

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 29 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Реутова Юрия Анатольевича «Прогнозирование свойств полимерных композиционных материалов и оценка надежности изделий из них» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 21 из 26 членов диссертационного совета, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Пикушак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
8.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
12.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
13.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
14.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
16.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
17.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
18.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
20.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
21.	Якутенок Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

Заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Ю.А. Реутову учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.12.2016 г., № 303

О присуждении **Реутову Юрию Анатольевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Прогнозирование свойств полимерных композиционных материалов и оценка надежности изделий из них»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 24.10.2016 г., протокол № 290, диссертационным советом **Д 212.267.13** на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 203-161 от 08.02.2008 г.).

Соискатель **Реутов Юрий Анатольевич**, 1989 года рождения.

В 2013 г. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2016 г. очно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Работает в должности инженера на кафедре механики и графики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории механики полимерных композиционных материалов федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Люкшин Борис Александрович**, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра механики и графики, заведующий кафедрой; по совместительству: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория механики полимерных композиционных материалов, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Любимов Александр Константинович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», кафедра теоретической, компьютерной и экспериментальной механики, профессор.

Назарова Лариса Алексеевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория горной информатики, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Томский архитектурно-строительный университет**», г. Томск, в своем положительном заключении, подписанном **Радченко Андреем Васильевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, директор института кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, заведующий кафедрой геоинформатики и кадастра), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью установления закономерностей механического поведения и разработки метода достоверного прогнозирования долговечности материалов,

применяемых в элементах конструкций, в частности, наполненных полимерных систем.

В рамках развития нового подхода для определения статистических деформационно-прочностных и теплофизических характеристик представлены результаты исследований в области моделирования механического поведения современных материалов (композитных материалов на основе полимерных матриц, в том числе дисперсно-упрочненных армирующими частицами, а также вспененных полимерных материалов) при силовом и термическом нагружении. Полученные в двумерном и трехмерном приближениях результаты позволяют описать поведение рассмотренных материалов и повысить качество и оперативность проектных работ. Кроме того, самостоятельную ценность представляют собой результаты построения полей вероятности безотказной работы изделий, что особенно важно для процедуры контроля качества ответственных изделий и их узлов.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что отдельные этапы и разделы работы нашли отражение в отчетах по НИОКР по государственному контракту на выполнение научно-исследовательской работы № 13411.1006899.11.065 «Исследование и разработка базовой технологии производства полимерных композиционных материалов с заданными деформационно-прочностными и теплофизическими характеристиками путем поверхностной и объемной модификации полимеров наполнителями, в том числе наноструктурированными», работа поддержана РФФИ грантом на проект 12-01-00069 «Разработка основ двухэтапного компьютерного конструирования наполненных полимерных систем», отдельные части работы вошли в программы подготовки студентов ТГУ и ТУСУР.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 25 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 2; 8 статей в журналах, индексируемых Web of Sciences и Scopus; 3 патента Российской Федерации; 12 публикаций в сборниках трудов международных симпозиумов, международных и всероссийских научных конференций. Получено 1 решение о выдаче патента на изобретение. Общий объем публикаций – 6,86 п.л., авторский вклад – 3,07 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и в научных изданиях, индексируемых Web of Sciences и Scopus:

1. Бочкарева С. А. Исследование напряженно-деформированного состояния многослойных полимерных труб методом конечных элементов / С. А. Бочкарева, **Ю. А. Реутов** // Известия Томского политехнического университета – 2013. – Т. 322, № 2. – С. 81–84. – 0.46 / 0.3 п.л.

2. Бочкарева С. А. Определение вероятности безотказной работы многослойной полимерной трубы с учетом температурных воздействий / С. А. Бочкарева, Б. А. Люкшин, А. И. Реутов, **Ю. А. Реутов** // Известия высших учебных заведений. Физика – 2013. – Т. 56, № 7/3. – С. 140–142. – 0.35 / 0.1 п.л.

