

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.098.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
МЕХАНИКИ ИМЕНИ А.Ю. ИШЛИНСКОГО РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
ДИГИЛОВА АЛЕКСАНДРА ВЯЧЕСЛАВОВИЧА
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета
от 24 сентября 2026 года, протокол № 7
о присуждении Дигилову Александру
Вячеславовичу, гражданину РФ ученой
степени кандидата физико-
математических наук.

Диссертация «Несовместные деформации в гибких пластинах. Теория и эксперимент» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 18 июня 2026 года, протокол № 4 диссертационным советом 24.1.098.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (119526, Москва, проспект Вернадского, д. 101, к. 1, приказ о создании диссертационного совета № 225/нк от 14.02.2023 г., изменения в составе совета приказ Минобрнауки № 315/нк от 20.04.2026 г.).

Соискатель Дигилов Александр Вячеславович, 24 сентября 1996 года рождения, в 2020 г. окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана по специальности 15.04.03 – «Прикладная механика». Обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук с 2020 по 2024 годы, удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2024 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук. В период подготовки диссертации Дигилов А.В. работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем

механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук в лаборатории Моделирования в механике деформируемого твердого тела, где и работает в настоящее время в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН.

Научный руководитель — доктор физико-математических наук Лычев Сергей Александрович, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, лаборатория моделирования в механике деформируемого твердого тела.

Официальные оппоненты:

Айзикович Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией функционально-градиентных и композиционных материалов (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Донской государственный технический университет);

Фрейдин Александр Борисович, доктор физико-математических наук, руководитель подразделения, главный научный сотрудник лаборатории математических методов механики материалов (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева". В своем положительном заключении, подписанным заведующей кафедрой математического

моделирования в механике, доктором физико-математических наук Степановой Л.В. и доцентом кафедры математического моделирования в механике, кандидатом физико-математических наук Бахеревой Ю.Н., указала, что результаты диссертации ориентированы на прямое применение в промышленности и научных разработках. Предложенные модели позволяют учитывать эффекты, обусловленные полем несовместных деформаций, возникающих в тонкоплёночных структурах на этапе их изготовления и проявляющихся в виде самонапряжённого состояния, модифицирующего упругий отклик элемента, что помогает на этапе расчета более точно прогнозировать жесткость и прогибы мембран, что, в свою очередь, критично для датчиков давления, акселерометров и оптических элементов. Без учета этих факторов готовые устройства могут показывать характеристики, отличающиеся от расчетных. Разработанные редуцированные математические модели и алгоритмы позволяют проводить расчеты быстрее и с меньшими затратами, чем при использовании тяжелого трехмерного конечно-элементного моделирования (МКЭ).

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 8 научных работ, изданных в периодических научных изданиях, сборниках материалов и тезисах докладов международных и всероссийских конференций, в том числе 4 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций и удовлетворяют критериям, изложенным в Рекомендациях ВАК РФ от 7 июля 2023 г.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Deformations of Single-Crystal Silicon Circular Plate: Theory and Experiment / Lychev S., Digilov A., Demin G. et al. // Symmetry. - 2024. - Vol. 16, no. 2. - P. 137.
2. Incompatible Deformations in Hyperelastic Plates / Lychev S., Digilov A., Beshpalov V., Djuzhev N. // Mathematics. — 2024. — Vol. 12, no. 4. — P. 596.

3. Lychev S., Digilov A., Djuzhev N. Galerkin-Type Solution of the Foppl von Karman Equations for Square Plates // Symmetry. — 2024. — Vol. 17, no. 1. — P. 32.

4. Lychev S., Digilov A. A Robust Skeletonization Method for High-Density Fringe Patterns in Holographic Interferometry Based on Parametric Modeling and Strip Integration // J. Imaging. — 2026. — Vol. 12, no. 2. — P. 54.

