

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 212.092.07 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 2 апреля 2021 года № 1 _____

о присуждении Любимовой Ольге Николаевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Стеклометаллокомпозит: механические свойства, структурные механизмы деформации при повышенных температурах, моделирование процессов формирования структуры и свойств» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела принята к защите 22 декабря 2020 г., протокол № 4, диссертационным советом Д 212.092.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, приказ Минобрнауки России от 24 июня 2016 г. № 787/нк.

Соискатель Любимова Ольга Николаевна, 1975 года рождения, в 1997 году закончила Дальневосточный государственный университет с присуждением квалификации «Математик. Преподаватель по специальности «Математика»», в 2004 г. защитила кандидатскую диссертацию по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела с присуждением степени кандидата физико-математических наук, в 2006 году присвоено ученое звание доцента по кафедре прикладной математики и механики, с 1997-2003 гг. работала в должности ассистента кафедры прикладной математики и механики Естественного института Дальневосточного технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева), с 2003- 2004 гг. работала в должности старшего преподавателя кафедры прикладной математики и механики Естественного института Дальневосточного технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева), с 2004 - 2011 гг. работала в должности доцента кафедры прикладной математики и механики Естественного института Дальневосточного технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева); 2011 - 2013 гг. в должности доцента кафедры алгебры, геометрии и анализа Школы естественных наук ДВФУ; 2013 - 01.09.2020 гг. в должности профессора кафедры механики и

математического моделирования Инженерной школы ДВФУ; с 01.09.2020 г. по настоящее время в должности профессора отделения машиностроения, судового транспорта и технологий Инженерного департамента Политехнического института (школы) ДВФУ.

Диссертация выполнена в Отделении машиностроения, морской техники и транспорта Инженерного департамента Политехнического института (школы) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет».

Научный консультант – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор Буренин Анатолий Александрович, главный научный сотрудник Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМИМ ДВО РАН) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

Официальные оппоненты:

Захаров Игорь Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград;

Князева Анна Георгиевна, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск;

Сенашов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой информационных экономических систем ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. Академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург – в своём положительном заключении, подписанном Индейцевым Дмитрием Анатольевичем, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором, научным руководителем ФГБУН Института проблем машиноведения РАН и утверждённом Полянским Владимиром Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, директором ФГБУН Института проблем машиноведения РАН, указала, что диссертационная работа О.Н. Любимовой вносит огромный вклад в решение целого ряда междисциплинарных проблем (физика, химия, механика) в части обоснования и выбора оптимальных параметров технологических циклов

при создании стеклометаллокомпозита. Предложенные математические модели позволяют описывать более сложные процессы чем ранее известные, происходящие на границе стекла-металла при температурных воздействиях.

Диссертация О.Н. Любимовой является завершённым научным исследованием, выполненном на высоком научно-методическом уровне, полностью соответствует специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела», - и имеет огромное практическое и научное значение.

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Любимова Ольга Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Соискатель имеет более 34 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 17 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 10 – в изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus, 4- патента РФ, 2-монографии и 1- учебное пособие.

Наиболее значимые работы:

1. Любимова, О.Н. Метод расчета эволюции напряжений в стеклометаллокомпозите с учетом структурных и механических релаксационных процессов/ О.Н. Любимова, М.А. Барботько // Вычислительная механика сплошных сред. -2019. - Т. 12. - № 2. - С. 215-229.
2. Пестов, К.Н. Об одном численном методе решения задач типа Стефана/ К.Н. Пестов, О.Н. Любимова, М.В. Останин// Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. - 2019. - № 3 (41). - С. 51-60.
3. Буренин А.А. Релаксация напряжений в цилиндрических спаях стекла с металлом с учетом качества зоны соединения /А.А. Буренин, О.Н. Любимова, Э.П. Солоненко//прикладная механика и техническая физика.-2018- Т. 59. - № 6. - С. 155-164. (Burenin, A.A. Stress relaxation in cylindrical glass-to-metal junctions with account for the quality of a junction region/ A. A. Burenin, O.N. Lyubimova, E. P. Solonenko// Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. - 2018. - Т. 59. - № 6. - P. 1095-1103)
4. Любимова, О.Н. Моделирование размера диффузионной зоны при изменении условий режима изготовления стеклометаллокомпозита/О.Н. Любимова, А.В. Морковин, В.В. Сиськов// Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. - 2018. - № 1 (34). - С. 11-22.