3. Grishaeva N. Yu. Thermal properties simulation of multilayer pipe / N. Yu. Grishaeva, B. A. Lyukshin, P. A. Lyukshin, A. I. Reutov, **Y.A. Reutov** // AIP Conference Proceedings. – 2014. – Vol. 1623 : International Conference on Physical Mesomechanics of Multilevel Systems 2014. Tomsk, Russia, September 03–05, 2014. – P. 187–190. – DOI: 10.1063/1.4898914. – 0.46 / 0.1 п.л.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На автореферат поступило 4 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **Ю.В. Немировский**, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний*. 2. **Ю.К. Машков**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «Физика» Омского государственного технического университета, г. Омск, *с замечаниями*: Соискатель ошибочно полагает, что «теория надежности включает два разных направления - математическую и физическую теорию надежности» (стр.7); На рис. 3 и 4 приведены зависимости эффективного модуля упругости и предела прочности эпоксиполимерной композиции ЭД20+ГМДА и ЭД16 + ДиаметрХ от степени наполнения пылевидным кварцевым песком (ПКП). Здесь приведены зависимости с степенью наполнения от 100 до 250

масс.ч. На рис.7 приведены зависимости эффективного модуля упругости и предела текучести полимерного композиционного материала (ПКМ) на основе полипропилена (ПП) с наполнителем бутилкаучуком (БК) при степени наполнения от 5% до 30% . Возникает вопрос, почему при исследовании одного физического параметра (модуля упругости) используются разные параметры для обозначения степени наполнения ПКМ? Какой физический смысл имеет обозначение - масс. ч. и почему она более 100?; Чем вызвана необходимость считать пузырьки воздуха включениями? 3. **И.И. Анисимов** д-р техн. наук, ст.науч.сотр., начальник отдела прочности Акционерного общества «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск, *с замечаниями:* отсутствуют материалы о прогнозировании деформационных характеристик ПКМ, предусмотренные целевой постановкой и являющиеся предметом защиты; отсутствуют указания об области применения предложенных методов прогнозирования модуля упругости и прочностных характеристик ПКМ (не отражено влияние на прогнозируемые характеристики формы, регулярности распределения, фракционности частиц наполнителя, эффектов их отслоения от полимерной матрицы, эффектов вязкоупругости и пластичности полимерной матрицы ПКМ); недостаточно отражены особенности математической постановки и решения рассматриваемых задач. При формулировании математической постановки непонятно выражение (л. 8 автореферата) «уравнения связи напряжений с деформациями могут быть различными». Для различных типов уравнений механического состояния методы определения НДС могут существенно различаться. Необходима конкретизация реализованной автором постановки обсуждаемого типа задач. 4. **А.Н. Гергега**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой компьютерных систем Одесской национальной академии пищевых технологий, г. Одесса, *с замечаниями:* На рис. 11 (а) и (б) на стр. 15 автореферата вероятность безотказной работы слоев трубы показана равной единице для давлений от 4 до 11 МПа. Это может показаться совершенно уместной гиперболой в представлении результатов, но в табл. 2 на стр. 17 соискатель показывает, что он различает значения 0.98 и 1. Значит, не гипербола. Между тем, в автореферате не приведена оценка погрешности используемого метода, который, по моему мнению, вряд ли позволяет различать двухпроцентную погрешность. 2. Продолжая тему погрешности, хотел бы

отметить, что для всех графических результатов, полученных автором и представленных в автореферате, отсутствует ее оценка. Корректным было бы указать для экспериментальных результатов, например, погрешность измерения, относительную погрешность результатов, полуширину доверительного интервала и т.п. 3. О графиках на рис. 3, 4, 7-9, озаглавленных как зависимости. По сути, это, вопреки утверждению соискателя, не есть зависимости в классическом смысле термина, которые предполагают наличие некой функциональной взаимосвязи, которая, в частности, дает возможность экстраполяции результатов. У соискателя это лишь соединенные между собой точки, а значит, для получения каждой следующей нужно проводить дополнительный эксперимент. Понятно, что несложная математическая обработка экспериментальных данных позволила бы получить аналитические выражения для таких зависимостей, которые, безусловно, украсили бы диссертационную работу.

