



УТВЕРЖДАЮ:

Директор Горного института КНЦ РАН

д.т.н. С.В.Лукичёв

«11» 12 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горного института - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН).

Диссертация «Исследование энергоёмкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примере месторождений Кольского региона)» выполнена в лаборатории «Инструментальных исследований состояния горных пород Арктической зоны РФ», входящей в отдел Геомеханики ГоИ КНЦ РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Кузнецов Николай Николаевич работал в ГоИ КНЦ РАН в лаборатории Геомеханики в должностях от инженера до научного сотрудника.

В 2011 г. окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета по специальности «Информационные системы и технологии».

Научный руководитель – заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор технических наук, Козырев Анатолий Александрович, работает в ГоИ КНЦ РАН заведующим отделом Геомеханики.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа посвящена изучению энергоёмкости разрушения скальных горных пород месторождений Кольского региона и оценке их склонности к динамическим формам разрушения по результатам испытаний образцов в условиях одноосного и трехосного напряженного состояния.

Основные научные и практические выводы, сделанные в результате завершённых научных исследований, заключаются в следующем:

1. По результатам сопоставления энергоёмкости и характера разрушения исследуемых образцов скальных горных пород в условиях одноосного сжатия

установлено, что при величине критической удельной энергии деформирования ниже $0,05 \text{ МДж/м}^3$ породы будут в меньшей степени склонными к динамическим разрушениям или не склонны вовсе. В случае, если критическая энергия горных пород будет превышать величину $0,05 \text{ МДж/м}^3$, то они будут склонны к динамическим видам разрушения. При этом наиболее опасными по таким видам разрушения будут породы со значениями энергии свыше $0,25 \text{ МДж/м}^3$.

2. На основании результатов испытаний образцов скальных горных пород (апатит-нефелиновая руда, уртит, ийолит, гнейс, туфогенно-осадочная порода и карбонатит) в условиях трехосного сжатия установлено, что с увеличением бокового давления будут также возрастать значения пределов прочности и критической удельной энергии деформирования пород. 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 уртита среднезернистого массивного при боковом давлении 80 МПа прочность возросла в четыре раза по сравнению с одноосным сжатием, а критическая энергии – в четырнадцать раз.

3. Разработан упрощенный критерий оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям по результатам испытаний в условиях одноосного сжатия до предела прочности, выполняемых на обычных испытательных машинах по стандартным методикам:

- если характер деформирования образцов горных пород близок к пластическому (график деформирования имеет вогнутый вид), а накопленная энергия деформирования меньше расчетной упругой на величину свыше 10%, то порода не склонна к разрушениям в динамической форме. В этом случае потеря устойчивости горных выработок будет происходить преимущественно в виде образования отдельных вывалов, ограниченных поверхностями структурных неоднородностей различного ранга;

- во всех остальных случаях, когда образцы деформируются упруго, породы склонны к разрушениям в динамической форме, а при проведении горных работ нельзя исключить реализацию разрушений типа горных ударов.

4. В результате исследований установлено, что наиболее склонными к динамическим разрушениям из испытанных пород Хибинских апатит-нефелиновых месторождений являются уртиты, несколько менее склонны ийолиты и апатит-нефелиновые руды; из пород Заимандровского железорудного района - гнейсы; из пород Ковдорского месторождения: склонны - апатит-карбонатно-магнетитовые руды и совершенно не склонны - карбонатиты.

5. По результатам экспериментальных исследований образцов скальных горных пород месторождений Хибинского и Ковдорского массивов в условиях трехосного сжатия установлено, что склонность к динамическим разрушениям апатит-нефелиновой руды и уртита среднезернистого массивного сохраняется при величинах бокового давления от 0 до 30 МПа, а кальцитовый карбонатит в этих условиях не проявляет склонности к таким разрушениям.

6. Анализ условий разрушения скальных горных пород в динамической форме показал, что основными влияющими факторами являются величина накопленной упругой энергии и скорость ее выделения при разрушении образцов:

- критическая удельная энергия деформирования для скальных горных пород, склонных к разрушениям в динамической форме при трехосном сжатии, будет всегда выше значения критической энергии для несклонных к таким разрушениям пород: величина этого параметра для уртита и апатит-нефелиновой руды в среднем больше, чем для карбонатита, в 7 и 5 раз соответственно при боковом давлении 30 МПа;

- 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 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.

