

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Голосова Андрея Михайловича «Разработка акустико-деформационного метода определения предвестников разрушения образцов горных пород при одноосном сжатии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Обширные исследования в области механики и физики прочности гетерогенных хрупких материалов (керамики, композиционных материалов, горных пород), проведенные за последние 30-40 лет, показали, что накопление дефектов, возникающих в результате деформирования, характеризуется наличием нескольких стадий. В начале нагружения происходит образование дефектов, распределенных случайным образом по всему объему деформируемого материала. Затем наблюдается локализация дефектообразования в определенной пространственной области, являющейся зоной формирования очага разрушения.

Для прогнозирования развития процесса разрушения необходимо выявить физические причины, вызывающие качественный переход от стадии дисперсного накопления повреждений к стадии формирования очага разрушения, и найти критерий этого перехода.

Исследование процесса накопления дефектов, осуществляются различными деструктивными и неразрушающими методами, в том числе, с помощью акустической эмиссии и тензометрии. Однако задача поиска надежного предвестника формирования очага разрушения до сих пор остается не решенной. В связи с этим разработка системы предвестников разрушения образцов горных пород, подвергнутых одноосному сжатию, с помощью акустико-деформационного метода, которой посвящена диссертация Голосова Андрея Михайловича, безусловно является актуальной.

Диссертация Голосова А. М. имеет четкую и ясную структуру и состоит из введения, 6 глав, заключения, списка цитированной литературы и приложения.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются ее цели и задачи, выносимые на защиту, показана новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации обобщены результаты экспериментальных и теоретических исследований напряженно-деформированного состояния образцов горных пород при нагрузках, близких к разрушающим. Особое внимание уделено анализу работ, в которых для поиска закономерностей накопления дефектов используются одновременно метод акустической эмиссии и метод многоточечного измерения деформаций.

Во второй главе приведены результаты исследования закономерностей деформирования образцов горных пород в предразрушающем состоянии с помощью многоточечного метода измерения деформаций. Формулируются требования к изготовлению образцов и используемому в экспериментах оборудованию. Достоинством работы является то, что А.М. Голосов разработал многоточечные схемы расположения тензодатчиков, что позволило измерять деформации как в окружном, так и в вертикальном направлениях. Автором предложена гипотеза околоочагового реверсивного деформирования образцов горных пород в предразрушающей области нагружения при одноосном сжатии. Предложен новый подход к моделированию очага разрушения как неоднородности типа «квази-мягкого включения», в которой деформационные характеристики (модуль деформации и коэффициент Пуассона) существенно отличаются от аналогичных характеристик окружающего материала.

Третья глава является основной в работе, в ней автор подробно описывает методику регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ), возникающих при деформировании образцов. Приведены результаты экспериментов по одноосному сжатию образцов, в которых А.М. Голосову удалось выделить этапы накопления дефектов: дисперсное (дефекты, случайно распределенные по образцу), локализация, распространение макроразрыва.

Несомненным достоинством работы является использование А.М. Голосовым комплексного подхода, т.е. сопоставление результатов двух независимых экспериментальных методов. Для проверки гипотезы околоочагового реверсивного деформирования автор сопоставил область очага разрушения, определенную с помощью АЭ, с положением области наибольшего разуплотнения и областей реверсивного деформирования первого и второго типов, зафиксированных тензометрическим методом.

А.М. Голосов показал, что при локализации дефектообразования в очаговой области активность АЭ (т.е. число сигналов в единицу времени) достигает максимума, при этом линейные деформации в очаговой области приобретают экстремальные значения, а в околоочаговой области приращения линейных деформаций приобретают реверсивный характер.

В четвертой главе приведены результаты экспериментов с искусственно созданным очагом разрушения в виде концентратора напряжений (не параллельные торцы образца) или полости. Для обоих случаев воспроизведён эффект реверсивного деформирования образцов горных пород при одноосном сжатии.

В пятой главе подробно изложена модель самоуравновешенных напряжений, предложенная М.А. Гузевым. А.М. Голосовым разработана программа, позволяющая

выполнять сопоставление расчетных значений деформаций, полученных при подстановке в теоретические выражения параметров конкретного эксперимента, со значениями, измеренными в процессе нагружения образца. Установлено, что относительная погрешность вычисления деформаций не более 18%. Этот результат позволяет говорить о том, что используемая модель даёт хорошее качественное и удовлетворительное количественное описание процессов деформирования образцов горных пород при одноосном сжатии.

В шестой главе проведено обобщение результатов, изложенных в главах 3-5. Автором описана методика обработки экспериментальных данных тензометрии и АЭ, которая позволяет наиболее корректно и без избыточных вычислений выявить предвестники разрушения образца.

