

ОТЗЫВ ОФФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации **Соляева Юрия Олеговича**
«Неклассические масштабные эффекты в прикладных моделях
градиентной теории упругости и электроупругости»,
представленной на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

Диссертация Соляева Ю.О. посвящена анализу неклассических масштабных эффектов, которые реализуются в градиентных моделях упругих и пьезоэлектрических материалов. В работе представлены новые аналитические и численные решения для задач о включениях, задач о трещинах, задач Сен-Венана об изгибе балки и слоя, обобщенной задачи Фламана. Рассмотрены проблемы учета влияния размера включений на эффективные свойства композиционных материалов, проблемы построения масштабозависимых балочных моделей в рамках градиентных теорий, проблемы описания масштабного эффекта прочности для тел с трещинами. Предложена формулировка динамической градиентной теории пьезоэлектриков, которая позволяет описывать явления нормальной пространственной дисперсии электроакустических объемных и поверхностных волн. Предложены новые методы построения решений в рассматриваемых теориях, основанные на привлечении обобщенного представления Папковича-Нейбера, обобщенного полу-обратного метода Сен-Венана, метода преобразования переменных (в градиентной теории электроупругости). Реализованы численные методы, такие как метод Треффца и смешанный метод конечных элементов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. В первой главе диссертации представлен обзор литературы по тематике проводимых исследований, дано обоснование актуальности и новизны выбранных направлений исследований. Во второй главе приводятся формулировки рассматриваемых в диссертации градиентной теории упругости изотропных

сред в форме Миндлина-Тупина и градиентной теории электро-упругости. В третьей главе представлено описание и формулировка применяемых, в том числе разработанных, методов построения решений. В четвертой главе диссертации приведены основные результаты, полученные в рамках градиентной теории упругости изотропных сред. В пятой главе диссертации представлены новые решения и анализ масштабных эффектов в градиентной теории пьезоэлектрических трансверсально изотропных материалов.

Актуальность диссертации определяется рассмотренными проблемами, связанными с описанием масштабных эффектов, характерных для перспективных композиционных материалов с микро/нано-структурой, квази-хрупких материалов, малоразмерных элементов микросистемной техники. Также актуальными являются рассмотренные в диссертации задачи построения прикладных градиентных теорий с редуцированным набором дополнительных материальных констант и определения классов явлений, для которых применение этих градиентных теорий возможно и необходимо. В диссертации рассмотрены и отчасти решены проблемы разработки методик для достоверной идентификации дополнительных материальных констант градиентных теорий, что является принципиально важным с точки зрения их практического применения.

Сформулированные результаты и выводы представляются обоснованными, так как при их получении в диссертационной работе применяются строгие и апробированные подходы механики деформируемого твердого тела, микромеханики, строительной механики. Формулировки моделей получены на основе вариационного подхода. Построение и анализ решений проводится с использованием векторного и тензорного анализа, строгих методов теории дифференциальных уравнений. Для применяемых численных методов построения решений предварительно проверяется их сходимость и устойчивость в сопоставлении с точными аналитическими решениями. Ряд полученных решений сопоставлен с известными экспериментальными данными, что используется, в том числе, для

идентификации дополнительных масштабных параметров градиентных теорий.

В диссертации получены новые научные результаты, имеющие теоретическую и практическую значимость. Предложены новые аналитические и численные методы построения решений в градиентных теориях. В частности, предложен упрощенный вариант представления общего решения уравнений равновесия градиентной теории упругости в форме Папковича-Нейбера и основанный на этом представлении метод Треффца. В работе построены новые масштабозависимые решения для задач о сферических и цилиндрических включениях в градиентной формулировке. Представлено доказательство эквивалентности прямых и энергетических методов осреднения в рассматриваемых теориях. Продемонстрирована возможность описания масштабного эффекта прочности хрупких и квази-хрупких материалов на основе численного моделирования и концепции концентрации напряжений. Предложен модифицированный критерий прочности для оценки разрушающих нагрузок на основе градиентной теории упругости в условиях смешанной I/II моды в зонах с концентраторами напряжений. Проведена идентификация масштабных параметров градиентных теорий на основе экспериментальных данных для широкого класса материалов. Построено новое решение для обобщенной задачи Фламана, в рамках которой исследовано поведение решений градиентной теории упругости вблизи острых кромок. Показана возможность регуляризации этих решений, что может быть важным с точки зрения дальнейшей разработки устойчивых численных методов со сниженными требованиями к гладкости граничных условий. В работе предложена новая скорректированная формулировка динамической теории электроупругости, позволяющая корректно описывать эффекты пространственной дисперсии упругих волн в пьезоэлектрических материалах.

Полученные результаты опубликованы в рецензируемых печатных изданиях и доложены на российских международных конференциях. Для

работ, опубликованных в соавторстве в автореферате диссертации дано пояснение личного вклада автора.

К работе имеются следующие **замечания**:

1.Материал о поверхностных и объемных электроупругих волнах (п.5.3) сам по себе очень интересен, но включение его в диссертацию, предыдущие 250 страниц которой были посвящены постановке и решению задач статики градиентной теории упругости (ГТУ) и градиентной теории электроупругости (ГТЭ), вызывает целый ряд вопросов, например:

- если автор диссертации сформулировал динамические модели ГТЭ, то почему он не сформулировал динамические модели ГТУ, что сделать значительно легче?

- почему при учете в моделях ГТЭ динамической составляющей механической подсистемы не учтена динамическая составляющая электрической подсистемы?

- почему поверхностные антиплоские сдвиговые волны, распространяющиеся в пьезоэлектрических кристаллах, которые в отечественной литературе принято называть волнами Гуляева-Блюстейна, автор диссертации называет волнами Блюстейна-Гуляева (как это принято в иностранной литературе)?

2. Главы диссертации очень неравномерны по объему, так если 1-я глава, не содержащая ни одного параграфа, занимает всего 11 страниц из 270 страниц (т.е. всего 4%) диссертации без учета списка цитируемой литературы, то объем главы 4 – 119 страниц, т.е. она почти в 11 раз больше 1-й главы.

3.На выводах по главам следовало бы сконцентрировать больше внимания, приведя их все вместе в конце каждой главы, а не «утопив» в тексте, делая их итогами параграфов.

4.В тексте встречаются неточности и огрехи. Например, некорректно применяется выражение «повышение свойств» (на стр. 23), хотя бы потому, что под свойствами можно подразумевать как упругость, так и податливость, которые не могут увеличиваться одновременно; на стр. 201 в правых частях

формул (4.176) пропущен $\lim_{r \rightarrow 0}$; выражение «двойные дисперсионные уравнения» (на стр. 12) лишено смысла.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела» (по физико-математическим наукам), критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Соляев Юрий Олегович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,
директор Института проблем машиностроения РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Ерофеев Владимир Иванович

Контактные данные:

тел.: +7(910) 384-**-**, e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Адрес места работы:

603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д.85.

Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Тел.: 8(831) 432-03-00; e-mail: imsh@mts-nn.ru

Подпись сотрудника организации В.И. Ерофеева удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМ РАН,

к.т.н., доцент

Е.А. Мотова