

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Данг Куанг Занга**
«Нестационарные осесимметричные волны в упруго-пористом полупространстве», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность диссертации обуславливается многими практически важными задачами. Среди них: откачка, сепарация и хранение грунтовых вод, нефти и газа, очистка грунтов, строительство дамб и плотин, подземное строительство и пр. Эти и многие другие проблемы требуют развития научного обоснования как существующим технологиям, так и новым, более эффективным и безопасным для человека и окружающей среды.

Работа посвящена формулировке и решению новых задач о нестационарном осесимметричном распространении волн в упруго-пористом полупространстве. Работа носит аналитический характер **с целью** получения математически строгих решений. Анализ существующей литературы свидетельствует о том, что нестационарные задачи для упруго-пористой среды мало исследованы. Тем более, практически отсутствуют точные решения, которые крайне важны для анализа достоверности различных вариантов численных моделей динамики пористых сред. Этим обуславливается **научная актуальность** настоящей диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в решении новых задач о нестационарном осесимметричном распространении волн в упруго-пористом полупространстве при действии различных поверхностных нагрузок. В работе впервые построены интегральные представления этих задач и получены ядра этих представлений в явном виде.

Полученные в работе точные решения ряда задач об осесимметричном распространении волн в упруго-пористом пространстве имеют **практическое значение**. Прежде всего, эти решения могут быть использованы для оценки

точности различных численных моделей, более сложных по постановке, но требующих верификации с использованием точных решений. Полученные в работе решения могут быть также полезными для качественного и количественного анализа различных технологических процессов, в том числе – при проектировании ракетно-космических систем с целью прогнозирования их поведения при контакте с грунтом.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обуславливается использованием известной и в достаточной степени исследованной модели Био для описания волновых процессов в упруго-пористой среде, а также применением строгого математического аппарата.

Содержание работы

Во введении сформулированы: актуальность работы, цели, решаемые задачи, научная новизна, дано краткое описание глав работы, перечислены научные конференции и семинары, где докладывались и обсуждались положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации посвящена анализу научных работ, посвященных волновым процессам в упруго-пористых средах. Кратко перечисляются существующие подходы и методы решения задач о распространении взаимосвязанных волн в упруго-пористой среде, содержащей жидкость или газ. В основе большинства работ – модель двухфазной флюидонасыщенной среды, впервые сформулированной в работах Я.И. Френкеля (1944 г.) и М.А. Био (1954-1962 гг.).

Теория Био – линейная теория двухфазной среды, уравнения движения которой выводятся с использованием функций плотностей энергии упругой деформации и кинетической энергии. Отмечается, что фундаментальным свойством упруго-пористой среды Био является то, что в ней могут распространяться две продольные волны, быстрая и медленная, а также волна поперечная.

Перечисляются и кратко комментируются также работы, посвященные иным вариационным подходам, отличным от модели Био, в которых в матема-

тически более строгой постановке получены макроскопические уравнения волнового движения в пористых средах, насыщенных газом и жидкостью с учётом их взаимодействия, теплообмена, фильтрационных потоков и т.д.

В первой главе также приводится уравнение осесимметричного распространения волн в полупространстве со свойствами упруго-пористой среды по модели Био в цилиндрической системе координат. Считается, что среда насыщена жидкостью.

Это разрешающее уравнение следует из уравнений Био, состоящих из уравнений закона Гука для упруго-пористой среды и собственно уравнений сплошной среды. Как и для задач упругости, из этих уравнений могут быть исключены напряжения и получены уравнения типа Ламе для пористой среды.

Уравнение движения среды учитывает в виде параметров: давление, которое должно быть приложено к жидкости, чтобы заполнить объем пор; сцепление между твёрдыми и жидкими компонентами при деформации; пористость среды; динамическую связь между твёрдыми и жидкими компонентами; плотности твёрдого и жидкого компонента.

Разрешающее уравнение движения сводится к двум несвязанным волновым уравнениям относительно скалярных функций и одному векторному уравнению относительно потенциалов перемещений.