5. Любимова О.Н. Моделирование параметров температурного режима при изготовлении стеклометаллокомпозита/ О.Н. Любимова, С.А. Дрюк//Теплофизика и аэромеханика.-2017.-Т.24.-№1.-С. 127-135. (Lyubimova O.N., Dryuk S.A. Simulation parameters of temperature in the process of manufacturing a glass-metal composite // Thermophysics and Aeromechanics. - 2017. - Т. 24. - № 1. - P. 125-133)
6. Любимова, О.Н. Особенности структуры зоны соединения стекла и стали в технологии получения стеклометаллокомпозита/ О. Н. Любимова, А.В. Морковин, С.А. Дрюк // Материаловедение. - 2017. - № 4. - С. 3-7.
7. Любимова, О.Н. Моделирование поведения несогласованного спая стекла с металлом с учетом свойств зоны соединения/ О. Н. Любимова, Э.П. Солоненко// Физическая мезомеханика. - 2016. - Т. 19. № 2. - С. 114-120.
8. Любимова, О.Н. Математическое моделирование процесса получения цилиндрических спаев стекла с металлом/ С.А. Дрюк, О.Н. Любимова// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т. 18. - № 1-2. - С. 197-200.
9. Любимова О.Н. Математическое моделирование процесса теплообмена в слоистых материалах с учетом фазовых превращений в отдельных слоях/ О.Н. Любимова, К.Н. Пестов//Теплофизика и аэромеханика.-2015.-Т. 22.-№4.-С.511-519. (Lyubimova, O.N. Mathematical modelling of heat transfer process in layered materials accounting for phase transitions in individual layers/ O.N. Lyubimova, K.N. Pestov// Thermophysics and Aeromechanics. - 2015. - Т. 22. - № 4. - P. 491-499)
10. Любимова, О.Н. Термические напряжения в стеклометаллокомпозитном стержне с учетом свойств зоны соединения/ О. Н. Любимова, А.В. Морковин, Э.П. Солоненко// Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. - 2015. - № 3 (25). - С. 131-137.
11. Любимова, О.Н. Метод определения термических напряжений в процессе сварки разнородных материалов/ О. Н. Любимова, А.В. Морковин, К.Н. Пестов// Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. - 2013. - № 2 (16). - С. 99-105.
12. Гридасова, Е.А. Исследование поведения стеклометаллокомпозитного стержня при испытании на осевое сжатие/ Е.А. Гридасова, О.Н. Любимова, Н.Е. Путырин// Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. - 2013. - № 2 (16). - С. 90-98.
13. Гридасова, Е.А. Практические результаты создания стеклометаллокомпозитного стержня/ Е.А. Гридасова, О.Н. Любимова // Вестник МГСУ. - 2012. - № 7. - С. 136-140.