7. На основе экспериментальных исследований разработан алгоритм определения склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям в условиях одноосного и трехосного сжатия.

8. Установлено, что с возрастанием различия между величинами компонент напряжений скорость выделения накопленной в процессе нагружения энергии и склонность скальных пород к динамическим разрушениям увеличиваются, а при выравнивании значений компонент действующих напряжений - уменьшаются. Поэтому горные удары происходят, как правило, на контуре выработок, а техногенные землетрясения - на границах структур.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлено, что в условиях одноосного сжатия образцы скальных горных пород месторождений Кольского региона с величиной критической удельной энергии

деформирования ниже $0,05 \text{ МДж/м}^3$ разрушаются в статической режиме, а образцы пород с величиной критической энергии выше $0,05 \text{ МДж/м}^3$ разрушаются в динамической форме с сильным звуком и разлетом осколков. При этом наиболее интенсивное разрушение выявлено для образцов со значениями критической энергии свыше $0,25 \text{ МДж/м}^3$ (вмещающие породы апатит-нефелиновых месторождений – уртиты и ийолиты).

2. Определено, что в условиях трехосного сжатия с увеличением бокового давления также возрастают значения пределов прочности и критической удельной энергии деформирования образцов скальных горных пород (на примере апатит-нефелиновых руд, уртитов, ийолитов, гнейса, туфогенно-осадочной породы и карбонатита). 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.

3. Выявлено, что для скальных горных пород месторождений Кольского региона, 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 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.

4. Установлено, что при переходе от условий одноосного сжатия к трехосному изменяется характер деформирования скальных горных пород: при трёхосном нагружении допредельные графики деформирования образцов имеют более выраженную выпуклость, что объясняется затруднением деформирования в горизонтальной плоскости и свидетельствует о большем накоплении энергии. Эта же затруднённая деформирования в результате действия боковых нагрузок приводит к изменению режима запредельного деформирования и уменьшению склонности скальных пород к динамическим формам разрушения.

Личный вклад автора состоит в:

- обобщении и анализе результатов по теме исследований;
- постановке целей и задач исследований;

- участие в выполнении экспериментальных исследований;
- подготовке образцов скальных горных пород;
- статистической обработке и анализе полученных экспериментальных результатов;
- разработке критерия оценки склонности скальных горных пород к динамическим разрушениям.

Результаты работы отражены в регламенте по обоснованию устойчивых параметров борта карьера и отвалов участка Гакман Юкспорского месторождения, отрабатываемого КФ АО «Апатит».

Также результаты работы использованы в договорах с такими предприятиями, как АО «Апатит», АО «Ковдорский ГОК», АО «Кольская ГМК», АО «Мурманская ГРЭ», АО «ЦКЭ». На основе этих работ выданы заключения о склонности скальных горных пород месторождений Кольского региона к динамическим формам разрушениям.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается:

- значительным объемом проанализированной информации о существующих методах исследования энергоемкости разрушения горных пород и энергетических критериях оценки склонности горных пород к динамическим разрушениям;
- многочисленными экспериментальными исследованиями;
- использованием современного высокоточного испытательного оборудования;
- статистической обработкой полученных результатов исследований.

По теме диссертации опубликована 41 печатная работа. Из них 9 работ - в изданиях, рекомендованных ВАК, 11 - в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Также получено 2 патента на изобретения. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем, соответствует специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертация «Исследование энергоемкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примере месторождений Кольского региона)» Кузнецова Николая Николаевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» на заседании

диссертационного совета Д 004.010.02 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН).

В качестве официальных оппонентов рекомендуем Батугина Андриана Сергеевича (доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС») и Макарова Александра Борисовича (доктор технических наук, профессор, главный консультант по геомеханике SRK Consulting (Russia) Ltd).

Заключение принято на заседании Горной секции Ученого совета ГоИ ФИЦ КНЦ РАН.

Присутствовало на заседании 20 членов горной секции Ученого совета, в том числе: докторов наук – 6, кандидатов наук – 9.

Результаты голосования: «за» 20 чел., «против» нет, «воздержалось» нет, протокол № 3-2020 от «11» декабря 2020 г.

Председатель горной секции,
доктор технических наук

О.В. Наговицын

Секретарь горной секции,
кандидат технических наук

И.М. Аветисян