

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Ефимова Виктора Прокопьевича  
«Разработка методов определения физических параметров,  
характеризующих разрушение хрупких материалов»  
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Развитие расчетных методов и моделей для описания процессов деформирования и разрушения твердых сред связано с необходимостью получения данных об их деформационных и прочностных свойствах. Если для конструкционных материалов, используемых в машиностроении, накоплен большой объем таких данных, то по горным породам и строительным материалам ощущается их нехватка. Объясняется это большой изменчивостью свойств горных пород даже в пределах одного месторождения. Решением этой проблемы может быть разработка экспресс методик определения деформационных и прочностных свойств горных пород, позволяющих оперативно, по мере развития горных работ уточнять данные о свойствах горных пород. Определенный вклад в разработку таких методик по определению физических параметров, характеризующих разрушение горных пород, вносит диссертационная работа В.П. Ефимова.

В ней рассмотрены вопросы временной прочности твердых тел с позиций термофлуктуационной теории С.Н. Журкова, разработана экспериментальная методика определения параметров уравнения долговечности, определены значения таких параметров для ряда горных пород. Получаемые данные необходимы для проведения расчетов времени устойчивого состояния выработок и целиков по моделям, развиваемым в последнее время.

Важным параметром прочности горных пород является прочность на растяжение. Объясняется это тем, что для горных пород прочность на растяжение значительно меньше, чем прочность на сжатие и сдвиг. Применение стандартных методик определения прочности твердых тел на одноосное растяжение в случае горных пород затруднительно из-за сложности изготовления образцов для испытаний. Поэтому применяются схемы испытаний с образцами простой формы, такими как балки при испытаниях на изгиб или диски при их сжатии вдоль диаметра. Недостатком таких испытаний является то, что в них разрушение происходит в неоднородном поле растяжения. Эксперименты показали, что значения прочности, рассчитанные по линейной теории упругости, в испытаниях на изгиб, значительно больше получаемых при стандартных испытаниях на растяжение. Объясняется это влиянием неоднородности поля напряжений на зарождение разрушения, протекающего при нелинейноупругом и пластическом деформировании. Для проведения расчетов прочности в условиях неоднородного поля были предложены нелокальные критерии разрушения. Наиболее известным из них является критерий В.В. Новожилова, согласно которому разрушение в неоднородном поле наступает, если напряжение растяжения, усредненное на определенном интервале длины, достигает стандартного значения прочности на

растяжение в однородном поле напряжений. Размер длины усреднения, зависящий от упругопластических свойств среды, рассматривается как ее структурный параметр. Одним из способов определения структурного параметра является использование его связи с трещиностойкостью. Предложенные нелокальные критерии могут быть использованы для получения значений стандартной прочности по данным испытаний, где разрушение происходит в неоднородном поле растяжений.

В работе В.П. Ефимова приведены результаты испытаний на изгиб шести горных пород, отличающихся по прочности в 2.5 раза. Данные этих испытаний после обработки по четырем нелокальным критериям сопоставлены со значениями прочности, определенными по методу «бразильской пробы». Наилучшее согласование было получено по критерию «модель с пластическим участком». В итоге проведенной работы обоснована методика определения стандартной прочности на растяжение горных пород по данным прочностных испытаний на изгиб и по их трещиностойкости.

Аналогичное исследование проведено для обоснования проведения прочностных испытаний на растяжение сжатием по образующей дисковых образцов с центральным отверстием. Здесь наилучшее согласование с данными прочности, полученными по методу «бразильской пробы», дал интегральный критерий В.В. Новожилова. Предложенная методика расчета стандартной прочности на растяжение также предусматривает знание трещиностойкости породы.

Разработке методик определения трещиностойкости и, в частности, коэффициента интенсивности напряжений (КИН) горных пород посвящена четвертая глава диссертации. Рассматривается схема разрушения плоского опертого квадратного образца при раскалывании его стальным клином вдоль плоскости симметрии при торцевом воздействии. В процессе внедрения клина производятся измерения силы внедрения. Одновременно измеряется длина трещины. Для определения трещиностойкости по данным измерений используются энергетический метод и метод определения КИН по расчетной зависимости КИН от сил нагружения внедряемым клином.

Необходимые зависимости матрицы податливости и КИН от длины трещины при единичной нагрузке получены численно и экспериментально. Проведена верификация предложенных методик определения трещиностойкости оптическим методом каустики. Испытания проведены на образцах из оргстекла. Построена единая для разных методов зависимость КИН от скорости развития трещины. По предложенным методикам проведены измерения КИН семи горных пород и трех искусственных материалов. Эти данные были использованы при обработке результатов испытаний пород и сред на растяжение.

В качестве научного консультанта я положительно характеризую личностные качества В.П. Ефимова как ученого, его целеустремленность, настойчивость и аккуратность при выполнении экспериментов, требовательность в получении достоверных результатов, умение учиться и

повышать свою квалификацию. Хорошее базовое образование на физфаке НГУ позволило ему после окончания университета и поступления в ИГД СО РАН успешно провести изготовление и наладку лазерного оборудования в лаборатории и применить его для калибровки методик измерения трещиностойкости горных пород. Исследования по методикам измерения трещиностойкости вошли в кандидатскую диссертацию В.П. Ефимова «Определение трещиностойкости по разрушению компактного образца расклиниванием», защищенную им в 1993 году. Дальнейшая тематика его исследований определялась планами работ лаборатории по механике разрушения горных пород взрывом и ударом. При экспериментальной проверке теоретических разработок лаборатории требовалось знание прочностных и деформационных свойств горных пород. В продолжение своих работ по измерению трещиностойкости В.П. Ефимов занялся разработкой методов определения параметров долговременной прочности горных пород и экспресс методов измерения их прочности на растяжение. В процессе работы он основательно изучил литературу по термофлуктуационной теории долговременной прочности С.Н. Журкова, по нелокальным критериям прочности и в настоящее время является высококвалифицированным специалистом по этим вопросам механики деформированного твердого тела.

Изложенные в диссертации результаты апробированы В.П. Ефимовым на различных конференциях, по теме диссертации опубликован достаточный объем (18) научных работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Полагаю, что выполненная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Виктор Прокопьевич Ефимов, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Научный консультант – главный научный сотрудник лаборатории разрушения горных пород и механики взрыва федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, (383) 335-96-54, <http://misd.ru>, [admin@misd.nsc.ru](mailto:admin@misd.nsc.ru)), доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), старший научный сотрудник



Шер Евгений Николаевич

22.12.2015 г.

Подпись Е.Н. Шера заверяю:

Ученый секретарь ИГД СО РАН,  
кандидат технических наук




А.П. Хмелинин