14. Любимова, О.Н. Математическое моделирование теплового процесса диффузионной сварки стекла с металлом/ О.Н. Любимова, К.Н. Пестов, Е.А. Гридасова// Сибирский журнал индустриальной математики. - 2010. - Т. 13. - № 4 (44). - С. 52-63.
15. Любимова, О.Н. Метод упрочнения стекла при его диффузионной сварке с металлом/ О.Н. Любимова, Е.А. Гридасова // Сварка и диагностика. - 2010. - № 6. - С. 38-42.
16. Любимова, О.Н. Численное решение задачи о проплавлении металлического слоя при сварке плавлением стекла и металла/ О.Н. Любимова, К.Н. Пестов, Е.А. Гридасова // Вычислительная механика сплошных сред. - 2010. - Т. 3. - № 1. - С. 63-72.
17. Любимова, О.Н. К вопросу упрочнения стекла методом диффузионной сварки с металлом/ О.Н. Любимова, К.Н. Пестов, Е.А. Гридасова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. - 2010. - № 2 (8). - С. 318-325.
18. Любимова О.Н., Любимов Е.В., Лапо Е.Г., Мартыненко А.В., Морковин А.В. Термическая печь // Патент на изобретение RU 2604083 С1, 10.12.2016.
19. Любимова О.Н., Любимов Е.В., Гридасова Е.А., Никифоров П.А. Способ изготовления стеклометаллокомпозитного стержня // Патент на изобретение RU 2555982 С1, 10.07.2015.
20. Гридасова Е.А., Любимова О.Н., Пестов К.Н., Каяк Г.Л. Способ изготовления стеклометаллокомпозита // Патент на изобретение RU 2428388 С1, 10.09.2011.
21. Гридасова Е.А., Любимова О.Н., Пестов К.Н., Каяк Г.Л. Способ изготовления стеклометаллокомпозита // Патент на изобретение RU 2428389 С1, 10.09.2011.
22. Любимова, О. Н. Термические напряжения в слоистых стекло-металлических композитах: монография/ О. Н. Любимова, Э.П. Солоненко; Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т.- 2019. –89 с.
23. Любимова, О. Н. Метод расчета термоупругих напряжений для оболочек из стеклометаллокомпозита: монография / О.Н. Любимова; Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток: Издат. Дом ДВФУ, 2012. – 90 с.
24. Любимова, О.Н. Исследование стеклометаллокомпозита с помощью методов микроскопического и микрорентгеноспектрального анализа: учебное пособие для вузов/ О.Н. Любимова, В.В. Андреев, А.В. Морковин; Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2020. -48 с.
25. Lyubimova, O.N. The characteristics of the structure of the glass-steel junction zone in the technology of obtaining glass-metal composite/ O.N. Lyubimova, A.V. Morkovin, S.A. Dryuk // Materials Science. - 2017. - P. 379-382.

26. Lyubimova, O.N. Modeling of the kinetics of diffusion processes in the formation of a junction glass-steel/ O.N. Lyubimova, A.V. Morkovin, V.V. Andreev// Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Т. 894. - № 1. - P. 12 -55.
27. Lyubimova, O. Characterisation of the mechanical and corrosive properties of newly developed glass-steel composites/ O. Lyubimova, E. Gridasova, A. Gridasov, G. Frieling, M. Klein, F. Walther // Materials in Technologies. - 2016. - Т. 50. - № 1. - P. 95-100.
28. Lyubimova, O.N. Thermo-mechanical relaxation of stresses in a glass-metal junction/ O.N. Lyubimova, E.P. Solonenko// Journal of Physics: Conference Series. - 2016. - Т. 754. - P. 82 -102. - № 8.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГБУН Институт проблем машиноведения имеет основные замечания:

представляется, что проблема контактного взаимодействия с учетом диффузии, смена фаз, изменения самих коэффициентов и т.д. могла быть сведена в одном месте, а решение ее производилось бы с постепенном уточнении, добавлении необходимых параметров, учетом иных явлений. Иначе говоря, материал излишне разбросан и чтение его весьма затруднительно.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Захарова И.Н. имеет основные замечания:

1. В разделе 2.1 рассматривается моделирование механических характеристик бетона, армированного СМК стержнями. При этом используется идея представительного объёма (в виде бетонного кубика 100×100 мм, армированного одним или двумя такими стержнями Ø20 мм), эффективные упругие характеристики которого устанавливаются из численных экспериментов с использованием системы конечно-элементного анализа Ansys. Работоспособность этого подхода проверяется из сопоставления величин разрушающих нагрузок, найденных из натуральных экспериментов с модельными балкой и плитой, армированных одним и четырьмя стержнями соответственно, и расчётным путём в *Ansys* для балки и плиты, составленных из представительных элементов с эффективными модулями.

Стоит ли ожидать, что материал, наделённый той же жёсткостью (в упругой области), что и рассматриваемый композит, будет обладать близкими ему прочностными характеристиками?

Какой критерий прочности использовался при оценке прочности материала представительных элементов? Насколько он эффективен для оценки разрушения композиции «бетон — СМК-арматура»?

