

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Н.И. Александровой “Нестационарные волновые процессы в блочных и упругих средах с учетом вязкости и внешнего сухого трения”, представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела

Диссертационная работа Н.И. Александровой посвящена анализу волновых процессов в массивах горных пород с учетом блочного иерархического строения на основе математических (аналитических и численных) методов с привлечением результатов лабораторного эксперимента.

Актуальность выбранной темы диссертации определяется необходимостью разработки методов комплексного теоретического описания нестационарного деформирования геоматериалов для решения задач прогнозирования результатов динамических воздействий природного и техногенного характера.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней последовательно и на качественно новом, более высоком по сравнению с достигнутым к настоящему времени, уровне исследованы механические эффекты, возникающие в слоистых и блочных средах при внешних импульсных механических воздействиях. Предложен комплексный, теоретически строгий подход к решению проблемы описания низкочастотных маятниковых волн в блочных средах. Созданы оригинальные математические модели и методы их анализа и расчета. Получены новые асимптотические и численные решения задач о распространении низкочастотных возмущений в блочных средах с учетом вязкоупругой деформации прослоек и влияния сухого трения на границах раздела, которые, как показано в диссертации, находятся в хорошем соответствии с результатами лабораторных экспериментов.

Практическая значимость. Выводы и результаты диссертации, полученные в ней на основе асимптотического метода, инженерные формулы и численные решения, могут быть использованы при разработке технологий мониторинга напряженно-деформированного состояния массивов горных пород в зонах сильных природных и техногенных воздействий.

Анализ содержания диссертационной работы.

Во введении и в первой главе приводятся основные положения, выносимые на защиту, дается исчерпывающий литературный обзор работ по теме диссертации, формулируются цели и задачи исследования.

Во второй главе представлены математические модели одномерного и двумерного деформирования блочной среды, описывающие распространение низкочастотных волн. В одномерном случае среда моделируется либо цепочкой упругих стержней, либо цепочкой масс, соединенных вязкоупругими прослойками. Рассмотрена также модель блочно-иерархической среды с блоками, взаимодействующими через вязкоупругие прослойки с

чередующимися свойствами. Получены новые асимптотические решения, описывающие поведение длинноволновых возмущений, возбуждаемых ударным воздействием в цепочке стержней и цепочке масс с упругими пружинами и вязкими демпферами. Выведены аналитические формулы для спектров возмущений обеих систем. В результате сравнения с численными решениями показана применимость этих решений для оценки динамических возмущений и их спектров в иерархической блочной среде. Установлено, что математическая модель среды блочно-иерархического строения описывает распространение не только низкочастотной маятниковой волны, но и высокочастотных колебаний. Показано, что наличие диссипативных свойств у прослоек приводит к быстрому затуханию высокочастотных волн.

На примере экспериментальной сборки из стальных стержней, соединенных прослойками с разными или одинаковыми свойствами, и на примере сборки из силикатных кирпичей продемонстрирована возможность моделирования процесса распространения одномерных маятниковых волн в иерархических блочных средах с использованием моделей цепочки стержней и цепочки масс с вязкоупругими прослойками при ударном воздействии.

Получены аналитические и численные решения нестационарных задач об антиплоском сосредоточенном монохроматическом воздействии с резонансной частотой и ступенчатым воздействием на квадратную решетку масс, моделирующую деформирование двумерной блочной среды. Выявлена двухволновая структура возмущений в такой среде. Показано, что первой в наблюдаемую точку приходит низкочастотная маятниковая волна, за ней движется группа высокочастотных колебаний. Вклад маятниковой волны практически не зависит от направления распространения сигнала.

На примере моделирования распространения сейсмических волн от взрыва в условиях двухслойного строения блочного породного массива показано, что на больших расстояниях от источника возмущения форма сейсмического сигнала зависит от соотношения скоростей маятниковых волн в слоях. Если в верхнем слое такая скорость меньше, то в точку наблюдения сначала приходит волна малой амплитуды, распространяющаяся по нижнему, более жесткому слою, а затем, с задержкой, волна максимальной амплитуды, характерной для верхнего слоя. Полученная картина качественно согласуется с наблюдаемой при взрывах на карьерах.

Получено асимптотическое решение плоской нестационарной задачи Лэмба при сосредоточенном ступенчатом воздействии, описывающее поведение возмущений на границе блочной среды в окрестности волны Рэлея при больших временах с начала процесса или на больших расстояниях от места воздействия. Проведено сравнение конечно-разностных и аналитических решений задачи Лэмба для блочной среды. Показано, что учет вязкости прослоек в задаче Лэмба для блочной среды приводит к уменьшению высокочастотных колебаний за фронтом волны Рэлея. Такое поведение более точно соответствует реальным сейсмограммам, что свидетельствует о необходимости учета вязкости прослоек в блочной модели горных пород при расчете сейсмических волн.

