выполнены в соответствии с предъявляемыми требованиями к проведению определения механических свойств горных пород и на стандартном оборудовании, поэтому достоверность результатов не вызывает сомнений. Поставленные в работе задачи решены, обозначенная цель исследования достигнута, научные положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны.

Диссертационная работа «Исследование энергоемкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примереместорождений Кольского региона)», соответствует требованиям

ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Кузнецов Николай Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Профессор кафедры «Экология и безопасность горного производства» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», докт. техн. наук


08.09.2021 Батугин А.С.

Местонахождение университета: Россия, 119049, г. Москва, Ленинский пр., д. 4.

Подпись Батугина Андриана Сергеевича заверяю:

Богомолов Леонид Михайлович, директор
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного
отделения Российской академии наук
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б



тел. 8 424 2

e-mail l.bogomolov@iomg.dvo.ru