Кажется, что в данном случае (как и в работе в целом) потенциал современных вычислительных систем (типа *Ansys*) был использован недостаточно полно. Более рациональным видится создание средствами *Ansys* полноценных (без отсылки к мезомеханике) моделей балок и плит, армированных СМК и стальными стержнями, их отладка и верификация на серии натуральных экспериментов, и дальнейшее использование для расчётного исследования влияния параметров и особенностей СМК-арматуры (толщина и прочность стальной оболочки, проскальзывание слоёв, остаточные напряжения, наличие оребрения на поверхности и т.д.) на прочность конструктивных элементов. Интересным было бы и построение на этой основе эффективного критерия прочности для таких материалов.

2. В разделе 4.1.2 автором разрабатывается оригинальная модель теплопроводности в многослойном теле с учётом тепловыделения при фазовом переходе в процессе плавления / кристаллизации материала одного (или нескольких) из слоёв. Для отыскания функции, характеризующей удельное количество теплоты при фазовом превращении, в точке перехода записывается квазистационарное уравнение теплопроводности с дополнительным источником тепла, определяемым этой функцией.

Какому объёму соответствует это удельное тепло, если граница фазового перехода «острая»? Насколько такой подход соответствует «физике» процесса? Может ли он быть получен из термодинамических соотношений, рассмотренных автором в разделе 5.2 применительно к процессам стеклования? Почему не использовался единый энтальпийный (как в 5.2) подход к описанию подобных явлений (что тем более актуально, например, при одновременном оплавлении металлического и стеклянного слоя)?

3. В уравнениях теплопроводности для жидкой фазы отсутствуют слагаемые, учитывающие скорости движения расплава. Расплав считается неподвижным? Насколько это допущение критично (например, при описании процессов получения СМК центрифугированием)?

4. В некоторых разделах (4.1.2, 5.4) автором используется приём автоматизированного измельчения шага конечно-разностной сетки по времени для уточнения момента фазового превращения. Предусмотрены ли процедуры контроля избыточного измельчения шага по времени, закливания, накопления погрешности округления, например, в случаях, когда превращения последовательно начинаются в

нарастающем числе соседних точек тела? Как согласуются в таком случае шаги конечно-разностных сеток при последовательном решении рассматриваемых в диссертации задач (тепловой, диффузионной, термо-механической)?

5. При конечно-разностном решении задачи о расчёте НДС в слоистом композите при плавлении одной из компонент на границе жидкой и твёрдой фазы возникает интересная ситуация, когда одному и тому же узлу разностной сетки соответствуют разные состояния материала: жидкое с одной стороны, твёрдое — с другой и переходное — в самом узле. В диссертации не показано, как в таких узлах записываются конечно-разностные представления граничных условий, например, по совместности напряжений, и как, в рамках этого метода, отыскиваются неизвестные значения этих напряжений.

6. Несмотря на богатый экспериментальный материал, полученный в диссертации, в работе крайне скромно представлен сопоставительный верификационный анализ результатов, полученных при помощи разработанных в диссертации методов, с опытными данными и аналогичными расчетами на основе альтернативных подходов — аналитических и численных решений тестовых задач, литературных данных и т.д. Например, работоспособность ключевых моделей теплопроводности, напряженно-деформированного состояния СМК, а также достоверность картин остаточных напряжений подобным анализом не подкрепляются.

7. Работа не лишена ряда технических недостатков — по тексту встречаются опечатки, неточности в нумерации формул, рисунков, литературных источников. Например, в формулах (5.31), (5.39) неверно записаны неравенства, определяющие состояние стеклянного слоя, в таблицах 2.1, 2.2 — путаница с размерностью деформаций $\square l$, а на рисунках 2.4–2.8 — с размерностью сосредоточенной силы P .