Третья глава посвящена анализу влияния сухого трения в межблочных прослойках на примере более простой задачи о распространении волн в трубе с внешним сухим трением, которая имеет самостоятельное значение при исследовании процессов забивания и извлечения свай из грунтовых оснований. В ней разработаны конечно-разностные алгоритмы расчета волновых процессов в трубе с внешним сухим трением с учетом и без учета деформируемости окружающего грунта и проведены расчеты в широком диапазоне изменения параметров задачи. Предложен способ аналитического решения нелинейной задачи внедрения трубы, к которой приложена сила внешнего сухого трения постоянной амплитуды и продольный импульс произвольной выпуклой формы. Получены аналитические решения для трубы конечной длины с учетом отражений от торцов и показано их совпадение с численными решениями. Получены инженерные оценки суммарного проскальзывания трубы при многократных отражениях продольного импульса.

Построены асимптотические решения одномерной в радиальном направлении задачи упругого взаимодействия трубы с внешней средой при продольном воздействии. Показано, что аналитические решения совпадают с большой точностью с численными и, кроме того, качественно верно описывают решение двумерной задачи упругого взаимодействия трубы и среды.

Общая оценка работы. В диссертации Н.И. Александровой реализован единый подход к построению и исследованию уравнений блочной среды в приложении к задачам геодинамики массивов горной породы с учетом сложных эффектов взаимодействия блоков. Следует обратить внимание на аккуратный и весьма доступный стиль изложения материалов диссертации. Четко поставлены цели и задачи работы, выводы сформулированы не только по диссертации в целом, но и по главам, по отдельным разделам и даже подразделам. Это упрощает понимание полученных результатов в их взаимосвязи, позволяет оценить степень завершенности решения поставленных задач.

Имеются следующие вопросы и замечания:

1. Не ясно, чем обоснован выбор реологической схемы вязкоупругой прослойки в виде комбинации схем Кельвина–Фойгхта и Максвелла? Можно ли утверждать, что ей соответствует наиболее простая модель вязкоупругости, адекватно описывающая имеющиеся результаты экспериментов?

2. В математической модели дискретной двумерной решетки движение масс имитирует движение блоков блочного массива, которые имеют конечные размеры. Поэтому необходимо, по-видимому, учитывать независимые вращения масс, записав дополнительные уравнения движения в терминах углов поворота. Насколько точно модель масс – материальных точек описывает воздействие типа “центр вращения”, если инерция вращательного движения блоков в ней не учитывается?

3. В задаче о движении трубы в грунте с сухим трением интерес представляет также несимметричное решение, учитывающее отклонение направления действия импульсной нагрузки от оси при ударном забивании или

извлечении свай. Такой режим движения, характерный для механизма моментного взаимодействия блоков в блочной среде, в диссертации не рассматривался.

Несмотря на изложенные замечания, диссертация “Нестационарные волновые процессы в блочных и упругих средах с учетом вязкости и внешнего сухого трения” является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему на высоком научном уровне, в которой содержится комплексное решение задач, имеющих существенное значение в области механики деформируемого твёрдого тела. В соответствии с паспортом специальности 01.02.04 по физико-математическим наукам, в работе присутствуют оригинальные результаты исследований, касающиеся разработки математических моделей и аналитических методов исследования, а также численных методов анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования.

Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати, апробированы на конференциях и научных семинарах. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Достоверность результатов диссертационной работы определяется корректным применением математического аппарата механики деформируемого твёрдого тела и методов вычислительной математики, а также количественным и качественным соответствием результатов расчётов, выполненных на основе разработанных методов и алгоритмов, экспериментальным данным.

Диссертация “Нестационарные волновые процессы в блочных и упругих средах с учетом вязкости и внешнего сухого трения” соответствует требованиям пп. 9, 10 “Положения о порядке присуждения учёных степеней” (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся учёной степени доктора наук, а её автор, Н.И. Александрова, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Зам. директора по научной работе ИВМ СО РАН,
заведующий отделом вычислительной механики
деформируемых сред
д.ф.-м.н., профессор



В. Садов - Садовский В.М.

Академгородок 50/44, Красноярск, 660036
тел.: +79135797776, e-mail: sadov@icm.krasn.ru