В отзывах отмечается, что диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи – прогнозированию свойств и повышению надежности полимерных композиционных материалов (ПКМ) и промышленных изделий, изготовленных с использованием ПКМ. Результаты представляют наибольший интерес для специалистов, решающих задачи формирования и оптимизации механических характеристик ПКМ. Сформулированная математическая постановка задачи о расчете напряженно-деформированного состояния (НДС) в структурно неоднородных композитных материалах позволяет учесть различные типы уравнений механического состояния элементов структуры ПКМ, физическую нелинейность свойств наполнителя и полимерной матрицы, эффекты неоднородности температурных полей в объеме ПКМ. Приводятся результаты решения задач по определению модуля упругости и предела прочности в плоской и трехмерной модели ПКМ, имеющей регулярную одно- и двухфракционную структуру. Также приводятся результаты расчета коэффициентов теплопроводности вспененного полипропилена, полученные с использованием аналогичных моделей. К наиболее практически важным результатам исследований следует отнести оценку НДС и вероятности безотказной работы по критериям прочности реальных конструкций (комбинированная стеклопластиковая труба и

крыльчатка вентилятора из полипропилена) в эксплуатационном интервале температур.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А.К. Любимов** является известным специалистом в области моделирования композитных материалов, расчета НДС конструкций со сложной структурой; **Л.А. Назарова** является известным специалистом в области разработки методов моделирования полей напряжений и деформаций геомеханических объектов различного масштабного уровня, оценки напряжений и деформационных свойств породных массивов. **Томский государственный архитектурно-строительный университет** известен исследованиями своих сотрудников в области компьютерного моделирования деформации и разрушения гетерогенных сред, исследованиями ударно-волновых явлений в композиционных материалах, работами по исследованию влияния дисперсного армирования на прочностные свойства материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан и реализован способ оценки и наглядного представления распределения вероятности безотказной работы по конструкции в виде соответствующих полей на основе сопоставления параметров НДС с экспериментальными данными о предельных прочностных характеристиках материала. Впервые *разработан* подход, объединяющий в рамках единых исследований решение задач конструирования материала с оценкой надежности изготовленного из него изделия. *Развит* подход к определению деформационно-прочностных и теплофизических свойств дисперсно-наполненных и вспененных полимерных композиций на основе анализа представительного объема в двумерной и трехмерной постановках;

получены результаты двумерного и трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния представительного объема для определения эффективных статистических деформационно-прочностных характеристик дисперсно-наполненных композиций, когда применение армирующих включений приводит к повышению модуля упругости композиции в одних случаях или к его снижению в других;

установлено, что эффективный модуль упругости эпоксиполимерных композиций для разных степеней наполнения пылевидным кварцевым песком отличается от экспериментальных данных не более чем на 13% для двумерной модели и не более чем на 7% для трехмерной модели. Предел прочности отличается от экспериментальных данных не более чем на 11% для двумерной модели и не более, чем на 2% для трехмерной модели. Эффективный модуль упругости композиции полипропилена для разных степеней наполнения бутылкаучуком от экспериментальных данных не более чем на 11% для двумерной модели и не более чем на 2% для трехмерной модели. Предел текучести отличается от экспериментальных данных не более чем на 15%;

получены результаты двумерного и трехмерного моделирования теплофизических процессов в представительном объеме для исследования влияния пористости на коэффициент теплопроводности вспененной композиции;

установлено, что эффективные коэффициенты теплопроводности вспененного полиэтилена с различной степенью наполнения от 10 до 90%, полученные с использованием двумерных и трехмерных моделей с различным количеством воздушных включений, а также с их случайным и упорядоченным взаиморасположением, отличаются не более чем на 15%.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