Отзыв на диссертацию официального оппонента Князевой А.Г. имеет основные замечания:

1. Недостаточен анализ современной англоязычной литературы по теме исследования.
2. Проблема соединения разнородных материалов, в том числе, керамик со сталями, известны и далеко не решена. Например, в 2000-е годы в литературе большое внимание уделялось разработке соединений кубического нитрида бора со сталями и сплавами. В некоторых случаях проблема решалась выбором подходящих припоев, содержащих элементы, способствующие формированию диффузионных слоев. Хотелось бы видеть, в чем состоит отличие проблемы с той, которая обсуждается в работе.
3. Математическому моделированию процесса отжига и расчету сопутствующих остаточных напряжений посвящено достаточно много работ. Часто для оценки напряжений

используются сопряженные задачи термоупругости, примеры которых содержатся в [В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, В.В. Калашников Аналитические решения задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций: учеб. Пособие для вузов.-М.: Высш. Шк., 2005-430 с.: ил]. Полезно было бы сравнить выводы о характере напряжений, следующие из простых моделей, и из моделей, учитывающих неупругие деформации.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Сенашова С.И. имеет основные замечания:

1. В работе экспериментально изучается структура зоны соединения, но не приводятся сведения об адгезионной прочности соединения стекла с металлом, этот параметр должен влиять на механические характеристики нового материала.

2. Прочность стекла, определяется как технологическими и остаточными напряжениями, так и микродефектами, возможно на оценку конечных характеристик стекломаталлокомпозита большее значение имел бы учет поврежденности стеклянных слоев.

3. В главах 3,4 приведены таблицы интересных экспериментов, проведенных автором, но там, к сожалению, не всегда указывается количество испытанных образцов. Имеются замечания и к линиям регрессии, где нет величины стандартной ошибки коэффициентов. На графиках 4.33, 4. 34 явно видна «сезонная составляющая», накладываемая на прямую линию тренда, но она не выявлена.

4. Не понятно отсутствие конвективных членов, например, в уравнениях (6.7), (6.33), хотя компоненты вектора деформации зависят от времени (6.32).

5. В работе имеются опечатки.

Отзыв на автореферат Пенькова Виктора Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры общей механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» содержит замечание:

К автору диссертации возникли некоторые вопросы познавательного характера.

1. На рис.3 (с.12) приведены диаграммы растяжения и сжатия образцов из СМК. Явно просматривается разносопротивляемость («разномодульность») среды в отношении характера нагружения. Не решались ли автором какие-либо задачи, в которых эти аспекты проявляются одновременно?

2. На с.11 говорится об оптимизаций технологических режимов на основе использования результатов исследований (2 абз. сн.). К сожалению, смысл критерия оптимизации не конкретизирован.

Отзыв на автореферат Кургузова Владимира Дмитриевича, доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории механики разрушения материалов и конструкций Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН содержит следующие замечания:

1. Стр.5, п.4. Механизм разрушения - это хрупкое, вязкое, разрушение сколом, сдвигом. Одноосное растяжение/сжатие, изгиб и многоцикловая усталость относятся к условиям испытания?

2. Стр.12, механические испытания. Размеры образцов смущают, очень короткие- 10 см, что вызывает сомнение в достоверности полученных результатов. Например, при одноосном растяжении, не говоря уже о трехточечном изгибе, 3 см захваты с той и другой стороны, на рабочую часть остается 4 см? А что говорит ГОСТ о размерах образцов и условиях испытаний?

Отзыв на автореферат Ревуженко Александра Филлиповича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред и Лаврикова Сергея Владимировича доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат Чернышова Александра Даниловича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высшей математики и информационных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» содержит замечание:

Для теоретического описания рассматриваемого процесса стеклования в диссертации предлагается нелинейная нестационарная интегро-дифференциальная система. При получении приближенного решения применяется конечно-разностный метод. Создается временная и геометрическая сетка и, естественно, возникает недостаток из-за рассогласовки сеток, что порождает погрешность, кроме того, система получается неортогональной и трудоемкой при применении ЭВМ, что в свою очередь увеличивает погрешность. Для реализации приближенной модели в диссертации делается ряд упрощающих

предположений, каждое из которых отдаляет теоретическую модель от реальной и также увеличивают погрешность. Тем не менее, в диссертации написано, что погрешность расхождения теоретических и экспериментальных расчетов составляет 3-7%. Однако экспериментальные данные на Рис. 9 б, в, где наблюдается разброс экспериментальных точек, не позволяют согласиться с такой оценкой погрешности. Здесь не стоит придавать особо важное значение данному обстоятельству, так как подавляющее число исследований делаются именно такими же подходами. В этой связи следовало бы использовать метод быстрых разложений. Этот метод значительно превосходит все ранее известные методы и обладает уникальными качествами.

