

**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
ГАНДИЛЯНА ДАВИДА ВАГАНОВИЧА
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета
от 05 июня 2025 года, протокол № 4

О присуждении Гандилян Давиду Вагановичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Применение условий упругой заделки в задачах деформирования тонкостенных конструкций» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 27 марта 2025 года, протокол № 2 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)

Соискатель Гандилян Давид Ваганович, 19 ноября 1996 года рождения, в 2020 г. окончил магистратуру Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика». С 2020 по 2024 гг. проходил обучение в очной аспирантуре ИПМех РАН. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2024 году Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук. В период подготовки диссертации Гандилян Д.В. работал в Федеральном

государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН) в лаборатории механики технологических процессов в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории механики технологических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Устинов Константин Борисович. Работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук в должности ведущего научного сотрудника.

Официальные оппоненты:

Келлер Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела («Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» («ИМСС УрО РАН») – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации),

Волков-Богородский Дмитрий Борисович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела механики структурированной и гетерогенной среды (ФГБУН Институт прикладной механики РАН)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук. В своем положительном заключении, подписанным руководителем лаборатории математических методов механики материалов д.ф.-м.н. Фрейдиным А.Б., указала, что результаты исследований диссертационной работы Гандиляна Д.В. имеют важное практическое значение для повышения надежности и долговечности тонкостенных конструкций в высокотехнологичных отраслях, таких как микро- и наноэлектроника, авиакосмическая промышленность и машиностроение. Разработанные модели и методы позволяют более точно прогнозировать процессы деформирования, отслоения и разрушения тонких покрытий и пластин, учитывая влияние податливости и кривизны основания, что важно для оптимизации проектирования и условий эксплуатации этих элементов. Полученные количественные оценки и выявленные закономерности могут быть использованы при разработке защитных покрытий, а также в процессах фотолитографии при создании элементов МЭМС.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 10 научных работ, изданных в периодических научных изданиях, сборниках материалов и тезисах докладов международных и всероссийских конференций, в том числе 5 статей 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. Ustinov K.B., Gandilyan D.V. On combined influence of substrate curvature and compliance on parameters of coating delamination from a cylindrical base // Mech.

Solids. 2023. V. 58 (2). P. 622-640. DOI: 10.3103/S0025654423600174

2. Устинов К.Б., Гандилян Д.В. Деформирование тонкой пленки после утери контакта с цилиндрическим основанием; отслоение, расположенное в осевом направлении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2023. № 5. С. 159–172. DOI: 10.15593/perm.mech/2023.5.11

3. Гандилян Д.В. Деформирование тонкой пленки после утери контакта с цилиндрическим основанием с учетом влияния его кривизны, податливости и действия поперечных сил; отслоение, расположенное в окружном направлении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2024. № 2. С. 42–52. DOI: 10.15593/perm.mech/2024.2.05

4. Устинов К.Б., Гандилян Д.В. О граничных условиях для тонкой круглой пластины, сопряженной с массивным телом // Вестник Самарского университета. Естественная серия. 2024. Т. 30, № 1. С. 50-63. DOI: <https://doi.org/10.18287/2541-7525-2024-30-1-50-63>

5. Гандилян Д.В., Устинов К.Б. Деформирование тонкой круговой пластины, сопряженной по контуру с основанием // Прикладная математика и механика. 2025. Т. 89, № 1. С. 106-127.

