

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Телятникова Ильи Сергеевича «Факторизационные методы оценки статической напряженности литосферных структур на разломах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Изменения региональной сейсмичности свидетельствуют о том, что при изучении причин сейсмического события следует анализировать не только близость крупных разломов, но и мелкомасштабные особенности строения литосферной плиты.. Активное развитие экспериментальных методов наблюдательной сейсмологии способствует увеличению объема получаемой информации, что, в свою очередь, требует развития и совершенствования математических методов исследования граничных задач механики деформируемого твердого тела, используемых для описания литосферных процессов. В связи с этим **актуальность** диссертационного исследования И.С. Телятникова не вызывает сомнений.

Совершенствование инструментальных средств позволяет осуществить измерения современных движений литосферных плит с высокой точностью, но для оценки напряженного состояния геологической среды необходимо знать ее структуру, что в свою очередь требует установления границ составляющих ее блоков и определения характера их взаимодействия между собой.

**Цель** диссертационной работы – исследование взаимодействия литосферных плит, контактирующих вдоль прямолинейных разломов, моделируя их двумерными пластинами на трехмерном упругом основании, а также разработка методов определения характеристик напряженно-деформированного состояния структур с составными покрытиями при вибрационном и статическом воздействии.

Среди результатов, полученных соискателем и определяющих **научную новизну** работы, необходимо отметить следующие: новый факторизационный метод исследования задач для деформируемых сред с покрытием из разнотипных пластин Кирхгофа; новый метод исследования статических трехмерных смешанных задач для составных покрытий на упругой подложке; новые типы функциональных уравнений, связывающих основные характеристики рассматриваемых моделей; результаты вычислительных экспериментов для установившихся колебаний деформируемой среды с покрытием в виде полубесконечных пластин, контактирующих вдоль прямолинейного разлома, при разных условиях контакта, а также различных свойствах контактирующих пластин.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений, включающих перечень основных обозначений и сокращений и графический материал, иллюстрирующий результаты проведенных расчетов.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели исследования, очерчен круг решаемых задач, и приведен обзор подходов к моделированию сейсмичности и анализ существующих аналитических, численно-аналитических и численных методов решения используемых в моделях динамических задач механики деформируемого твердого тела, дан краткий обзор содержания диссертации, показана научная новизна и практическая значимость результатов работы. Здесь же приведено разделение результатов, принадлежащих автору диссертации и другим соавторам в совместных публикациях.

В **первой главе** изложена общая теория факторизации функций и матриц-функций, необходимая для дальнейшего изложения материала, предложен вариант факторизации матриц-функций с полиномиальными элементами, приведена общая схема дифференциального метода факторизации и пример использования основанного на нем метода блочного элемента для блочной структуры, содержащей блоки разных размерностей. В диссертационной работе этот метод развивается применительно к пространственным динамическим и статическим задачам о контактом взаимодействии пластин, моделирующих литосферные плиты или треснувшие покрытия.

Во **второй главе** диссертации формулируются общие постановки динамических и статических, моделирующих взаимодействие литосферных структур.

В общем случае исследование поведения литосферных структур, имеющих сложную форму и рельефную поверхность, представляет значительные трудности. Использование метода блочного элемента позволяет перейти к анализу блоков с прямолинейными границами. В настоящей работе две протяженных плиты на деформируемом основании моделируются взаимодействующими вдоль прямолинейной границы полубесконечными пластинами. Предложенный диссертантом метод решения задач для составных плоских покрытий в моделях сейсмологии позволяет оценивать напряжения различных участков земной коры, а также исследовать краевые эффекты вблизи стыковочных границ элементов литосферных структур.

Достоинством этого подхода является простота алгоритма построения решения в сравнении с топологическим методом при использовании его в исследовании граничных задач, описывающих взаимодействие литосферных плит по прямолинейному участку границы. Предложенный метод также позволяет избежать дополнительных трудностей, связанных с нормализацией систем интегральных уравнений посредством выноса из них некоторого дифференциального множителя, часто применяемой при решении подобных граничных задач.

Наращение сейсмичности, вызванное изменением напряженно-деформированного состояния литосферных структур, происходит медленно, что подтверждается данными высокоточных GPS-приемников. Поэтому автором также рассмотрена трехмерная краевая задача о статическом взаимодействии протяженных разнотипных пластин, контактирующих вдоль

прямолинейного разлома, не изучавшаяся ранее. В случае статической задачи наличие кратных корней вызвало появление более сложной системы функциональных уравнений Винера – Хопфа, не рассматривавшейся ранее, содержащей в качестве неизвестных не только функции, регулярные в определенных областях, но и их производные, что увеличило количество неизвестных. Соискателю удалось построить дополнительные функциональные уравнения и получить замкнутую систему для определения всех неизвестных, разработав тем самым способ решения таких граничных задач.

Способ удовлетворения граничным условиям для рассмотренных задач основан на возможности предварительного применения к граничным условиям преобразования Фурье по одной из переменных.