Отзыв на автореферат Багмутова Вячеслава Петровича, доктора технических наук, профессора, академика Академии инженерных наук РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, профессора кафедры сопротивления материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» содержит следующие замечания:

1. К сожалению, при обосновании актуальности исследований в автореферате не отражена связь СМК с насущными задачами современной техники. Кроме того, вероятно также из-за ограниченности объема автореферата, не приведены результаты исследований, если они имели место, связанности задач формирования свойств СМК в процессах его изготовления.

Отзыв на автореферат Козлова Владимира Анатольевича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой строительной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» содержит следующие замечания:

1. В заключении пункты 1-3 слишком детализированы, а некоторые пункты 4-11 можно было объединить, т.к. обычно количество пунктов научной новизны коррелирует с количеством пунктов основных результатов выполненной работы.

Отзыв на автореферат Артемова Михаила Анатольевича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой программного обеспечения и администрирования информационных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Воронежский государственный университет не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат Степановой Ларисы Валентиновны, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой математического моделирования в механике Федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева содержит замечания:

1. В автореферате допущены многочисленные опечатки. Например, на стр. 16: опечатка допущена в фамилии: Арутюнян Н.Х., а на стр. 6 также допущена опечатка в фамилии: в последнем абзаце следует читать «с Морковиным А.В.», на стр.21: в формуле (4) пропущена скобка. Список опечаток может быть продолжен. Многочисленные опечатки и неточности мешают восприятию содержания автореферата и сути выполненной работы.

2. В автореферате избыточны обороты «исследования по методам» (например, стр. 7) «исследования по расширению», «исследования по существующим технологиям», «исследования по получению». Почему на стр. 7 не написать простую фразу «В первой главе выполнен краткий обзор методов повышения прочностных характеристик стекла и существующих технологий изготовления стеклометаллокомпозита» вместо несколько «корявой» фразы «выполнен краткий обзор по методам и по технологиям». Например, на стр. 11 оборот «исследование по расширению диапазона стекол...» может быть заменен на фразу «исследование расширения диапазона стекол...» или «в целях расширения диапазона используемых стекол были проведены исследования...»

3. Присутствуют неточности: например, на стр. 15 фразу «В следующих главах предложены “математические модели и методы их решения» следует заменить на фразу «В следующих главах предложены математические модели и методы решения краевых задач, сформулированных на основе данных математических моделей». На мой взгляд, мы не решаем математические модели (математические модели формулируют, создают, уточняют, но не решают), мы решаем краевые задачи. В автореферате много и других стилистических неточностей. Например, в разделе Методология и методы исследования (стр.6) мы видим три предложения: в первом и третьем есть подлежащее и сказуемое, а во втором - нет.

4. В разделе научная новизна работы на стр. 4 автор указывает новые результаты, полученные в работе: «получен новый конструкционный материал — СМК стержень». Стержень это не материал, это форма образца или элемента конструкции. Формулировка вывода не является точной. Стержень не является материалом.

5. Термин «концентрационная нагрузка» на стр. 6 должен быть пояснен. Автор данный термин используется только на стр. 6 и более он нигде не появляется и не обсуждается.

6. Насколько существенна гипотеза об изотропном материале после всех деформациях, которым подвергается материал (стекло и металл) при создании композита? Автор отмечает, что стеклометаллокомпозит создается методами высокой температурной обработки, также автор

выносит на защиту комбинированные методы литья и пайки. Не приводят ли эти технологические операции к существенной анизотропии свойств материала?

