

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.06.2016 № 109

О присуждении Федорову Андрею Юрьевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование и оптимизация напряжённого состояния в окрестности особых точек упругих тел» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 14.04.2016, протокол № 106 диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Федоров Андрей Юрьевич 1983 года рождения, в 2007 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный университет» (ГОУ ВПО «ПГУ») по направлению «Механика», специализация «Механика деформируемого твёрдого тела». В 2011 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук по научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. В настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории моделирования отдела комплексных проблем механики деформируемых твёрдых тел ИМСС УрО РАН. Диссертация выполнена в лаборатории моделирования отдела комплексных проблем механики деформируемых твёрдых тел ИМСС УрО РАН.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, академик РАН Матвеев Валерий Павлович, директор ИМСС УрО РАН, заведующий отделом комплексных проблем механики деформируемых твёрдых тел ИМСС УрО РАН.

Официальные оппоненты:

Зезин Юрий Павлович, доктор технических наук (ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт механики);

Копысов Сергей Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (ФГБУН Институт механики Уральского отделения Российской академии наук).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном заключении, составленным Гольдштейном Робертом Вениаминовичем, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессором, заведующим лабораторией механики прочности и разрушения материалов и конструкций, и утвержденном исполняющим обязанности директора ИПМех РАН д.ф.-м.н. С.Е. Якушем, указала, что дис-

сертация представляет собой законченное научное исследование, имеющее научное и практическое значение, которое содержит разработку алгоритма и программы расчета особенностей поведения решений задач теории упругости в окрестности особых точек упругих тел; постановку и решение задач оптимизации геометрии и упругих свойств материала, направленных на снижение концентрации напряжений вблизи особых точек тела; полученные численно результаты, показывающие, что оптимальные решения определяют границу между решениями с сингулярностью и без сингулярности напряжений; предлагаемое изменение геометрии образцов для испытания на прочность клеевых соединений, способствующее выравниванию напряжений на поверхности клеевого соединения. Диссертация полностью удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Федоров Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 31 опубликованную работу по теме диссертации, из них 4 статьи в рецензируемых научных изданиях (журналах, рекомендуемых ВАК), 3 из которых также индексируются в базах Web of Science и Scopus. Наиболее значительные работы:

1. Матвеев В.П., Федоров А.Ю. Оптимизация геометрии составных упругих тел как основа совершенствования методик испытаний на прочность клеевых соединений // Вычисл. мех. сплош. сред. 2011. Т. 4, № 4. С.63-70.
2. Матвеев В.П., Севодина Н.В., Федоров А.Ю. Оптимизация геометрии упругих тел в окрестностях особых точек на примере клеевого соединения внахлестку // ПМТФ. 2013. № 5. С.180-186.
3. Корепанов В.В., Матвеев В.П., Федоров А.Ю., Шардаков И.Н. Численный анализ сингулярных решений двумерных задач несимметричной теории упругости // Известия РАН, МТТ. 2013. № 4. С.50-58.
4. Матвеев В.П., Федоров А.Ю., Шардаков И.Н. Анализ сингулярности напряжений в особых точках упругих тел из функционально-градиентных материалов // ДАН. 2016. Т. 466, № 1. С.38-42.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Зезина Юрия Павловича. В отзыве указывается на то, что диссертация выполнена на высоком методологическом уровне, отличается полнотой изложения и является завершенным научным исследованием; обладает несомненной научной новизной, а представленные результаты вносят существенный вклад в развитие методов анализа особенностей распределения напряжений в особых точках в упругих телах и оптимизации соединений элементов конструкций с целью снижения концентрации напряжений. Оппонент отмечает, что в диссертации отсутствует список принятых обозначений, который мог бы существенно облегчить ее прочтение. Уравнения (1.17)–(1.23) представлены в диссертации без выводов, следовало бы привести ссылки на работы, в которых описан вывод указанных уравнений. Также следовало бы представить результаты вычислений в более компактном виде, объединив серии графиков, что облегчило бы анализ представленных результатов и позволило бы сократить объем диссертации. Расчеты по оптимизации клеевого соединения за счет вы-

бора упругих характеристик адгезива выполнены для специфических материалов с низкими значениями модуля упругости, следовало бы рассмотреть и более общий случай соединения традиционных конструкционных материалов, таких как металлы и керамика. В главе 3 диссертации описан эксперимент по оценке влияния угла кромки стыка адгезионно соединяемых частей образца на прочность клеевого соединения разнородных материалов при нормальном отрыве. Результаты эксперимента представлены в виде экспериментальной зависимости предельного значения силы от величины угла, следовало бы представить их в виде зависимости прочности соединения от величины угла, а также представить результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных.