В работе [1] автором было проведено численно-аналитическое исследование изгиба защемленной гибкой пластины. Был построен итерационный алгоритм решения и предложен метод его регуляризации. В работе [2] представлен вывод уравнений поля и законов сохранения, учитывающих распределенные поля несовместных деформаций. Вывод приведен для классического трехмерного континуума и микроморфной упругой среды. В работе [3] представлено решение методом Галеркина задачи об изгибе защемленной прямоугольной пластины в двух постановках – с упрощенными и полными краевыми условиями. Проведена валидация полученного решения сравнением с результатами экспериментального исследования. Работа [4] направлена на совершенствование техники эксперимента. В ней предложен алгоритм автоматизированной идентификации линий интерференционного узора, получаемых на цифровом изображении при исследовании изгиба тонких пластин методом голографической интерферометрии.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

- д.ф.-м.н., заведующей кафедрой математического моделирования в механике, Степановой Л.В. и к.ф.-м.н., доцента кафедры математического моделирования в механике Бахеревой Ю.Н., которые наряду с положительным отзывом сделали следующие замечания: 1. Эксперименты проведены только на двух типах образцов (квадратная медная пластина 6х6 см и круглая алюминиевая мембрана диаметром 1 мм). Для полной валидации хотелось бы видеть большее число материалов и геометрий (например, прямоугольные мембраны, кантилеверы). Отклонения для круглой мембраны объясняются предварительным натяжением, но не

приведено независимого измерения этого натяжения (например, профилометрией до нагружения). В главе 3 отсутствуют количественные оценки погрешностей эксперимента (точность определения давления, погрешность подсчёта полос, влияние вибраций и температуры). Без этих данных трудно судить о том, насколько значимы расхождения между теорией и экспериментом.

2. Результаты голографической интерферометрии не сопоставлены с измерениями на оптическом профилометре или атомно-силовом микроскопе. Такое сравнение усилило бы достоверность выводов. Можно было бы сопоставить полученные экспериментальные результаты с результатами, полученными посредством других экспериментальных методов.

3. В диссертации вводится безразмерный параметр, характеризующий величину равномерных остаточных (несовместных) деформаций в плоскости пластины. Параметр подбирается эмпирически для согласования теории с экспериментом. Параметр несовместных деформаций, введённый в упрощённой модели (уравнение 2.34), является феноменологическим – он подбирается эмпирически для каждого конкретного образца на основе экспериментальных данных (в работе $\varepsilon = 6.5 \cdot 10^{-4}$ для алюминиевой мембраны). При этом в диссертации не предлагается метода независимого определения или расчета ε на основе технологических параметров изготовления (температуры осаждения, давления в камере, скорости напыления, толщины пленки и т.п.). Это может ограничивать прогностическую ценность модели, так как для нового типа образцов или изменения технологии параметр приходится определять заново из дополнительных экспериментов, а не вычислять априори. Так ли это?

4. Автор отчасти критикует прямое МКЭ моделирование, но не приводит количественного сравнения своего асимптотического подхода с численными решениями в COMSOL или ANSYS для тех же задач. Это усилило бы аргументацию о преимуществах метода.

5. В разделе 2.1.4 используется «эквивалентный оператор» с параметром χ , определяемым из трансцендентного уравнения (2.31). Не обсуждается, как χ зависит от несовместных деформаций (в формулах (2.33) он входит, но алгоритм его

определения не детализирован). Другими словами, в разделе 2.1.4 вводится эквивалентный оператор с параметром χ , определяемым из трансцендентного уравнения (2.31), что эффективно решает проблему сходимости при больших прогибах. Однако при обобщении этой схемы на случай несовместных деформаций (раздел 2.1.5) процедура определения χ остается не до конца формализованной: зависимость χ от параметров импланта постулируется аддитивно, но само уравнение для χ , учитывающее наличие начальных напряжений, не выводится. Это приводит к тому, что в практических расчётах (Глава 3) параметр α фактически выполняет роль калибровочного коэффициента, компенсирующего неопределённость в определении эффективного натяжения, тогда как теоретически обоснованной процедуры их отдельной идентификации не предложено. 6. В разделе 2.1.2 приводится анализ сходимости для классического итерационного процесса, однако для регуляризованного алгоритма и метода с эквивалентным оператором доказательство сходимости дано лишь для частного случая равномерного давления, хотя в работе приводится критерий, которому должна соответствовать функция нагрузки и класс подходящих функций несколько шире. Неясно, гарантируется ли сходимость для произвольного распределения нагрузки $p(r)$. Иначе, в работе показана сходимость итерационного алгоритма для равномерного давления. Однако строгое доказательство сходимости для произвольного распределения - нагрузки не приводится. Насколько автор уверен, что алгоритм будет сходиться для всех практически важных случаев нагружения, и не планируется ли в дальнейшем получить такое доказательство?