В **третьей главе** проведен анализ краевых задач о вертикальных воздействиях на систему из двух контактирующих вдоль прямой пластин на упругом основании. Рассмотрены задача об установившихся колебаниях системы под воздействием сосредоточенной поверхностной нагрузки и статическая задача для такой же структуры, представлены результаты численного исследования задач.

В **заключении** перечисляются основные результаты диссертационного исследования. Так, автором предложен метод исследования ранее не изучавшейся статической краевой задачи взаимодействия разнотипных пластин, контактирующих между собой по прямолинейному разлому и взаимодействующих с деформируемым основанием, в пространственной постановке. На основе этого метода диссертантом представлен способ определения характеристик напряженно-деформированного состояния описанной структуры, разработан и программно реализован алгоритм расчета амплитуд перемещений поверхностей пластин покрытия для случая установившихся колебаний.

**Достоверность** полученных в диссертации результатов и выводов подтверждается применением строгих математических методов, совпадением частных случаев численного анализа с результатами других авторов, качественным совпадением результатов теоретических исследований.

#### **Замечания** по диссертационной работе:

1) В п. 2.6 сказано, что рассматриваемая граничная задача при малых частотах разрешима и предлагаемый метод последовательных приближений для нее сходится. Представляется, что было бы целесообразно подробнее изложить этот вопрос в диссертационной работе.

2) В диссертации отсутствуют сведения об экспериментах по диагностике разломов в геологической среде и сопоставления результатов теоретического исследования с экспериментальными данными, хотя известно, что такие эксперименты дорогостоящие.

3) Диссертация, несомненно, выиграла бы, если бы кроме взаимодействия контактирующих литосферных плит была исследована проблема потери их устойчивости.

4) Несмотря на безусловно большую работу проделанную диссертантом, следует заметить некоторые не очень очевидные допущения принятые в работе. К примеру, на стр. 56-58, речь идет о построении собственных функций определенных для  $U_{j3}$ , при этом не учитывается реакция основания, которая обязана внести характерную частоту отсечки для распространения волн в пластине. Автор относит учет этого основания на потом. По сути определяются собственные функции пластины в «воздухе». Представляется не очевидным успех такого подхода, т.к. теряются локализованные решения вблизи стыка пластин. Хотелось бы увидеть более четкое объяснение такого приема. Более того собственные функции должны удовлетворять только условиям ограниченности, а не условиям излучения. Непрерывный спектр должен же остаться соответствующий этим собственным функциям, т.е. волновому процессу.

5) Хорошо известно, что стыки пластин на подложке приводят к так называемым локализованным волнам, распространяющимся вдоль стыка (разлома) – в английской литературе «edge wave». Из результатов автора трудно увидеть возможность существования таких решений.

Сделанные замечания носят большей частью рекомендательный характер и не снижают **научной и практической ценности** выполненной диссертантом работы.

Предложенные автором диссертации подходы открывают новые перспективы в исследовании взаимодействия литосферных плит, моделируемых разноразмерными блочными структурами. С точки зрения решения практических задач научные результаты, полученные соискателем, могут быть использованы для реализации системы сейсмомониторинга территории на основе расчета напряженности литосферных структур и оценки деформационных процессов. Одним из главных направлений дальнейших исследований представляется построение расчетных моделей для реальных данных о строении литосферных плит и свойствах слагающих массивов.

Разработанные методы имеют широкий спектр применения. Результаты также могут быть использованы при оценке прочностных свойств элементов конструкций и уточнении параметров расчетных моделей конструкционных материалов с покрытиями. Перечень возможных приложений не исчерпывается приведенными.

Результаты диссертации отражены в отчетах по выполненным в КубГУ проектам государственных целевых программ, исследования имели поддержку научных фондов, что также указывает на **актуальность** темы исследования и **практическую значимость** его результатов.


Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и доведены до сведения широкой общественности на ряде семинаров и конференций.

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание. Основные результаты исследований, выполненных по теме

диссертации, опубликованы в 6 научных работах, рекомендованных ВАК РФ.

Содержание работы позволяет утверждать, что диссертационное исследование Телятникова Ильи Сергеевича **соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформированного твердого тела, удовлетворяет** требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 10 «Положения о порядке присуждении учёных степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842), а диссертант заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Директор Института проблем машиноведения РАН,  
член-корреспондент РАН,  
доктор физ.-мат. наук, профессор

 Д.А. Индейцев

Индейцев Дмитрий Анатольевич  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем машиноведения Российской Академии наук  
199178, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., 61  
e-mail: [Dmitry.indeitsev@gmail.com](mailto:Dmitry.indeitsev@gmail.com)  
тел.: +7(812) 321- 47-72



*Д. А. Индейцева*  
ПРЕДСТАВЛЯЮ: Помощника Директора  
ИИМ РАН *Серого Е.В.*  
*февраля 2015 г.*