В заключении изложены основные выводы, которые в полной мере отражают проведенные автором исследования и полученные результаты.

Выполненные А.М. Голосовым экспериментальные исследования и теоретические оценки дали возможность существенно углубить и расширить знания о деформационных процессах, протекающих при разрушении образцов горных пород в условиях одноосного нагружения.

Тем не менее, по работе можно сформулировать ряд замечаний и вопросов.

1. Предвестники разрушения и метод их получения надежно определены для образцов конкретной геометрии и при определенном режиме нагружения. Будет ли влиять форма образца и способ нагружения на установленные закономерности деформирования?
2. Среди методов исследования, примененных в работе, указываются методы моделирования и обработки, использующие программные пакеты ANSYS и MAPLE (стр.6). Однако далее в работе не приведены результаты, полученные с помощью этих пакетов.
3. Автор утверждает (стр.66), что «метод акустической эмиссии обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов. Это означает, что независимо от размеров дефекта выявляются наиболее опасные дефекты, склонные к развитию или развивающиеся». Это ошибочное утверждение: не понятно, каким образом метод АЭ позволяет идентифицировать дефекты, склонные к развитию. Там же сказано, что «метод акустической эмиссии позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности.» Хотелось бы узнать принципы, позволяющие выполнить такую классификацию.

4. Автор описывает (стр.79-80) вариационные кривые (изменение во времени средних временных интервалов между сигналами АЭ и соответствующего коэффициента вариации), но нигде в диссертации не показаны сами графики.
5. Автор утверждает (стр.125), что «порог дилатансии и одновременное начало возникновения высокоамплитудных акустических сигналов, обусловленных возникновением одиночных невзаимодействующих мезодефектов, принимается в качестве долгосрочного предвестника.» На основании каких данных можно утверждать, что АЭ сигналы соответствуют одиночным невзаимодействующим дефектам? Нигде в работе не показаны зависимости, иллюстрирующие амплитудную селекцию сигналов, о которой говорится в тексте.
6. На стр.126 сформулирован вывод: «точка реверса линейных деформаций и одновременное возникновение максимума высокоамплитудных акустических сигналов, обусловленных началом взаимодействия мезодефектов (возникновение мезоструктуры), принимается в качестве среднесрочного предвестника.» Это высказывание, скорее, гипотеза, поскольку нет прямых доказательств взаимодействия дефектов.
7. По-видимому, в связи с ограниченным размером публикации, в автореферате нет ни одного рисунка, иллюстрирующего данные АЭ и их связь с деформацией.
8. Автор использует термины, которые не являются общепринятыми, например, «акустическая эхолокация»(стр.8 и стр.128), «когерентное растрескивание (стр. 79), «патернальные классы» (стр. 75, 122). Хотелось бы получить пояснение.
9. В диссертации в некоторых местах неправильно указаны ссылки, например, на стр. 107, 122, имеются явные повторы : п.3.1 (стр.75-76) и п.6.2.1 (стр.122). Отдельные фразы полезно было бы взять в кавычки, как дословные цитаты из опубликованных работ других авторов.

В то же время отмеченные недостатки не снижают ценности выполненной работы и полученных результатов и не могут оказать существенного влияния на положительную оценку работы в целом.

Полученные в работе результаты обладают новизной и практической значимостью, они могут быть использованы в организациях и лабораториях, занимающихся разработкой теорий прочности и пластичности материалов.

Достоверность полученных результатов и обоснованность положений и выводов, сформулированных в работе, обусловлены взаимно дополняющими друг друга современными методами исследования. Сделанные выводы не противоречат

представлениям современных теорий и данным других исследователей. Совокупность представленных в диссертации результатов следует рассматривать как решение имеющей существенное значение в геомеханике задачи: исследования деформации горных пород под действием механических нагрузок.

Результаты работы А.М. Голосова апробированы на Международных и Всероссийских конференциях, семинарах и симпозиумах. Основные результаты, включенные в диссертацию, представлены в журналах, рекомендованных ВАК и в журналах, индексируемых базами Web of Science и Scopus. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Оценивая работу в целом, считаю, что по объему полученных данных, уровню обобщения экспериментального и теоретического материала, новизне результатов, она удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Голосов Андрей Михайлович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент

Старший научный сотрудник, *Федерального государственного бюджетного учреждения науки* Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, кандидат физико-математических наук

Дамаскинская Екатерина Евгеньевна

*Дамс* 4 мая 2018г.

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

e-mail: Kat.Dama@mail.ioffe.ru

Телефон +7 921 754 06 87

Подпись \_\_\_\_\_  
зав.отделом кадров ФТИ им. А.Ф.Иоффе  
  