2. Положительный отзыв официального оппонента Копысова Сергея Петровича. В отзыве указано, что диссертация представляет собой завершённую работу, выполненную на высоком научном уровне, и по совокупности полученных результатов имеет существенное значение для исследований и оптимизации напряжённого состояния в окрестности особых точек упругих тел, и определяет новые направления в аналитических, численных и экспериментальных методах их решения. Оппонент отмечает, что было бы полезно, привести информацию о мерах качества сгущающейся сетки, оценках скорости сходимости от характерного размера сетки, используемых постановках задач и конечно-элементных аппроксимациях. В работе нет упоминания об алгоритме задания непрерывно изменяющихся свойств функционально-градиентных материалов (ФГМ) при конечно-элементной аппроксимации в задачах моделирования ФГМ. В отзыве отмечается, что задача оптимизации геометрии и упругих характеристик с учетом особых точек в главе 3 представлена в общем виде; описание адаптации сетки и оценки погрешности в этом случае также ограничиваются общими фразами (см. стр. 106). Отсутствие списка обозначений для достаточно объёмной работы затрудняет с ней знакомство.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, основные научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов. Ведущая организация в отзыве приводит несколько замечаний. Представленный во введении обзор литературы в части, касающейся теории и методов численного анализа поведения решений задач теории упругости вблизи особых точек, недостаточно полон и не включает работы ряда ведущих отечественных и зарубежных ученых, работающих в этой области: С.А. Назарова, Б.А. Пламленевского, Н.Ф. Морозова, Т. Apel, M. Costabel, M. Dauge, Z. Yosibash. В разделе 1.1 диссертации приведены многочисленные результаты расчетов, однако, отсутствуют сравнения полученных результатов с известными. В разделе 1.2 в приведенных численных результатах отсутствуют сравнения с известными численными результатами, а также не представлены данные, показывающие зависимость результатов от выбора луча, на котором выбираются точки, по значениям напряжений на которых определяется порядок особенности. В заключение главы 2 (стр. 99) и в пункте 3 заключения (стр. 150) правильнее было бы говорить не об установлении результата о том, что «поведение напряжений в окрестности особых точек упругих тел из ФГМ такое же, как и в соответствующем по геометрии однородном теле с упругими характеристиками, совпадающими с константами ФГМ в особой точке», а о его численном подтверждении. В главе 3 при

решении задачи оптимизации для однородного цилиндра (см. рис. 3.3 и 3.4) критерий оптимальности не представлен в строгом математическом виде. При этом остается не вполне ясным что выбирается в качестве критерия оптимальности.

На автореферат поступило 9 положительных отзывов, из них 3 отзыва – без замечаний от: Коновалова А.В., д.т.н., профессора, заведующего лабораторией механики деформаций Института машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург; Ковтанюк Л.В., д.ф.-м.н., заведующей лабораторией механики необратимого деформирования Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток; Ерофеева В.И., д.ф.-м.н., профессора, директора Института проблем машиностроения РАН, г. Нижний Новгород;

6 отзывов с замечаниями от: Баженова В.Г., д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией Научно-исследовательского института механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород; Мовчана А.А., д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника Института прикладной механики РАН, г. Москва; Ткаченко О.П., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника Вычислительного центра ДВО РАН, г. Хабаровск; Маркина А.А., д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой математического моделирования Тульского государственного университета, г. Тула; Еремеева В.А., д.ф.-м.н., доцента, заведующего лабораторией механики активных материалов Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону; Радченко В.П., д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

В качестве замечаний отмечено следующее: в диссертационной работе не учитываются геометрические и физические нелинейные эффекты, снижающие концентрацию напряжений в особых точках, в частности, это необходимо для оценки прочности клеевых соединений; из автореферата не удается понять, насколько общим является утверждение о том, что оптимальное решение всегда находится на границе между регулярным и сингулярным поведением, доказано ли это положение в общем случае, или подтверждено на ограниченном круге частных задач; в автореферате, при записи решений (1), не определены величины u_r , u_ϕ , и читатель должен сам догадываться, что это перемещения; в автореферате нет ни одной формулировки краевой задачи в явном виде; в автореферате, к сожалению, имеются очень громоздкие, сложные предложения, из-за этого некоторые результаты трудно осознать при первом чтении; из автореферата не ясно как учитывалось влияние собственных решений на граничные условия однородного растяжения, используемые во всех приведенных примерах; при анализе поля напряжений вблизи особых точек микрополярных упругих тел было бы целесообразно изучить возможный размерный эффект, т.е. влияние общего размера (масштаба) тела на показатели сингулярности напряжений; непонятно, о каких экспериментальных данных и их характере идет речь в пункте «Достоверность», т.к. в автореферате эта информация отсутствует; при построении общей теории, строго говоря, ряды (3) и (4) должны быть сходящимися, однако о сходимости этих рядов ($0 < r < +\infty$) в автореферате ничего не говорится; желательно было бы привести численные значения собственных чисел α хотя бы для некоторых рассмотренных примеров.

