

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Зверев Николай Андреевич

Тема диссертации: «Моделирование одномерных нестационарных механо-диффузионных процессов в многокомпонентных цилиндрических телах»

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 25 октября 2023 года, протокол 15, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Зверева Н.А. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Зверева Н.А. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 25 октября 2023 года, протокол 15, диссертационный совет принял решение присудить Звереву Н.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместители председателя диссертационного совета Земсков А.В., Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Булычев Н.А., Дмитриев В.Г., Солдатенков И.А., Кузнецова Е.Л., Меркурьев И.В., Миронова Л.И., Рабинский Л.Н., Федотенков Г.В., Вестяк В.А.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
Т.А. АНИКИНА

Сердюк Д.О.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07, СОЗДАНОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «25» октября 2023 г. № 15

О присуждении Звереву Николаю Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование одномерных нестационарных механо-диффузионных процессов в многокомпонентных цилиндрических телах» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «03» июля 2023 г., протокол № 14, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Зверев Николай Андреевич, 09 августа 1995 года рождения, в 2019 г. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Прикладная механика». В 2023 году Зверев Николай Андреевич окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Работает ассистентом и младшим научным сотрудником в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Сопротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент **Земсков Андрей Владимирович**, профессор кафедры «Прикладные программные средства и математические методы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Келлер Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела «Института механики сплошных сред Уральского отделения РАН» – филиала ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН («ИМСС УрО РАН»),

Ломовской Виктор Андреевич, главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Структурообразование в дисперсных системах» Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской Академии Наук, Москва, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный технический университет**» им. Н.Э. Баумана, г. Москва в своем положительном отзыве, подписанным доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой «Вычислительная механика и математическая физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет» им. Н.Э. Баумана **Димитриенко Юрием Ивановичем** и утверждённым доктором экономических наук, проректором по науке и цифровому развитию федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет» им. Н.Э. Баумана Дрогозовом Павлом Анатольевичем указала, что диссертация Зверева Николая Андреевича представляет собой завершённую квалификационную работу, в которой содержится решение ряда новых одномерных нестационарных полярно-симметричных задач механодиффузии для цилиндрических тел, имеющих важное значение для развития механики деформируемого твёрдого тела. Диссертация соответствует всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а её автор, Зверев Николай Андреевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 41 опубликованную работу по теме диссертации, среди которых: 5 научных статей в рецензируемых журналах, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования WoS и SCOPUS, а также 36 научных публикаций, входящих в РИНЦ, из которых 11 статей опубликованы в русскоязычных сборниках трудов всероссийских и международных конференций и 25 – тезисы докладов, сделанных на всероссийских и международных конференциях. Все работы опубликованы в изда-

ниях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Ниже указаны наиболее значимые работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях и журналах из перечня ВАК РФ.

1. Зверев Н.А., Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Нестационарная механодиффузия сплошного ортотропного цилиндра, находящегося под действием равномерного давления, с учетом релаксации диффузионных потоков // *Механика композиционных материалов и конструкций.* – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 570–586.

2. Зверев Н.А., Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Моделирование нестационарных связанных механодиффузионных процессов в изотропном сплошном цилиндре // *Проблемы прочности и пластичности.* – 2020. – Т. 82, № 2. – С. 156–167.

Публикации в журналах, входящих в мировую базу данных научного цитирования Scopus.

3. Зверев Н.А., Земсков А.В. Моделирование нестационарных механодиффузионных процессов в полом цилиндре с учетом релаксации диффузионных потоков // *Математическое моделирование.* – 2023. – Т. 35, № 1. – с. 95–112.

4. Зверев Н.А., Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Нестационарные связанные механодиффузионные процессы в ортотропном сплошном цилиндре с учетом релаксации диффузионных потоков // *Известия высших учебных заведений. Математика.* – 2022. – № 1. – с. 25–37 = Zverev N.A., Zemskov A.V., Tarlakovskii D.V. Unsteady coupled elastic diffusion processes in an orthotropic cylinder taking into account relaxation of diffusion fluxes // *Russian Mathematics.* – 2022. – Vol. 66, No 1. – pp. 19–30.

5. Зверев Н.А., Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Моделирование одномерных механодиффузионных процессов в ортотропном сплошном цилиндре, находящемся под действием нестационарных объемных возмущений //

Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 62–78.