Соискатель принимал непосредственное участие в постановке научных задач, вошедших в диссертационную работу, их решении, анализе результатов и подготовке публикаций [1-5]. В работах [1-3] автором проведено исследование деформирования отслоившегося участка цилиндрического покрытия с малой начальной кривизной с учетом влияния основания в рамках нелинейной теории пологих оболочек и граничных условиях обобщенно упругой заделки. В работах [1, 2] автором решалась задача об отслоении пологого цилиндрического покрытия, отслоение которого расположено в осевом направлении, а в [3] – в окружном направлении. Были проанализированы и выявлены закономерности

поведения отслоившегося участка покрытия: исследованы зависимости скорости высвобождения энергии, моды I коэффициента интенсивности напряжений, угла поворота в точке заделки, а также компонент смещения покрытия от предварительной нагрузки, кривизны и податливости основания. В работах [4, 5] автором исследована задача о круговой пластине, сопряженной по контуру с основанием. В работе [4] совместно с научным руководителем через решение вспомогательной задачи были определены коэффициенты матрицы податливости для определения граничных условий обобщенно упругой заделки. В работах [4, 5] для решения задачи были предложены аналитические: на основе модели Софи Жермен, мембранной модели, полуаналитические: посредством применения модифицированной функции Бесселя, разложения в степенные ряды, а также численный метод, аналогичный «методу стрельбы». Проведено сравнение величин прогибов, продольных усилий и изгибающих моментов, посчитанных для условий жесткой и упругой заделки для разных методов, были выявлены недостатки и ограничения предложенных методов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

- д.ф.-м.н., руководителя лаборатории математических методов механики материалов ИПМаш РАН Фрейдина А.Б., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. При вычислении скорости высвобождения энергии при развитии отслоений (пп. 3.2, 4.2) некоторые члены вычисляются в приближении линейной теории, а некоторые в приближении, учитывающем конечность деформации. Не является ли такой подход непоследовательным и внутренне противоречивым. 2. Не ясен физический смысл параметра b_0 , заданного формулой (3.25) в разделе 3.1 и параметра l_0 , заданного формулой (4.25) в разделе 4.1, использующиеся для обезразмеривания параметров полуширины и радиуса кривизны отслоения. 3. В разделе 3.1

для определения эффекта «туннелирования» (прекращения распространения отслоения) используется критерий равенства нулю коэффициента интенсивности напряжения K_I , характеризующий нормальный отрыв. При этом не учитывается коэффициент интенсивности K_{II} , отвечающий за поперечно-сдвиговой разрыв, хотя возможны случаи, когда K_I равен нулю, а K_{II} не равен нулю, что соответствует, прекращению нормального отрыва отслоения, но продолжению распространения в сдвиговом направлении. 4. В разделе 5.4, где описан численный метод решения задачи используется термин «начальные условия», что может запутать понимание решения задачи, так как он чаще всего используется для решения динамических задач, а в данном случае решается задача в статике. Также в решении указывается на «чувствительность» к начальным условиям при больших значениях нагрузки, хотелось бы подробно расписать в чем заключается этот термин.

- К.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника отдела механики структурированной и гетерогенной среды ФГБУН «Институт прикладной механики Российской академии наук» Волкова-Богородского Д.Б., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. В главе 3 и 4 результаты формулируются в безразмерном виде, при этом вводятся две важнейшие характеристики процесса отслоения: η и k , через которые выражаются все результирующие величины: скорость высвобождения энергии при нарастании дефекта, коэффициент интенсивности напряжений при раскрытии трещины, угол поворота в граничной точке отслоения и величина прогиба в центре отслоения. Эти характеристики η и k определяются через размерных величины: полуширину отслоения и радиус подложки-основания, относительно "к критической полуширине, соответствующей потере устойчивости отслоения от прямолинейной