- д.ф.-м.н., заведующего лабораторией функционально-градиентных и композиционных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» Айзиковича С.М., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. В первой главе из нетеровых симметрий выводятся законы сохранения, включающие в себя конфигурационные силы, которые в данном случае как раз и отвечают

за миграцию дефектов. В дальнейшем эти уравнения практически не рассматриваются, хотя их анализ мог бы дать больше информации о характере распределения и эволюции несовместных деформаций в пластине.

2. Полученная зависимость прогиба полюса круглой пластины от интенсивности равномерного давления сравнивается только с аппроксимацией Вэя, хотя в литературе представлены более современные и точные аппроксимации (например, формула McPherson или Chien). 3. В экспериментальной части исследования опущены детали проведения эксперимента. В частности, не представлена схема закрепления образца и способ его нагружения.

- д.ф.-м.н., руководителя подразделения, главного научного сотрудника лаборатории математических методов механики материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук Фрейдина А.Б., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. Автор претендует на моделирование напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов с характерным размером от десятков нанометров. Было бы уместным дополнительно прокомментировать, насколько эти масштабы соответствуют возможности применения механики сплошных сред или подчеркнуть, что соответствие полученных теоретических и экспериментальных результатов, показывает эту возможность. 2. Хотелось бы увидеть более подробное обоснование предположения о непрерывности изменения разгружающих линейных отображений от точки к точке. 3. Доказательство сходимости итерационного процесса построения решения для круглой пластины дается для весьма ограниченного класса функций. Можно ли расширить доказательство для общего случая? 4. Интересный для практики случай отрыва мембраны от подложки обсуждается лишь на качественном уровне. 5. Краевая задача в прямоугольной области сводится к системе кубических уравнений, которая может иметь множество решений. С технической точки зрения был бы желателен более подробный комментарий о выборе решения. 6. Терминологическое замечание: автор использует термин

«поле импланта» как общеупотребимый. Было бы уместным дать дополнительное пояснение. 7. В обзоре литературы были бы уместны ссылки на работы Л.М. Зубова с учениками, посвященные описанию дислокаций в нелинейно-упругих телах. 8. Описывая структуру работы, автор пишет, что она содержит 40 рисунков и 23 таблицы. Я насчитал 50 рисунков в основном тексте и еще 1 рисунок и еще 1 таблицу в приложениях.

- к.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой безопасности информационных систем ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва» Осипова М.Н., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. В тексте автореферата отсутствуют технические детали проведенных экспериментальных исследований. 2. Детали алгоритма автоматической идентификации полос интерференции в тексте автореферата опущены.

- д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Строительная механика, фундаменты, металлические конструкции» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Шляхина Д.А., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. Функция распределения несовместных деформаций выбрана произвольно, а ее параметры не определяются из эксперимента, что несколько уменьшает возможность применения построенных моделей. 2. Не проведена оценка сходимости решения методом Галеркина. 3. Из текста автореферата не ясно сколько образцов было испытано в экспериментальной части исследования.

- к.ф.-м.н., директора ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ Дюжева Н.А., который наряду с положительным отзывом сделал следующее замечание: В качестве замечания хотел бы отметить важность учета влияния температуры на напряженно-деформированное состояние слоистых самонапряженных структур, чему в работе уделено мало внимания.

- д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ИФЗ РАН Рыжака Е.И., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. Не указан способ построения части функции импланта, ассоциированной с

собственными поворотами. 2. Доказательство сходимости решения методом последовательных приближений дано лишь для частного вида функций нагружения. 3. Недостаточно обосновано обобщение метода Галеркина на случай нелинейных систем.

