

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИПМаш РАН)**



В.О., Большой пр-т, д. 61, Санкт-Петербург, 199178  
Тел.: +7 (812) 321-47-78, факс: +7 (812) 321-47-71;  
<https://ipme.ru>, e-mail: [ipmash@ipme.ru](mailto:ipmash@ipme.ru)

ОКПО 04850273 ОГРН 1037800003560 ИНН 7801037069 КПП 780101001



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор, д.т.н.

В.А. Полянский

13 мая 2024 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертацию Короленко Владимира Алексеевича  
«Исследование масштабных эффектов в задачах с концентрацией  
напряжений на основе моделей градиентной теории упругости»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
1.1.8. - механика деформируемого твердого тела**

**1. Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Короленко Владимира Алексеевича представляет собой актуальное научное исследование, важное как с точки зрения фундаментальной науки, так и инженерных приложений. Диссертационная работа посвящена разработке аналитических решений задач о концентраторах напряжений в рамках градиентной теории упругости, в том числе, методом представления решения в форме Папковича-Нейбера. Градиентные теории упругости позволяют учитывать неклассические масштабные эффекты, возникающие в окрестности малоразмерных концентраторов и сосредоточенных нагрузок, и устранять классические сингулярности из решений линейной теории упругости. Полученные в работе градиентные решения задач могут быть также использованы для анализа

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«14» 05 2024 г.

результатов экспериментальных данных с целью идентификации дополнительных материальных констант градиентной теории упругости.

## **2. Структура и содержание работы**

Диссертационная работа Короленко В.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 115 страницах и содержит 35 рисунков. Список литературы содержит 86 источников.

Во введении дано обоснование актуальности работы и ее новизны, изложены теоретическая и практическая значимость работы, её цели и задачи, представлен анализ состояния исследований по теме диссертации и применяемые методы исследования, дано реферативное изложение содержания работы.

В первой главе приведены определяющие соотношения и постановка краевой задачи градиентной теории упругости (ГТУ). Дано представление решения уравнений равновесия в форме Папковича-Нейбера для ГТУ через потенциалы и приведена методика построения численных решений в рамках ГТУ.

Вторая глава посвящена исследованию масштабных эффектов в плоских задачах с концентраторами напряжений. Приведено решение задачи плоской деформации для бесконечного пространства, содержащего круглое отверстие и нагруженного постоянными напряжениями на бесконечности (задачи Кирша), в рамках моделей ГТУ с упрощенными определяющими соотношениями. Также рассматривается задача о полу-бесконечной трещине отрыва и поперечного сдвига. Приведена постановка задачи в рамках упрощенной градиентной теории в форме Айфантиса и построены классическое асимптотическое решение и известное асимптотическое решение ГТУ для полубесконечной трещины.

В третьей главе рассматриваются пространственные задачи с концентраторами напряжений, а именно задача о сферическом включении в бесконечном пространстве в условиях заданного на бесконечности всестороннего сжатия или чистого сдвига и задача о шаре, нагруженном силой, распределенной вдоль экватора. Для поставленных задач построены решения на основе представления Папковича-Нейбера, обобщенные на случай уравнений равновесия ГТУ. На примере задачи о шаре, нагруженном по экватору, впервые построено решение ГТУ для задачи о действии сосредоточенной нагрузки в ограниченной области.

В четвертой главе дано описание экспериментов по испытанию образцов из оргстекла с отверстиями разного размера с использованием метода корреляции цифровых изображений. Описано моделирование этих экспериментов с помощью метода конечных элементов в пакете COMSOL Multiphysics.

В заключении диссертации приведены выводы по работе и перечислены ее основные результаты.

### **3. Научная значимость и новизна результатов диссертации**

Полученные автором диссертации научные результаты вносят существенный вклад в развитие аналитических методов построения решений в рамках ГТУ. В диссертации получен комплекс точных и асимптотических решений для плоских и трехмерных задач с концентраторами напряжений и сосредоточенными нагрузками в рамках упрощенных ГТУ.

К наиболее существенным и оригинальным следует отнести следующие результаты.

1) Разработан новый метод представления общего решения для перемещений, основанный на использовании представления Папковича-Нейбера для классической части поля перемещений и на разложении Гельмгольца для градиентной части поля перемещений.

2) Построено решение ГТУ для задачи о шаре, нагруженном сосредоточенной нагрузкой, распределенной вдоль линии экватора. Это решение является первым примером решения ГТУ для задачи о действии сосредоточенной нагрузки в ограниченной области.