границы в предположении граничных условий типа жесткой заделки" (стр. 36), см. формулы (3.24) - (3.26) и (4.24), (4.25). Что это такое и почему оно выражается формулой (3.24) не объясняется. Надо было дать ссылку или непосредственно показать, что эта величина действительно является "критической полушириной, соответствующей...". 2. Из контекста изложения становится понятным, что η является безразмерной величиной, характеризующей степень жесткости заделки, которая, как правило, больше единицы ("мягкая" заделка), но может принимать значения и меньше единицы; а величина k характеризует кривизну подложки-основания, которая может принимать как отрицательные, так и положительные и нулевые значения, хотя была определена через полуширину отслоения и радиус подложки, которые являются неотрицательными величинами. Надо было сразу ввести эти величины как основные безразмерные параметры процесса отслоения и дать подробное описание их физического смысла, а то возникает много вопросов к характеру поведения исследуемых величин. То же самое относится и к безразмерной величине f , которая является силовой характеристикой, изменяющейся в пределах $-1 < f < 0$, и, наверное, лучше было бы перейти к положительной величине $(f + 1)$, тем более, что именно в таком виде она входит в большинство формул, см. (3.30) - (3.32), (4.22), (4.23) и т.д. И тогда был бы более прозрачен смысл систем нелинейных уравнений, определяющих решение, и на рисунках (3.4)-(3.13), (4.3)-(4.8) надписи выглядели бы компактнее, и был бы понятен смысл отрицательной скорости выделения энергии на рисунках 3.4, 4.3 при отрицательной кривизне основания, и прямолинейных участков графика на рисунках 3.4, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 4.3, 4.5 при нулевой кривизне, т.е. для плоского основания. Рисунок 3.13, кстати, в тексте нигде не упоминается; на стр. 42 в разделе 3.5 ошибочно указано рис. 3.12 вместо рис. 3.13. 3. Ничего не сказано каким образом решаются

нелинейные системы уравнений размерности 3×3 , определяющие решение задачи. Просто идет отсылка к замечательной монографии Галанина, Савенкова [116], в которой излагаются все известные методы численного анализа математических моделей, а в этих нелинейных системах есть нетривиальные нюансы, например, тригонометрические функции разлагаются по малому параметру, и удерживается только первый член этих разложений, см. стр. 37, последний абзац. Надо было метод решения этих нелинейных систем уравнений изложить в диссертации подробнее.

4. В главе 2 идет краткий вывод систем дифференциальных уравнений деформирования тонких оболочек (по монографии Новожилова [12]). Можно согласиться, что этот вывод необходим для общего понимания решаемой в диссертации проблемы, хотя эти уравнения в их общем виде нигде в дальнейшем и не используются, кроме следующих из них известных формул для тангенциальной и изгибной жесткости цилиндрической оболочки. Однако, в формулах (2.13) и (2.14) допущены ужасные неточности в очевидных соотношениях, сбивающие читателя с толку: в формуле (2.13) надо убрать лишнее v , а в формуле (2.14) указать правильный знак. Следует отнести эти неточности к досадным опечаткам.

5. В пятой главе в разделе 5.1.3 коэффициенты матрицы упругой заделки оценивались численно на основе решения методом конечных элементов вспомогательной задачи в осесимметричной постановке. Надо было бы указать каким образом получено это решение: оно было реализовано самостоятельно, или использовался какой-то известный конечно-элементный комплекс?

6. При описании метода стрельбы в разделе 5.4 дается своеобразный вывод разностной схемы для системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений фактически второго порядка; в ней вторую производную просто надо заменить известным разностным отношением второго порядка точности. Автор неявно

выводит это соотношение на стр. 83, 84, однако, в формуле (5.73) перемещения надо разлагать до второй производной, иначе в формуле (5.76) вторая производная будет аппроксимирована неточно. Проще было бы использовать известное разностное отношение сразу. На самом деле в дальнейшем для решения этой системы дифференциальных уравнений используется классический метод Рунге-Кутты 4-го порядка, что является наиболее грамотным подходом.