- к.т.н., доцента подразделения «Центр образовательных программ Физтехшколы аэрокосмических технологий» ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт» Быкова А.А., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. В автореферате указано, что исследуемые пластины, напыленные на некоторую поверхность, имеют толщину порядка нанометров («упругие элементы нанометрового масштаба»), хотя в таблицах приводится, что толщины рассчитываемых пластин составляли микрометры. В этих случаях можно ожидать некоторую анизотропию свойств, как по направлению, так и по толщине пластины. Однако решения приводятся для материала, свойства которого описываются коэффициентом Пуассона и модулем Юнга, то есть для однородного изотропного тела. Из автореферата не понятно, были ли проведены оценки степени анизотропности пластин, чтобы их можно было считать изотропными. 2. В пункте 5 выводов указывается, что предложена итерационная процедура поиска решения задачи о изгибе круглой пластины. Однако в автореферате не приведены данные о «исследовании сходимости» данной процедуры, чтобы оценить корректность получаемые результатов и их точность. 3. При серийном, даже мелкосерийном производстве изделий, необходим математический аппарат для оценки чувствительности решений к различного рода технологическим отклонениям от идеального технологического процесса. В автореферате, возможно и диссертации, приводятся «осесимметричные» решения только для круглых пластин, однако не приводятся решения, зависящие еще и от угла в полярной системе координат. Данные решения позволили бы оценить влияние неточностей в производстве на функциональность конечного изделия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием у официальных оппонентов и представителя ведущей организации публикаций по теме работы соискателя:

1. Айзикович С.М., Еремеев В.А. Об условиях эллиптичности в градиентной теории пороупругости при конечных деформациях // Проблемы прочности и пластичности. - 2026. - Т.88, №1. - С.78-85; DOI: 10.32326/1814-9146-2026-88-1-78-85;
2. Еремеева И.А., Айзикович С.М. Об антиплоских волнах, локализованных в окрестности поверхности раздела двух упругих полупространств, в рамках динамики решетки // Прикладная математика и механика. - 2025. - Т.89, №6. - С. 1004-1010; DOI: 10.7868/S3034575825060082;
3. Панфилов И.А., Айзикович С.М., Васильев А.С. Анализ упругих и упругопластических моделей при интерпретации результатов наноиндентирования // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. -2024. - Т. 24, вып. 2. - С. 245-253; DOI 10.18500/1816-9791 -2024-24-2-245-253;
4. Vasiliev A.S., Volkov S.S., Nikolaev A.L., Aizikovich S.M. Indentation of a piezoelectric FGM- coated half-space by a conical conductive punch: approximated analytical solution // International Journal of Engineering Science. - 2024. - Vol.205. - Article number 104161; DOI: 10.1016/j.ijengsci.2024.104161;
5. Vasiliev A.S., Volkov S.S., Aizikovich S.M. Hot indentation of a FGM-coated thermoelastic half-space by a conical punch: Approximated analytical solution of the contact problem // Composite Structures. - 2023. -Vol. 309. - Article number 116612. DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.116612;
6. Kudish I.I., Volkov S.S., Aizikovich S.M., Ke L. One simple case of lubricated line contact for double-layered elastic solids // Problems of Strength and Plasticity. - 2022. - Vol. 84, Is. 1. - P. 15-24; DOI: 10.32326/1814-9146-2022-84-1-15-24;
7. Волков С.С., Васильев А.С., Айзикович С.М. Смещения поверхности пьезоэлектрического полупространства с функционально-градиентным покрытием и круговым электродом на поверхности // Вычислительная

механика сплошных сред. - 2022. - Т. 15. №1. - С. 45-55; DOI: 10.7242/1999-6691/2022.15.1.4;

8. Liu T.-J., Yang F., Yu H., Aizikovich S.M. Axisymmetric adhesive contact problem for functionally graded materials coating based on the linear multi-layered model // Mechanics Based Design of Structures and Machines. - 2021. - Vol.46, Is. 1. -P.41-58; DOI: 10.1080/15397734.2019.1666721;

