

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе Сибирякова Егора Борисовича
«Статическое и динамическое деформирование сред с внутренней структурой»
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы диссертации. Металлы, композиты, горные породы – практически все природные и искусственные материалы обладают внутренней структурой. Это необходимо учитывать при исследовании реакции таких материалов на внешние воздействия различной физической природы. При описании деформирования структурированных сред существует целый ряд факторов (контрастность механических свойств, например, матрицы и пор продуктивных пластов; резкое различие линейных размеров микронеоднородностей, элементов макроструктуры и длин волн), обуславливающих методологические и вычислительные сложности при реализации механических моделей. Разработанные в диссертации методы и подходы позволяют не только преодолеть некоторые из этих сложностей, но и указать пути решения практически важных задач, возникающих при интерпретации данных сейсморазведки. Перечисленные выше обстоятельства определяют актуальность темы диссертационной работы.

Структура диссертационной работы. Текст диссертации состоит из Введения, четырех глав, Заключение и Списка литературы из 100 наименований, изложен на 156 страницах, включает 56 рисунков.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Научные положения диссертации сформулированы на основе всестороннего анализа результатов, большинство из которых получено в рамках оригинальной трактовки континуума как среды с внутренней структурой с известным характерным линейным размером. Рассматривая последний как малый параметр, используя разложение в ряды и осреднение по объему, автором выведены соотношения, описывающие деформирование такой среды с микроструктурой. Для реализации новых моделей (в частности, решения уравнений Гельмгольца) наиболее подходящим оказался метод граничных элементов (МГЭ), который был модифицирован применительно к задачам исследования и протестирован на примерах, имеющих аналитическое решение.

Диссертационная работа в целом четко структурирована, логично изложена, ряд полученных результатов сходится с экспериментальными данными, а в предельных случаях соответствует классическим моделям деформирования упругих сред. Все это

позволяет утверждать, что основные выводы и положения диссертационной работы являются *обоснованными*.

Достоверность полученных результатов и выводов базируется на:

- ♦ корректном применении математического аппарата механики сплошных сред и использовании в качестве базовых апробированных моделей упругопластического деформирования твердых тел;
- ♦ сходимостью расчетных величин комбинационных частот, возникающих в микронеоднородной среде при взаимодействии двух виброисточников, работающих на разных частотах, с таковыми, выявленными в лабораторных экспериментах с образцами из искусственного песчаника;
- ♦ качественном соответствии результатов оценок доминирующих частот по разработанным нелинейным моделям и данных полевых наблюдений, свидетельствующих о различии видимых частот продольных и поперечных волн, генерируемых импульсным источником;
- ♦ хорошей обусловленностью матриц систем линейных уравнений в разработанных численных схемах, что обеспечило устойчивость расчетных алгоритмов.

Все полученные в диссертации результаты являются *новыми*. Наиболее существенными, на мой взгляд, являются следующие:

1. Модификация МГЭ посредством оригинального преобразования ядер, позволившего получить новые представления фундаментального решения уравнений теории упругости (статических и стационарных колебаний). Это в свою очередь дало возможность создать алгоритм для эффективного решения краевых задач смешанного типа.

2. Обоснование и реализация метода построения определяющих соотношений для описания деформирования сред с микроструктурой, который позволил создать аппарат для моделирования нелинейных процессов в зернистых средах и количественной оценки эффективных свойств последних.

3. Методика выявления информативных признаков зон аккумуляции углеводородов, разработанная на основе решения серии упругопластических задач о деформировании структурированного породного массива, которая заключается в совместном анализе поля давления и геометрии поверхностей контакта “пласт - вмещающая среда”.

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании методов аналитического и численного моделирования для решения задач механики твердого деформируемого тела для сложнопостроенных сред, разработке и апробации новых подходов к описанию эффектов второго порядка малости, проявляющихся в таких средах при статических, гармонических или импульсных воздействиях и несущих информацию о

структуре и свойствах исследуемого объекта. Полученные результаты имеют очевидное *практическое применение* при решении задач поиска и разведки месторождений углеводородов, а также в качестве теоретической базы для разработки методик неразрушающего контроля с использованием узкополосных двухчастотных импульсных источников.

Работы диссертанта опубликованы в профильных журналах, входящих в международные системы цитирования Web of Science и Scopus, и в полной мере отражают полученные результаты, выводы и защищаемые научные положения. Ключевые результаты представлены в статьях без соавторов.

Диссертация написана грамотным литературным языком, научная терминология использована корректно практически всюду.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе необходимо сделать следующие *замечания*:

1. При анализе напряженного состояния горизонтально-слоистых структур (Глава 4) без обоснования вводится гипотеза об отсутствии в породном массиве горизонтальных деформаций $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = 0$. Это не всегда выполнено, например, в регионах со взбросовым геодинамическим режимом.

2. Вывод 5 в Главе 3 должен быть скорректирован. При падении осесимметричной волны на гладкую границу в отраженной волне могут появиться угловые смещения, если подстилающее пространство неоднородно в горизонтальных направлениях.

3. При подготовке текста необходимо придерживаться единообразия: часть материала изложена от первого лица, часть в безличной форме. Следует избегать сленговых выражений (“Области могут быть...природными насосами...”, стр. 115) и нестандартных терминов (“газовый...флюид”, стр. 80). След тензора напряжений есть сумма его нормальных компонент, а не треть этой суммы (стр. 117). Нельзя при выводе формул прибегать к “правдоподобной аналогии” (стр. 68) и нестрогим рассуждениям.

Диссертация Е. Б. Сибирякова представляет собой самостоятельно выполненное научное исследование. Использованные и разработанные методы, полученные результаты свидетельствуют о высокой квалификации соискателя.

Содержание диссертационной работы соответствует специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела (физико-математические науки) по области исследования «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых» (п. 1 паспорта специальности).

Диссертация Е. Б. Сибирякова является научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных исследований разработаны теоретические положения для

описания деформационных процессов в микронеоднородных средах с контрастными физическими свойствами, а также в структурированных средах, содержащих границы с быстро меняющимся пространственным градиентом, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области механики деформируемого твёрдого тела.

Считаю, что диссертация «Статическое и динамическое деформирование сред с внутренней структурой» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям п. 9 действующего Положения о присуждении учёных степеней, а ее автор, Сибиряков Егор Борисович, заслуживает присуждения ученой степени доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент
главный научный сотрудник
лаборатории горной информатики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института горного дела им. Н. А. Чинакала
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук
(01.02.04 – Механика твердого деформируемого тела,
01.02.07 – Механика сыпучих тел, грунтов и горных пород),
старший научный сотрудник

Назарова Лариса Алексеевна

Подпись д.ф.-м.н. Л.А. Назаровой удостоверяю.

Ученый секретарь ИГД СО РАН, к.т.н.

А. П. Хмелинин

22 января 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала
Сибирского отделения Российской академии наук
Почтовый адрес: 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54;
Телефон: +7 (383) 205–30–30, доб. 100 (приемная)
Адрес электронной почты: mailigd@misd.ru
Адрес официального сайта организации: <http://www.misd.ru>