- д.ф.-м.н., доцента, заведующего лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН Келлер И.Э., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. Судя по определениям (2.9), в граничных условиях (2.22) и (2.23) указано “на контуре $\alpha = \text{const}$ ” вместо “вдоль координаты α ”. То же для β . 2. В главах 3 и 4 используются термины “распространение отслоения вдоль криволинейной (прямолинейной) границы отслоения”, из которых не удастся однозначно понять расположение границы и направление ее распространения. 3. Не сказано о структуре множества решений системы (3.30)-(3.32) нелинейных алгебраических уравнений — условий обобщенной упругой заделки, а также аналогичной системы в главе 4.
- Д.ф.-м.н., профессора, зав. каф. «Вычислительная механика и математика», Тульского государственного университета Глаголева В.В., который наряду с положительным отзывом сделал следующие замечания: 1. На стр. 13 не указано какой численный (итерационный) метод использовался при решении системы нелинейных уравнений. Если использовался пакет прикладных программ, то необходимо об этом сказать. 2. На стр. 15 опечатка. В названии уравнения Муштари - Доннелла - Власова опущены пробелы оформления дефиса, хотя на стр.

12 написано верно, как и в других названиях, связанных с несколькими учеными.

- Д.ф.-м.н., зав. отделом механики упругих и вязкоупругих тел Института механики НАН РА Саакяна А.В. Отзыв положительный, без замечаний. Отмечено, что в работе решены три задачи, две из которых посвящены процессу отслоения покрытия от пологого цилиндрического основания, где отслоения расположены вдоль осевой и окружной координат, третья задача посвящена решению задачи деформирования круговой пластины, сопряженной по контуру с основанием. При решении задач использовались различные аналитические и численные методы. Очень интересен выявленный эффект гофрирования при отслоении в окружном направлении.

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

1. Васильев В.В., Волков-Богородский Д.Б., Лурье С.А., Белов П.А. Несингулярные решения в механике трещин для градиентной теории упругости ортотропного тела//Композиты и наноструктуры. 2020. Т. 12, № 4. с. 158-166.
2. Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Корнев Ю.В. Влияние углеродных добавок на механические характеристики эпоксидного связующего// Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2020. № 3. С.92-103.
3. Lurie S.A., Volkov-Bogorodskiy D.B. On Regularization of Singular Solutions of Orthotropic Elasticity Theory // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2020. V. 41, № 10. P. 2023-2033.

4. Volkov-Bogorodskiy D.B., Moiseev E.I. Generalized Eshelby Problem in the Gradient, Theory of Elasticity // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2020. V. 41, № 1 O. P. 2082-2088.
5. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodsky D.B. Method of asymptotic homogenization of thermoviscoelasticity equations in parametric space: Part II // Composites: Mechanics, Computations, Applications. 2021. V.12, № 3. P. 1-16.
6. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodsky D.B. Application of the asymptotic homogenization in a parametric space to the modeling of structurally heterogeneous materials // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2021, article number 390, doi:10.1016/j.cam.2020. 113191.
7. Volkov-Bogorodskiy D.B., Moiseev E.I. Generalized Trefftz method in the gradient elasticity theory // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2021. V. 42, № 8. P. 1944-1953.
8. Келлер И.Э., Казанцев А.В., Адамов А.А., Петухов Д.С. Моделирование многоэтапной холодной штамповки тонкостенного сосуда // Проблемы прочности и пластичности. 2020. Т. 82, № 1. С. 75-88.
9. Келлер И.Э., Казанцев А.В., Адамов А.А., Петухов Д.С., Трофимов В.Н., Оборин А.Н., Чугайнов С.Б. Численное моделирование многоэтапных процессов холодной листовой штамповки тонкостенного сосуда и их оценка с точки зрения предельных деформаций // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2021. № 2. С. 48-60.
10. Kazantsev A.V., Keller I.E. Ultimate strength evaluation of the multistage technological process of cold sheet stamping technique for manufacture of thin-walled vessels // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2021. V. 62 (7). P. 1106-1116.

11. Келлер И.Э., Казанцев А.В., Дудин Д.С., Пермяков Г.Л., Трушников Д.Н. Моделирование распределения остаточной пористости металлического изделия при аддитивном производстве с послойной проковкой // Проблемы прочности и пластичности. 2022. Т. 84. № 2. С. 247-258.