3) Проведено исследование особенностей концентрации деформаций вблизи малоразмерных отверстий на основе моделей ГТУ и их сопоставление с экспериментальными данными, полученными при одноосном растяжении образцов из оргстекла с малоразмерными отверстиями с использованием метода корреляции цифровых изображений.

### **4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации результатов связана с решением задач с использованием строгих математических методов механики деформируемого твердого тела. Большая часть выводов работы следует

из полученных аналитических решений. В диссертации используется сравнение (где это возможно) полученных результатов с известными решениями классической теории упругости и с известными решениями других авторов. Имеется сравнение полученных результатов с результатами численного моделирования, полученными с помощью метода конечных элементов в пакете COMSOL Multiphysics (в главе 3) и с экспериментальными данными (в главе 4), полученными автором диссертационной работы.

#### **5. Практическая значимость и рекомендации по применению работы**

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов к анализу неклассических масштабных эффектов в задачах о концентрации напряжений. Результаты диссертационной работы также представляют практический интерес для достоверной идентификации параметров, входящих в определяющие соотношения ГТУ, и для обоснования применимости решений ГТУ для определения напряженно-деформированного состояния в телах с малоразмерными концентраторами напряжений.

Результаты работы могут быть использованы в научно-исследовательской деятельности таких научных учреждений, как Институт проблем машиноведения РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича СО РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, а также в научно-образовательной деятельности таких вузов, как Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербургский государственный университет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Новосибирский государственный университет, Южный федеральный университет и других.

#### **6. Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе**

Основное содержание и результаты диссертационной работы в полной мере отражены в шести публикациях в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

#### **7. Замечания и вопросы по работе**

По работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. Все аналитические решения, полученные в работе, даны только в общем виде в перемещениях. С точки зрения использования в различных приложениях было бы очень полезно представить их также по возможности в явном виде в деформациях и напряжениях.
2. Расчет упругих полей, вызванных присутствием включения (п. 3.1), было бы полезно дополнить расчетом упругой энергии включения в рамках ГТУ и сравнить полученный результат с известным результатом классической теории упругости для оценки значимости градиентной поправки.
3. Как соотносится значение градиентного коэффициента (масштабного параметра)  $l = 0.133$  мм, полученного в работе экспериментально на образцах из оргстекла (гл. 4), с характерными масштабными уровнями структуры этого оргстекла? Как можно объяснить отличие этого значения почти на порядок от значения  $l = 1.1$  мм, полученного в работе [72] также для оргстекла?
4. Какие факторы вообще могут влиять на значение масштабного параметра в полимерном материале? Коррелирует ли полученное значение с другими масштабными параметрами, например, характерным масштабом механики разрушения, который может быть получен пересчетом через прочность и коэффициент трещиностойкости материала?
5. В главе 4 приведены результаты численного расчета, проведенного методом конечных элементов, и на рис. 29 показана используемая конечно-элементная модель. Проводилась ли оценка сеточной сходимости этой модели?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

#### **8. Заключение по диссертации.**

Диссертационная работа Короленко Владимира Алексеевича «Исследование масштабных эффектов в задачах с концентрацией напряжений на основе моделей градиентной теории упругости», представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. На основе выполненных автором исследований сформулированы новые решения и новые методы построения аналитических решений в градиентной теории упругости, что можно квалифицировать как научное достижение в развитии механики деформируемого твердого тела. Диссертация «Исследование масштабных эффектов в задачах с

концентрацией напряжений на основе моделей градиентной теории упругости», удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту научной специальности 1.1.8. - механика деформируемого твердого тела, соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842, а её автор, Короленко Владимир Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Материалы кандидатской диссертации Короленко В.А. «Исследование масштабных эффектов в задачах с концентрацией напряжений на основе моделей градиентной теории упругости» заслушаны и получили одобрение на семинаре по механике ИПМаш РАН, основанном Д.А. Индейцевым, 08.04.2024 г. протокол № 3/24.

Отзыв на диссертацию Короленко В.А. заслушан, обсужден и одобрен на заседании лаборатории математических методов механики материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, протокол № 29/04/24 от 29.04.2024 года.

Руководитель лаборатории математических методов механики материалов  
ИПМаш РАН, д.ф.м..н.



Фрейдин Александр Борисович



*Андреева С.И.*  
Помощник Директора  
*Фрейдин* / *Андреева С.И.*  
2024 г.

*Сотставом ознакомлен 14.05.2024*