9. Kudish I.I., Volkov S.S., Vasiliev A.S., Aizikovich S.S. Characterization of the behavior of different contacts with double coating // Mathematics and Mechanics of Complex Systems. - 2021. - Vol. 9, No. 2.-P. 179-202; DOI: 10.2140/memocs.2021.9.179;

10. Lapitskaya V.A., Kuznetsova T.A., Khudoley A.L., Khabarava A.V., Chizhik S.A., Aizikovich S.M., Sadyrin E.V. Influence of polishing technique on crack resistance of quartz plates // International Journal of Fracture. - 2021. - P. 1-17. DOI: 10.1007/sl0704-021-00564-5;

11. Зеленцов В.Б., Загребнева А.Д., Лапина П.А., Айзикович С.М., Ванг Юн-Че Относительный объем пор при индентировании пористых материалов // Проблемы прочности и пластичности. - 2021. - Т.83. №4. - С.462-470; DOI: 10.32326/1814-9146-2021-83-4-462-470;

12. Ereemeeva I.A., Aizikovich S.M. On anti-plane waves localized near sharp interface between two elastic half-spaces: lattice dynamics approach. Chapter 1 // Advanced Structured Materials: Mechanics and Acoustics of Metamaterials. - Vol. 245 - Springer, 2026. - 1-7 p. - P. 263; DOI: 10.1007/978-3-032-11462-4 1;ISSN 1869-8433, ISBN 978-3-032-11461-7;

13. Volkov S.S., Aizikovich S.M., Nikolaev A.L., Sadyrin E.V., Lapitskaya V.A. Displacements of a FGM-coated half-space surface caused by spherical indentation. Chapter 32 // Advanced Structured Materials: Dynamics of Discrete and Continuum Structures and Media. - Vol.221. - Springer, 2025. -704p. - P. 637-648; DOI: 10.1007/978-3-031-75626-9 32; ISSN 1869-8433, ISBN 978-3-031-75625-2;

14. Wang Y.-Ch., Liao T.-Ch., Tan K.-W., Aizikovich S.M. Bandgap properties of a class of chiral and achiral metamaterials. Chapter 44 // Advanced Structured

Materials: Dedicated to the 60th Birthday of Prof. Victor A. Eremeyev. - Vol. 170. - Springer, 2023. - 780 p. -P. 717-726; ISBN 978-3-031-26185-5; ISSN 1869-8433.

15. Степанова Л.В., Любимов Е.А. Экспериментальное определение параметров сферической полости в образцах, изготовленных с помощью аддитивных технологий, и восстановление поля напряжений методом «замораживания»// Проблемы прочности и пластичности. - 2026. - Т. 88. - № 1. - С. 31 -47.

16. Степанова Л.В., Белова О.Н., Чаплин Д.В., Быкова Ю.С. Численное исследование асимптотики поврежденности материала в окрестности фронта трещины при ползучести // Прикладная механика и техническая физика. - 2025. - № 4(392). - С. 169-180.

17. Степанова Л. В., Мушанкова К.А. Эффекты слагаемых высшего порядка малости в обобщенных рядах для представления полей, ассоциированных с вершиной трещины в анизотропных средах. Часть 1. Сравнение точного и асимптотического решений определения напряжений у вершины трещины // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2025. - № 1. — С. 59- 81.

18. Степанова Л. В., Мушанкова К.А. Эффекты слагаемых высшего порядка малости в обобщенных рядах для представления полей, ассоциированных с вершиной трещины в анизотропных средах. Часть 2. Оценки точности асимптотических решений И Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2025. - № 2. - С. 39-56.

19. Мушанкова К. А., Степанова Л.В. Определение коэффициентов асимптотического ряда для полей напряжений на основе молекулярно-динамических вычислений //Прикладная механика и техническая физика. - 2025. -№ 2(390). - С. 196-212.