в работе получены результаты, которые вносят вклад в развитие методов численного решения краевых задач механики деформируемого твердого тела, а именно:

разработан и реализован подход к моделированию дисперсно-наполненных композиций на основе двумерных и трехмерных моделей структурно неоднородной среды, позволяющий получить эффективные деформационно-прочностные характеристики этих композиций;

получены закономерности влияния степени наполнения на эффективные деформационно-прочностные характеристики ПКМ и пористости вспененной композиции на коэффициент теплопроводности;

разработан метод определения надежности изделий из композиционных материалов, основанный на использовании статистически достоверных характеристик материалов, полученных экспериментальным и расчетным путем,

позволяющий оценивать уровень надежности изделий как в отдельных точках, так и по всему объему в целом.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики:

разработаны методы и модели, которые могут быть использованы при решении задач прогнозирования эффективных свойств композиций с учетом случайных факторов на основе модели структурно неоднородной среды в двумерной и трехмерной постановке;

разработан метод оценки вероятности безотказной работы многослойных труб, который может использоваться при их проектировании для обеспечения надежности каждого слоя и конструкции в целом, а также применяться для оценки надежности других конструктивно сложных изделий;

разработан метод оценки надежности конструктивно сложных изделий с дальнейшей визуализацией путем построения полей вероятности безотказной работы по сечению или объему изделия по критерию прочности с учетом нелинейного поведения материала.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Разработанные автором подходы и методы могут быть использованы при решении широкого круга задач прогнозирования эффективных статистических деформационно-прочностных и теплофизических характеристик дисперсно-наполненных композиций с учетом случайных факторов, при решении задач определения статистически достоверного массива параметров НДС конструктивно сложных изделий методами вычислительной механики, на основе которого производится оценка надежности изделий.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы для расширенного использования в учреждениях и академических институтах, которые занимаются исследованием полимерных композиционных материалов и конструкций из них, таких как Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (г. Бийск), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), АО «Научно-производственный центр «Полюс» (г. Томск), АО «Информационные спутниковые

системы имени академика М.Ф. Решетнева» (г. Красноярск) и других образовательных и академических организациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для решения задачи *использованы* апробированные методы;

проведена серия тестовых расчетов для оценки корректности результатов решения по определению эффективных деформационно-прочностных характеристик, показавшая хорошее согласование численных результатов с известными решениями.

проведено сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными и опубликованными результатами других исследователей, показавшее хорошее согласование.

Новизна результатов диссертационного исследования заключается в развитии подхода к определению деформационно-прочностных и теплофизических свойств дисперсно-наполненных и вспененных полимерных композиций на основе анализа НДС представительного объема в двумерной и трехмерной постановках. Впервые разработан подход, объединяющий в рамках единых исследований решение задач конструирования материала с оценкой надежности изготовленного из него изделия.

С использованием предложенных моделей *проведены* параметрические исследования, в результате которых получены закономерности влияния степени наполнения на эффективные деформационно-прочностные характеристики ПКМ и пористости вспененной композиции на коэффициент теплопроводности.

Полученный статистически достоверный массив параметров НДС конструктивно сложных изделий с учетом разброса свойств материалов, температурных полей и изменяющейся нагрузки позволяет выполнять оценку надежности изделий.

Разработан метод оценки и наглядного представления распределения вероятности безотказной работы по конструкции в виде соответствующих полей на основе сопоставления параметров НДС с экспериментальными данными о предельных прочностных характеристиках материала.

Личный вклад автора заключается в: выполнении всех исследований, отраженных в работе, активном участии в подготовке основных публикаций по теме диссертации.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, согласно пункту 9, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи компьютерного моделирования физико-механических свойств полимерных композиционных материалов с учетом случайных факторов, характеризующих свойства фаз и их распределение, и в развитии методов прогнозирования надежности конструкций по критерию прочности, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела.

На заседании 29.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Реутову Ю.А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Христенко Юрий Федорович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Пикущак Елизавета Владимировна

29 декабря 2016 г.