В этих и остальных работах приведены математические постановки одномерных нестационарных полярно-симметричных задач механо диффузии в цилиндрической системе координат, рассмотрены алгоритмы решения таких задач. Вклад в публикации, выполненные в соавторстве, состоит в непосредственном участии в формулировке постановок задач, в разработке методов их исследования и решения, а также в выполнении численных расчетов и их анализе.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы**:

– от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

– от доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией «Механики материалов и конструкций нано- и микротехники» Ширакского государственного университета им. М. Налбандяна, член-корреспондента НАН Армении, заслуженного деятеля науки Армении – Саркисяна Самвела Оганесовича, отзыв положительный;

– от доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории динамических испытаний НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова – Пшеничнова Сергея Геннадьевича, отзыв положительный;

– от кандидата технических наук, заместителя начальника центра прочности ЛА ФАУ «ЦАГИ», начальника отделения статической и тепловой прочности – Дзюбы Александра Сергеевича, отзыв положительный;

– от кандидата технических наук, доцента, заместителя директора по научной работе Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова (МИЭМ НИУ ВШЭ) – Аксенова Сергея Алексеевича, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуаль-

ность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве **ведущей организации** – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет» им. Н.Э. Баумана – имеются следующие **замечания**:

1. В работе учитываются релаксационные диффузионные эффекты на основе модели Максвелла-Каттанео. Эта модель является одной из первых модификаций классических законов Фурье и Фика. Однако современная теория тепломассопереноса строится на более совершенных моделях Лорда-Шульмана, Грина-Линсди, Грина-Нагди и т.д. О них упоминается в обзоре, но в самой работе они почему-то не используются, хотя это существенно добавило бы ей научной новизны.

2. Используемый в работе метод эквивалентных граничных условий предполагает численное решение интегральных уравнений с помощью квадратурных формул. Было бы хорошо дать оценку точности полученных решений.

3. В работе не рассматриваются эффекты, обусловленные теплопереносом, но, тем не менее, постановка задачи содержит начальную температуру среды T_0 , как некий постоянный параметр. Так как скорость диффузии существенно зависит от температуры, то было бы интересно оценить влияние данного параметра на упругодиффузионные процессы в рассматриваемых цилиндрических телах.

Замечания в отзыве **официального оппонента Келлера И.Э.**

1. В разделах 3 и 4 не сказано, сколько членов рядов рассматривалось для представления функций Ψ_{00}, Ψ_{01} и не приведены элементы спектра λ , увидеть которые было бы не лишним для промежуточного контроля.

2. Отметим, что вспомогательная краевая задача в главах 3 и 4, отвечающая условию $c_{12} = 1$, соответствует несжимаемому телу. Данный предель-

ный случай также представляет интерес с точки зрения протекания диффузионных процессов в подобных условиях. Какими качественными особенностями эти процессы обладают?

3. Можно ли убедиться, что профили возмущений концентрации любой диффундирующей компоненты на рисунках глав 3 и 4 удовлетворяют закону ее сохранения (в теле и окружающем пространстве)? Это могло бы помочь апостериорному контролю корректности полученных решений.

4. В главах 3 и 4 не хватает систематичности исследования особенностей протекания нестационарных процессов на различных пространственных и временных масштабах. Было бы целесообразно изучить поведение решений в ответ на начальный П-образный импульс фиксированной мощности, но с различными значениями амплитуды и длительности, на различных масштабах координаты. Вероятно, полученные решения не приспособлены для воспроизведения решения в широком диапазоне изменений временной и пространственной координат, для чего целесообразно использовать функциональные базисы с переменным разрешением. Отметим, что эта особенность характерна именно для связанных процессов диффузии в деформируемом теле, имеющих сильно различающиеся характерные времена.

Замечания в отзыве **официального оппонента Ломовского В.А.**

1. Представленная в работе одномерная модель механодиффузии в цилиндрической системе координат учитывает конечную скорость распространения диффузионных возмущений, обусловленных релаксацией диффузионных потоков, однако не представлена связь рассматриваемых явлений с температурой, хотя именно температура в первую очередь оказывает влияние на время релаксации процесса диффузии дефектных атомов примеси кристаллической решетки исследуемых металлических материалов;

2. Модель рассматривает диффузию точечных одномерных, хотя и различных по величине дефектов – атомов примесей, но система, являясь не монокристаллической, а поликристаллической может иметь линейные дефекты в виде дислокаций, которые могут образовывать облака дефектов, поэто-

му не совсем ясно возможно ли использование модели для этих процессов трансляционной подвижности, т.е. массопереноса;

3. Модель описывает статические режимы внешних деформирующих воздействий, хотя не меньший интерес представляют динамические воздействия различных частот и амплитуд. Значительно ли в этом случае усложнится математический аппарат модели?

