

ОТЗЫВ

Официального оппонента Думанского Александра Митрофановича на диссертационную работу **Шрамко Константина Константиновича** на тему «**Исследование свойств симметрии и регуляризация сингулярностей в градиентной теории упругости**» представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность представленной диссертационной работы

Градиентные и нелокальные варианты теории упругости, также, как и микрополярные теории, континуальные теории сред с полями дефектов получили широкое развитие в последние два десятилетия. При этом особое внимание механиков, проводящих исследования в этой области в последние десять лет связаны с прикладными перспективами использования такого рода обобщенных моделей упругости, применительно к моделированию и прогнозу эффективных свойств неоднородных структур, исследованию влияния масштабных эффектов на процессы деформирования сверхтонких элементов, уточненному моделированию связанных проблемах термоупругости, теплопроводности, электропроводности и пр., и вплоть до проведения тщательных исследований прочности и разрушения материалов и структур. В этой связи важным представляется исследование корректности прикладных моделей, полученных путем редукции известных общих моделей. Другой проблемой при использовании обобщенных прикладных моделей повышенного порядка является определение физического смысла масштабных параметров, а также несомненно надежная и достоверная процедура их определения. Именно эти вопросы и затрагиваются в данной диссертационной работе. Поэтому, несомненно **актуальной** является тема диссертационной работы, в которой вводится и обосновывается критерий корректности градиентных теорий, а также показывается, что масштабный параметр является важной физической характеристикой материалов в рамках концепции концентрации напряжений в проблеме механики разрушения хрупких материалов. Тема диссертационной работы **соответствует** специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Научная новизна работы определяется следующим:

1. Впервые сформулирован критерий корректности позволяющий проверить краевые условия, которые могут вносить погрешность при решении известных прикладных задач градиентных моделей теории упругости.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

06» 12 2021 г.

2. Получены новые регуляризованные решения задач теории трещин нормального отрыва в обобщенной упругости, позволяющие анализировать НДС в окрестности вершины трещин в рамках обычного подхода концентрации напряжений и показано, что концепция концентрации напряжений, где масштабный параметр является характеристикой материала, примененная сначала к теории трещин может быть расширена на задачи о разрушении тел с вырезами.

Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы. Работа содержит 112 страниц основного текста, включая 24 рисунка, 90 ссылок на литературу.

Во введении представлена краткая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулирована цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассматриваются основные положения градиентной теории упругости, представлена вариационная формулировка градиентных моделей, определяющие соотношения для напряжений Коши и моментных напряжений, строится математическая модель, включающая разрешающие уравнения и краевые условия. Рассматриваются базовые свойства симметрии тензоров упругости четвертого и шестого ранга. Показано, что разрешающие уравнения градиентной теории (уравнения равновесия) сводятся к факторизованным уравнениям, структура которых связана с характерными параметрами масштаба (размерные эффекты).

Во второй главе обсуждаются вопросы корректности математической постановки краевой задачи градиентной теории упругости. Сравниваются свойства симметрии, определяемым симметрией тензора деформации и по порядку дифференцирования. Ведется рассмотрение моделей Миндлина I и Миндлина II с учетом различия свойств симметрии по порядку дифференцирования и по парности. Приведены требования к симметрии модулей упругости, нарушение которых может приводить к погрешностям в задании граничных условий. Сформулирован критерий корректности постановки краевой задачи, сводящийся к необходимости задания граничных условий для моментных составляющих с использованием только симметричных тензоров, в частности, моментных напряжений 3-го ранга.

В третьей главе приведены примеры сингулярных задач, решенных с использованием градиентной теории упругости. Указываются особенности градиентных теорий, обеспечивающих возможность регуляризации

сингулярных задач упругости. Для решения сингулярных задач предлагается построение регулярного решения, основанного на теореме радиальных множителей. Использование этого подхода позволяет формализовать процедуру устранения сингулярности в решениях и оказывается удобной для построения регулярных решений для трещин. Вводится понятие концепции концентрации напряжений, описывается роль масштабного параметра. Высказывается предположение, что описанный масштабный параметр является постоянной характеристикой материала и для его определения необходимо использовать результаты расчета в совокупности с экспериментальными данными.

В четвертой главе показано на примере численного решения ряда краевых задач градиентной теории упругости (диск с вырезом и пластина), что масштабный параметр не зависит от различных факторов нагружения, от длины, формы и угла поворота разреза (трещины), таким образом является константой материала. Для нахождения параметра масштаба были использованы экспериментальные данные по нахождению предельной нагрузки и коэффициенту интенсивности. Выполнена процедура нахождения мест концентраций напряжений на берегах трещины и показано хорошее согласие с экспериментальными данными.

В заключение приведены основные выводы по диссертационной работе с указанием наиболее значимых результатов.

Обоснованность и достоверность результатов:

Достоверность результатов диссертации обосновывается использованием для их получения хорошо апробированных положений и математических методов механики деформируемого твердого тела, вариационных методов, методов математического анализа. Достоверность полученных теоретических результатов подтверждается их соответствием экспериментальным данным.

Теоретическая и практическая значимость:

Теоретическая ценность результатов диссертации заключается в возможности уточнения решений градиентной теории упругости широкого класса прикладных задач.