20. Быкова Ю. С., Степанова Л.В. Автомодельный характер полей вблизи вершины разреза в процессе ползучести в условиях аугментации // Вестник

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2025. - № 3. - С. 54-69

21. Stepanova L. V., Mushankova K.A. Atomistic and continuum Ascertainment of The crack tip stress fields in anisotropic elastic cubic media // Theoretical and Applied Fracture Mechanics.-2024.-Vol. 133.-P. 104613.

22. Степанова Л. В., Мушанкова К.А. Атомистическое и континуальное определение полей напряжений у вершины трещины в анизотропных средах с кубической сингонией // Проблемы прочности и пластичности. - 2024. - Т. 86, № 1. - С. 15-25.

23. Степанова Л. В., Фомченкова М.А. О точности усеченных разложений полей у вершины трещины в анизотропных материалах И Проблемы прочности и пластичности. - 2024. - Т. 86, № 4. - С. 403-420

24. Чаплий Д.В., Белова О.Н., Степанова Л.В., Быкова Ю.С. Исследование асимптотики поля напряжений в окрестности вершины трещины в условиях ползучести с учетом поврежденности// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2024. - № 3. - С. 17-38.

25. Анисимов Г. С., Степанова Л.В. Экспериментальное определение полей у вершины трещины: метод голографической интерферометрии и метод корреляции цифровых изображений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2024. - № 3. - С. 39-56.

26. Stepanova L. V., Belova O.N. Stress intensity factors, T-stresses and higher order coefficients of the Williams series expansion and their evaluation through molecular dynamics simulations // Mechanics of Advanced Materials and Structures. - 2023. - Vol. 30, No. 19. - P. 3862-3884.

27. Белова О. Н., Степанова Л.В. Моделирование распространения и анализ траектории наклонной трещины в трубе с помощью расширенного метода конечных элементов и метода молекулярной динамики / О. Н. Белова, Л. В. Степанова // Проблемы прочности и пластичности. - 2023. - Т. 85, № 4. - С. 491-499.

28. Степанова Л. В., Белова О.Н. Идентификация коэффициентов интенсивности напряжений, Т-напряжений и коэффициентов регулярных слагаемых высокого порядка в разложении Уильямса с помощью молекулярно-динамического моделирования //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2023. - № 2. - С. 47-77.
29. S. Petrenko A. B. Freidin ·E.Charkaluk. On chemical reaction planar fronts in an elastic-viscoelastic mechanical framework // Continuum Mech. Thermodyn. 2022. -Vol. 34. -P. 137-163
30. Фрейдин А.Б. О конфигурационных силах в механике фазовых и химических превращений//Прикладная математика и механика. - 2022. -Т.86. №4. -С.571-583
31. Freidin A. B. On Configurational Forces in the Mechanics of Phase and Chemical Transformations //Mechanics of Solids. -2022. -Т. 57.- №. 8. -С. 2020-2029.
32. Кабанова П. К., Фрейдин А. Б. Численное исследование эволюции областей новой фазы в упругом теле //Вычислительная механика сплошных сред. -2022. -Т. 15. - №. 4. -С. 466-479.
33. Morozov A., Freidin A.B., Müller W.H. On stress-affected propagation and stability of chemical reaction fronts in solids // International Journal of Engineering Science. -2023. - V. 189 -P.103876
34. Slietgerman V. O., Freidin A. B., Morozov A. Y. On Plate Buckling Induced by a Chemical Reaction//Advances in Linear and Nonlinear Continuum and Structural Mechanics.- Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. -С. 481-497.
35. Poluektov M., Freidin A.B. Localisation of stress-affected chemical reactions in solids described by coupled mechanics-diffusion-reaction models // IJES -2024 - V. 196-P.104006
36. A. Morozov, M. Poluektov, A.B. Freidin, L. Figiel, W.H. Müller. Stability of chemical reaction fronts in solids: Analytical and numerical approaches //European Journal of Mechanics-A/Solids. -2024. -V. 104. - P. 105211.