7. Можно было бы привести в автореферате сравнение экспериментальных результатов и результатов конечно-элементного моделирования. Так, например, на стр.11 автор пишет о моделировании в ANSYS и указывает, что области с выявленными максимальными интенсивностями напряжений отвечают экспериментальным областям с дефектами. Было бы интересным увидеть такие сравнения. В этом, на мой взгляд, и есть основная цель конечно-элементного моделирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны принципиально новые подходы к постановке и решению задач термомеханики, моделирующих предложенный способ производства стеклометаллокомпозитных стержней - конструктивных элементов в форме стержней с металлической оболочкой, наполненной стеклом;

получены впервые решения комплекса краевых задач о взаимном деформировании материалов в процессе соединения стекла с металлом в условиях стеклования с учетом фазовых превращений, упругих, вязких и пластических свойств материалов, диффузии и структурных изменений при повышенных и изменяющихся температурах;

указаны новые сведения о физико-химических процессах, протекающих в зоне соединения «стекло-сталь» при температурах близких и превышающих температуру стеклования; об изменениях в результате предварительной дополнительной обработки соединяемых поверхностей;

предложены методы и алгоритмы расчетов уровней и распределений температурных напряжений в упругопластическом материале оболочки и вязкоупругом стеклющемся наполнителе, включая релаксацию напряжений при остывании и выдержке; серией направленных экспериментов **установлены** функциональные свойства созданного элемента конструкций, включающие в себя прочность при разных условиях испытаний, термо- и коррозионную стойкость, упрочнение стекла в составе композитного стержня.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

средствами механики деформируемых тел экспериментально и численными расчетами **доказана** возможность соединения стекла с металлом в рамках композитного стержня с достаточным для этого упрочнением стекла, возможность сформировать в композитном конструкционном элементе требуемый уровень и распределение итоговых напряжений;

изложены особенности постановок комплексных задач термомеханики деформирования со сложным взаимодействием деформирующихся материалов на поверхности их соединения, структурных и фазовых превращений в них; упругопластического деформирования материала оболочки при учете изменения предела текучести с температурой при значительных изменениях в последней;

установлены закономерности формирования функциональных свойств стеклометаллокомпозита, созданного на основе стекла и стали за счет управления параметрами термообработки.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы традиционные экспериментальные методы, техника и приборы для построения графиков и таблиц о прочностных и деформационных параметрах на основе испытаний конструкционного элемента стеклометаллокомпозита, полученного указанным способом.

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

Создан конструкционный элемент в форме стержня на основе неорганического стекла (С49.1; СН-1) и стали (СтЗсп, стали 10). Проведено комплексное исследование функциональных свойств данного элемента конструкций;

определены перспективы практического использования стеклометаллокомпозитов; с указанием их механических свойств, с построением условных диаграмм поведения стержней при разных условиях механических испытаний;

сформированы и **представлены** предложения по использованию стеклометаллокомпозитных стержней в промышленности и строительстве; по способу и режимам их получения при термообработке;

предложены методы постановок задач термомеханики с заданием краевых условий

на поверхностях соединения стекла с металлом, с необратимым деформированием соединяемых материалов и выраженных температурных зависимостей их прочностных и деформационных параметров; оригинальные методы расчетов механических параметров процессов в любой рассматриваемый момент времени при разных распределениях изменяющейся температуры по конструкционному элементу.

Оценка достоверности результатов выявила:

теория построена с использованием классических подходов механики сплошных сред и неравновесной термодинамики;

идея базируется на классическом методе повышения прочности стекла за счет получения сжимающих напряжений в поверхностных слоях при охлаждении от высоковязкого расплава; представлениях кинетической релаксационной теории стеклования и обобщении классических результатов определения напряжённо-деформированного состояния материалов со сложными реологическими свойствами;

представлены впервые комплексные исследования по изучению физических основ формирования и моделирования нового конструкционного элемента на основе стекла и металла;

для расчетов **использованы** классические численные методы;

при проведении экспериментальных исследований **использованы** стандартные методы исследований в механике материалов.

Личный вклад соискателя заключается в постановке краевых задач термомеханики, разработке методов их решений и решений конкретных задач; в предложении метода получения нового конструкционного элемента на основе стекла и металла, также в планировании, проведении и анализе экспериментальных исследований параметров и способа получения и изучения его свойств.

Заключение:

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 2 апреля 2021 г. диссертационный совет Д 212.092.07 принял решение присудить Любимовой Ольге Николаевне учёную степень доктора физико-математических