Практическая значимость работы определяется в реализации дополнительного программного комплекса конечно-элементного моделирования позволяющего производить поиск возможного зарождения дефекта перерастающего в макротрещину с определением пути ее распространения, что представляется важным при проведении прочностных расчетов, оценки разрушения конструкций в авиастроении, машиностроении, высокотехнологичных отраслях промышленности, и т.д.

Основные результаты диссертации опубликованы 3 научных работах в профильных изданиях, включая 2 научные статьи из списка ВАК, а также опубликована одна работа в международном журнале, индексируемом Scopus. Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ.

Работа написана с использованием современной научно-технической терминологии, автореферат диссертации отражает основные положения и результаты проведенного исследования.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе не выполнен сравнительный анализ расчетов и экспериментальных данных выполненных с использованием теорий пластичности и нелинейной теории упругости.
2. Ответственные элементы авиационных и машиностроительных конструкций при кратковременном нагружении работают в условиях динамического нагружения или при умеренных нагрузках эксплуатируются в течение длительного времени и предложенные подходы не могут быть использованы в вышеописанных важных случаях.
3. В тексте диссертации и главе 1 и в главе 2 для обозначения тензоров модулей упругости шестого ранга используются различные обозначения, сначала через C_{lmnij} , а затем через A_{lmnij} . При этом изменение обозначений оправдано частично лишь в главе 2, когда рассматривались различные модели типа Миндлина, а в целом это ничем не оправдано и затрудняет чтение диссертации.
4. Часто используется неправильная терминология.
 - Например, после формул (25) следует писать не «двойные напряжения» а моментные напряжения двойные - плохой перевод с английского double stresses);
 - Лучше говорить не о «потенциальные условия» - после (19) а об условиях потенциальности;
5. В целом текст содержит и технические неточности, и описки, орфографические погрешности, не все используемые аббревиатуры расшифрованы в тексте.
 - Раздел 1.1.1 – должно быть Миндлина вместо Мидлина;
 - двоеточие перед (42) и т.д.
6. Автору следовало бы подробнее объяснить, что он имел ввиду в тексте перед формулой (42).

7. После формулы (44) автор пишет «тензоры жесткости единой теории симметрии» - очень нечетко, неясно что имел ввиду автор под такой теорией.
8. Конечно, в этой важной для всего спектра градиентных теорий следовало бы сначала ввести определение корректности, о которой говорит автор. Это, к сожалению, опущено в начале главы 2. Автор диссертации должен был дать определение во введении к главе.
Правильное определение понятия корректности автор приводит в тексте второй главы только после формулы (80).
9. В разных частях работы используется разная терминология, касающаяся моделей Миндлина. Стоило бы использовать единую терминологию во всей работе, например, Форма Миндлина I, Форма Миндлина II.
10. Чрезвычайно важным для всей главы является замечание, сделанное автором перед формулой (79) «Следовательно, модули, входящие в состав тензоров C_{ijkl}^{+-} , C_{ijkl}^{-+} , C_{ijkl}^{--} , не ограничены никакими связями». Это следовало бы особо подчеркнуть.
11. В разделе 3.8, 3.9 следовало бы указать построены ли решения автором или они построены другими исследователями и приводятся для иллюстрации особенностей градиентных решений.
12. В главе 3 справедливо указывается на то, что в градиентных теориях есть несколько определений для напряжений, напряжения Коши и квазиклассические напряжения. Желательно, если бы в тексте диссертации были бы четкие определения этим факторам.
13. Автором, судя по всему, построено новое решение для конечной трещины в разделе 3.10. Желательно было бы сравнить насколько существенно оно уточняет приближенное решение, приведенное в разделе 3.8.3.
14. Отдельно следует сказать о главе 4, которая показывает возможность развитие концепции концентрации напряжений и ее расширение на задачи о вырезах, которые не являются сингулярными. К сожалению, информация о результатах дается в чрезвычайно скупой форме, рисунки показывающие кривые максимальных напряжений и позволяющие судить об эффективности концепции оформлены плохо. На них часто нет полной информации об образцах. Следует отметить, что к счастью, более полная информация содержится на соответствующих графиках в автореферате.
15. Автор не поясняет какими соображениями он руководствуется при уточнении параметра масштаба в задачах с вырезами.

Указанные замечания не снижают общего уровня и научной ценности полученных в диссертационном исследовании результатов.

Оценивая работу в целом, следует считать, что представленная диссертация является законченной квалификационной работой, посвященной решению практически важной задачи. Диссертация соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842. Автор диссертации Шрамко Константин Константинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент,

Заведующий лабораторией механики
композиционных материалов ФГБУН
Институт машиноведения им. А.А.
Благонравова РАН

д.ф-м.н.

Думанский Александр
Митрофанович

Адрес места работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

Тел.: +7 (916) 965-41-39

E-mail: aldumans@rambler.ru

Научная специальность, по которой защищена диссертация:

01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Подпись доктора физико-математических наук Думанского Александра Митрофановича удостоверяю,

специальное

(должность)
кадровое



С.В. Буфеев

(Фамилия И.О.)

06-12-2021