37. Freidin A. B., Rublev I. A., Korolev I. K. On the initial boundary value problem for the propagating chemical reaction front in an elastic solid //Acta Mechanica. -2024. -V. 235. -N. 7. -P. 4289-4310.
38. Ivanova A.B., Freidin A.B. Coupled Problems of Chemo-mechanics: I D-Statements for Elastic and Viscoelastic Solids // Lobachevskii J. Math. -2025 - V.46-P. 2816-2828.
39. Фрейдин А.Б., Михеев Е.В. О тензоре химического сродства в геомеханике деформируемых тел // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. -2025. -№4.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлены области применимости четырех классических моделей при моделировании малых и конечных прогибов круглых пластин,

получены оригинальные нелинейные уравнения изгиба гибких пластин, учитывающие распределение несовместных деформаций в пластине по заданному закону,

представлены решения полученных уравнений для защемленных круглых и прямоугольных пластин, к лицевым поверхностям которых приложено распределенное давление,

предложена оригинальная процедура регуляризации итерационного процесса построения решения полученных уравнений для круглой пластины, **доказана** сходимость итерационного процесса при заданных ограничениях, накладываемых на функцию нагрузки,

показано, что особенности математической формулировки условий жесткой заделки могут оказывать существенное влияние на напряженное состояние изгибаемой прямоугольной пластины.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно, то есть с получением обладающих новизной результатов, **использован** комплекс

существующих методов исследования, в том числе аналитические и численно-аналитические методы решения задач математической физики, а также голографический метод экспериментального исследования деформаций тонких пластин,

проведена модернизация нелинейных уравнений изгиба гибких пластин и численно-аналитических методов их решения,

исследовано влияние распределенных несовместных деформаций на жесткость тонкостенных упругих элементов.

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

разработаны методы интерпретации результатов инструментальных измерений изгиба круглых и прямоугольных мембран нанометровых масштабов, учитывающие влияние распределенных несовместных деформаций на жесткость образцов,

определены пределы применимости классических моделей тонких пластин.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

представленные алгоритмы основаны на хорошо известных и строго обоснованных математических методах. **Полученные** оценки сходимости подтверждены результатами численных экспериментов. Достоверность решений подтверждается сравнением с известными приближенными решениями и результатами проведенных экспериментальных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах исследования, включающих постановку задач, вывод разрешающих уравнений, разработку и реализацию численно-аналитических алгоритмов решения указанных уравнений, валидацию теоретических моделей по результатам экспериментальных исследований и подготовку основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания и заданы следующие вопросы: вопрос о выборе значения параметра, регуляризирующего итерационный процесс; вопрос о сходимости построенных решений; вопрос о преимуществах вариационной формулировки; вопрос об определении параметров поля несовместных деформаций; вопрос о причинах выбора модели Феппля – фон Кармана; вопрос об учете изменения толщины пластины в процессе ее деформирования.

Соискатель Дигилов А.В. ответил по существу на задаваемые ему в ходе заседания вопросы. Указал как определялось значение регуляризирующего параметра; пояснил в каком смысле и при каких ограничениях дана оценка сходимости построенных решений; подчеркнул принципиальное преимущество вариационной формулировки, заключающееся в возможности естественным образом формулировать законы сохранения; описал способ выбора параметров поля несовместных деформаций; обосновал преимущества модели Феппля – фон Кармана и подчеркнул, что в рамках работы она была модифицирована; пояснил, что используемая модель не учитывает изменение толщины, но в рамках оценки областей применимости различных моделей им исследовались модели, учитывающие этот фактор, и по итогам этого исследования было установлено, что для рассматриваемых пластин при выбранном нагружении учет изменения толщины несущественен.

На заседании 24.09.2026 Диссертационный совет принял решение за значительный вклад в развитие теоретических подходов и численно-аналитических расчетных методов проектирования упругих элементов микроэлектромеханических систем с учетом распределенных несовместных деформаций, а также получение новых результатов, имеющих важное значение для приложения механики деформируемого твердого тела, присудить Дигилову Александру Вячеславовичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя диссертационного совета

24.1.098.01 при ИПМех РАН,

Д.ф.-м.н.

Шифрин Е.И.



Ученый секретарь диссертационного совета

24.1.098.01 при ИПМех РАН,

к.ф.-м.н.

Лямина Е.А.

25 сентября 2026 г.