Полагается, что в рассматриваемом полупространстве компоненты напряженно-деформированного состояния ограничены, а на его границе задан один из видов поверхностных возмущений. Рассмотрены: кинематические возмущения (I тип), силовые возмущения (II тип), комбинация касательных кинематических и нормальных силовых возмущений (III тип), комбинация касательных силовых и нормальных кинематических возмущений (IV тип).

Принимая, что в начальный момент времени возмущения отсутствуют, вводятся поверхностные функции влияния в виде ограниченных решений итоговой системы из трех уравнений с использованием одного из типов поверхностных возмущений.

В итоге задача записывается в интегральном виде с граничными условиями, содержащими дельта-функцию Дирака.

Во **второй главе** рассматривается задача о волновом движении упруго-пористого полупространства под действием поверхностных возмущений I типа.

Свойство осевой симметрии позволяет применить интегральное преобразование Ханкеля по радиусу. По времени используется преобразование Лапласа. В итоге найдены изображения поверхностных функций влияния. Их оригиналы находятся с использованием утверждений о связи преобразований Фурье и Ханкеля.

В конце 2 главы рассмотрен пример об осесимметричном распространении волн в материале, заполняющего полуплоскость, в виде песчаника, поры которого насыщены керосином.

Третья, четвертая и пятая главы посвящены задаче о распространении осесимметричных волн в упруго-пористом полупространстве под действием поверхностных возмущений II, III и IV типов соответственно. Как и в первой главе найдены изображения всех поверхностных функций влияния. Их оригиналы на поверхности полупространства определены аналогично второй главе, а также с помощью последовательного обращения преобразований (четвертая и пятая главы). Приведены примеры для упруго-пористой среды, заполняющей полупространство, в виде песчаника с керосином для каждого из рассмотренных типов поверхностного возмущения.

Автореферат соответствует диссертации. Результаты работы докладывались на 10 Международных и Всероссийских конференциях и семинарах, опубликованы в 2 рецензируемых журналах и 10 трудах конференций.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. В автореферате на 7 стр. сделана опечатка. Следует координату x заменить на радиус r .

2. В параграфе 1.2 приведен физический закон в виде (1.6). Представляется целесообразным дать к этой формуле поясняющие комментарии со ссылками на первоисточники.

3. Известно, что распространение волн в упруго-пористой среде сопровождается дисперсией и сильным поглощением, что связано с трением на границах между жидкостью и каркасом в порах. Причем у разных типов волн влияние диссипации проявляется различным образом. Например, для медленной продольной волны наблюдается диссипации с наибольшим затуханием, зависящим от частоты. Это приводит к усложнению уравнений Био, связанное с введением дополнительных членов. Поэтому, учёт диссипации может сильно изменить картину распространения волн. Желательно было бы рассмотреть эти вопросы.

4. В примере второй главы на графиках имеют место разрывы второго рода. Почему это отвечает волнам Релея? Почему нет таких разрывов (волн Релея) в примерах остальных глав?

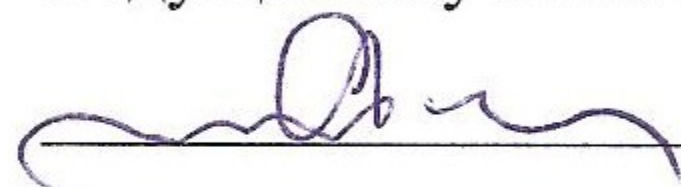
5. Было бы желательным и полезным сделать сопоставления с решениями других авторов.

Отмеченные недостатки (вопросы) не снижают научной и практической ценности работы. Диссертационная работа Данг Куанг Занга выполнена на высоком научном уровне и посвящена актуальной тематике, имеющей в большей степени фундаментальное значение. В работе содержится целый ряд новых фундаментальных результатов, достоверность которых обеспечена использованием строгих математических методов, доказательствами и численными решениями.

Рассматриваемая диссертация соответствует всем требованиям «Положения ВАК Минобрнауки РФ», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Данг Куанг Занг заслуживает присвоения ему ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Ведущий научный сотрудник ИПРИМ РАН, д.ф.-м.н.

 09.02.15 (Данилин А.Н.)

Подпись Данилина А.Н. удостоверяю.

Учёный секретарь ИПРИМ РАН, к.ф.-м.н.

 (Карнет Ю.Н.)