В отзывах на автореферат следует отметить следующие критические замечания.

1. Отсутствует сравнение предложенного аналитического метода решения нестационарных задач механодиффузии с известными численными алгоритмами решения подобных задач;
2. В предлагаемой модели механодиффузии рассматриваются только идеальные твердые растворы. Отсутствует анализ адекватности данной модели применительно к описыванию реальных процессов в металлах и сплавах.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области деформирования тонкостенных элементов конструкций. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математические постановки и методы решения новых нестационарных задач механодиффузии для многокомпонентных ортотропных цилиндрических тел;

предложены новые подходы к построению и реализации численно-аналитических алгоритмов решения одномерных нестационарных задач ме-

ханодиффузии, основанные на комбинации метода разделения переменных, метода функций Грина и метода эквивалентных граничных условий;

доказано, что в рамках линейной постановки задач взаимное влияние механических и диффузионных полей, приводящее к возникновению напряженно-деформированного состояния в диффузионной зоне, является малым в начальные моменты времени и усиливается с течением времени.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны правомерность и обоснованность предложенных методов решения одномерных нестационарных задач механодиффузии для ортотропных многокомпонентных цилиндрических тел;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, основанные на использовании метода функций Грина, преобразования Лапласа, разложения решений в ряды Фурье, метода эквивалентных граничных условий;

изложен метод нахождения собственных функций одномерного цилиндрического упругодиффузионного оператора и метод нахождения функций Грина, как основы для реализации комплексного алгоритма для определения напряженно-деформированного состояния цилиндрических тел, находящихся под действием нестационарных нагрузок различной физической природы;

раскрыто существование проблемы возникновения напряженно-деформированного состояния сред и элементов конструкций, работающих в условиях нестационарных многофакторных внешних воздействий;

изучено взаимодействие механического и диффузионного полей в ортотропных многокомпонентных цилиндрических телах, находящихся под действием нестационарных механодиффузионных возмущений;

проведена модернизация алгоритма построения нестационарных функций Грина, обобщена методика их вычисления и расширен класс задач, допускающих построение решения с помощью разложения в ряды по собственным функциям.

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

разработаны численно-аналитические методы решения нового класса одномерных нестационарных задач механодиффузии в цилиндрической системе координат с учётом различных типов нагружения;

определены перспективы практического использования разработанных методов и алгоритмов применительно к решению задач механики деформируемого твёрдого тела, в частности, одномерных нестационарных полярно-симметричных задач механодиффузии для сплошных и полых цилиндрических тел;

созданы новые эффективные алгоритмы решения нестационарных задач механодиффузии для сплошных и полых цилиндрических тел;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию численно-аналитических методов решения одномерных нестационарных задач механодиффузии.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики связанных полей, методы решения математически строги и непротиворечивы, реализованные алгоритмы исследованы на сходимость, приведено сравнение полученных автором решений с решениями классических задач упругости и диффузии;

идея базируется на использовании принципа суперпозиции, метода функций влияния и метода эквивалентных граничных условий для построения разрешающих интегральных уравнений нестационарных задач механодиффузии;

использованы сравнения полученных результатов с результатами других авторов, а также сравнения результатов, полученных с помощью разных методов;

установлено удовлетворительное соответствие полученных результатов результатам других авторов;

использованы современные методы математического моделирования, информационные и компьютерные методы визуализации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит: в разработке математических моделей, численно-аналитических методов и алгоритмов решения одномерных нестационарных полярно-симметричных задач механодиффузии для сплошных и полых цилиндрических тел, находящихся под действием поверхностных и объемных нагрузок; в реализации алгоритмов решения в пакетах символьной математики и в отладке написанных в этих пакетах программ, позволяющих построить и проанализировать решения вышеуказанных задач. Разработаны новые оригинальные подходы к решению задач механодиффузии, выполнено сравнение результатов с известными работами других авторов, а также определены перспективы дальнейшего развития предложенных методов и подходов, выработаны рекомендации по практическому применению полученных результатов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании «25» октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Звереву Николаю Андреевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в