В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых не вызывает сомнения, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области вычислительной механики деформируемого твердого тела, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ по изучению деформирования и разрушения твердых тел и конструкций, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ИПМех РАН является одним из ведущих институтов не только РАН, но и страны, и хорошо известен своими достижениями в области механики деформируемого твердого тела, в институте активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования в областях общей механики, робототехники и мехатроники; теории упругости; механики деформирования и разрушения твердых тел и конструкций; механики композиционных и наноматериалов; а также ведутся постановка и обработка результатов космических экспериментов в области механики и материаловедения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана и реализована численная методика оценки показателя сингулярности напряжений в окрестности особых точек для задач теории упругости, в том числе, описывающих поведение функционально-градиентных материалов, и несимметричной теории упругости;

предложена математическая постановка задачи определения геометрии и параметров функционально-градиентного материала в окрестности особых точек упругих тел, обеспечивающих оптимальное распределение заданной характеристики напряжённого состояния;

введено общее правило выбора оптимальных геометрии тела и его упругих свойств в окрестности особых точек, способствующих снижению концентрации напряжений, **показана** эффективность использования этого правила для снижения концентрации напряжений в местах соединения материалов с различными механическими характеристиками;

предложены рекомендации по повышению прочности клеевых соединений и технологий склеивания за счет оптимального выбора геометрии контактной зоны.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– предложенная численная методика оценки показателя сингулярности напряжений в окрестности особых точек применена для двумерных и трехмерных тел, описываемых упругими моделями, отличными от классической упругой модели;

- получены аналитические и численные решения, позволяющие оценить напряженное состояние в окрестности особых точек упругих тел с функционально-градиентными свойствами;
- разработан алгоритм численного решения задачи оптимизации геометрии и свойств материала в окрестности особых точек упругих тел;
- предложенные рекомендации выбора конфигурации тела вблизи особых точек и его упругих характеристик, могут быть результативно применены при оптимизации конструкций и их элементов, в том числе — из функционально-градиентных материалов.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс аналитических и численных методов исследования напряженно-деформированного состояния в окрестности особых точек различного типа, позволивший получить новые результаты для случая моментных упругих сред;

раскрыты особенности распределения полей напряжений в окрестности особых точек упругих тел с функционально-градиентными свойствами;

изучено влияние параметров, характеризующих геометрию упругого тела в окрестности особой точки, и упругих постоянных материалов на поведение полей напряжений вблизи особой точки;

изложены результаты решения задач оптимизации геометрии составных тел и их механических свойств в окрестности особых точек при использовании различных целевых функций;

представлена формулировка обобщенного свойства оптимальных решений в окрестности особых точек.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

представлен численный алгоритм, позволяющий вычислять значения показателя сингулярности напряжений в окрестности особых точек для двумерных и трёхмерных задач классической и несимметричной теорий упругости;

создан и реализован комплекс алгоритмов и программ для решения задач оптимизации геометрии конструкции и свойств материала в окрестности особых точек;

определены общие правила выбора геометрии тела и свойств материала, при которых реализуются оптимальные варианты напряжённого состояния в окрестности особых точек;

разработаны рекомендации по совершенствованию методики определения прочности клеевых соединений и технологии склеивания листовых материалов внахлестку.

Другие научные достижения, свидетельствующие о научной новизне и значимости полученных результатов

На основе разработанных рекомендаций по выбору оптимальных геометрии и свойств материала тела в окрестности особых точек впервые продемонстрирована эффективность методики поиска оптимальных значений механических свойств однородной про-

слойки, соединяющей два разных материала.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях теорий упругости и подходах к описанию сингулярных решений в окрестности особых точек. Частные результаты, полученные из общей теории, согласуются с известными результатами исследований по теме диссертации;

идея базируется на обобщении имеющегося опыта по исследованию напряженно-деформированного состояния в окрестности особых точек упругих тел;

использованы современные апробированные численные методы (метод конечных элементов), для которых в работе исследована сходимость получаемых решений;

установлено качественное и количественное соответствие полученных в работе численных и аналитических решений с теоретическими и экспериментальными данными, представленными в литературе.

Личный вклад соискателя состоит в разработке численных алгоритмов и применении аналитических методов исследования напряженно-деформированного состояния в окрестности особых точек упругих тел, выполненных из функционально-градиентных материалов; разработке численного алгоритма для определения значений показателя сингулярности напряжений; разработке и реализации компьютерных программ; проведении численных экспериментов и вычислений.

Выбор направлений исследований, постановка задачи, анализ результатов и подготовка публикаций осуществлялись совместно с научным руководителем.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

На заседании 21 июня 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Федорову А.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

21.06.2016 г.



М.П.

/ Роговой Анатолий Алексеевич

/ Зуев Андрей Леонидович