12. Петухов Д.С., Адамов А.А., Келлер И.Э. Выбор и идентификация модели упруговязкопластичности наполненного фторкомполита по данным испытаний на свободное и стесненное сжатие // Advanced Engineering Research. 2022. Т.22, № 3. С. 180–192.

13. Адамов А.А., Келлер И.Э., Петухов Д.С., Кузьминых В.С., Патраков И.М., Гракович П.Н., Шилько И.С. Оценка работоспособности ПТФЭ-композитов в качестве антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом // Трение и износ. 2023. Т. 44, № 3. С. 201-211.

14. Салихова Н.К., Дудин Д.С., Келлер И.Э., Пермяков Г.Л., Трушников Д.Н. Модель искривления наращиваемой проволочно-дуговой наплавкой, и ее экспериментальная апробация для алюминиевого сплава // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2023. № 3

(57). с. 5-24.

15. Баяндин Ю.В., Дудин Д.С., Ильиных А.В., Пермяков Г.Л., Чудинов В.В., Келлер И.Э., Трушников. Д.Н. Характеристики прочности и пластичности ряда металлических сплавов и нержавеющей сталей, созданных проволочно-дуговой наплавкой, в широком диапазоне скоростей деформации// Вестник Ш-ИПУ. Серия: Механика. 2023. № 1. С. 33-45.

16. Салихова Н.К., Дудин Д.С., Келлер И.Э., Петухов Д.С., Гачегова В.А., Максимов А.Б. Собственные деформации и остаточные напряжения после градиентной термомеханической обработки толстолистовой стали: численное моделирование и эксперимент // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2024. № 3 (61). с. 70-91.

17. Morozov N.F., Belyaev A.K., Tovstik P.E., Tovstik T.P., Ma Chien-Ching. Dynamics and stability of axially loaded elastic rods // *Advanced Structured Materials*. 2021. V. 156. P. 147-160. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79325-8_13
18. Nazarov S.A. Models of Elastic Joint of a Plate with Rods Based on Sobolev Point Conditions and Self-Adjoint Extensions of Differential Operators h Differential Equations. 2021. V. 57 (5). P. 683 - 699. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0012266121050116>
19. Morozov N.I., Belyaev A.K., lovstik P.E., lovstik I.P. Applicability ranges for four approaches to determination of bending stiffness of multilayer plates // *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2021. V. 33 (4). P. 1659-1673. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00161-021-00996-3>
20. Belyaev A.K., Morozov N.I., Tovstik P.E., lovstik I.P. Statics and dynamics of thin rod Foundations in Engineering Mechanics. 2021. P. 413-435. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-64118-4_9
21. Каштанова С.В., Ржонсницкий А.В. Аналитический подход к выводу поля напряжений цилиндрической оболочки с круговых отверстий при растяжении // *Вестник ПИГУ*. 2021. № 2. С 64-75. DOI: <https://doi.org/10.15593/psnnmech/2021.2.07>
22. Butenko P.N., Guzilova I.I., Chikiryaka A.V., Pechnikov A.I., Grashchenko A.S., Pozdnyakov L.O., Nikolaev V.I. Wear resistance of u - and $|i$ - Gallium oxide coatings *Materials Physics and Mechanics*. 2021. V. 47(1). P. 52-58. DOI: [https://doi.org/10.18149/MPM.47\(1\)202\)5](https://doi.org/10.18149/MPM.47(1)202)5)
23. Belyaev A.K., Morozov N.I., Tovstik P.I., lovstik I.P. Bending stiffness of multilayer plates with alternating soft and hard layers // *Advanced Structured Materials*. 2022. V. 151 P. 27-38 DOI: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-87185-7_38. Selyutina N., Petrov Yu., Parameswaran V., Sharma A. Influence of dynamic loads on the fracture of brittle layers of a

multilayer composite // Journal of Dynamic Behavior of Materials. 2022. V 8 (1). P 155 - 158. DOI <https://doi.org/10.1007s40870-021-00323-6>

24. Kashtanova S.V., Rzhonsnitskiy A.V. Analytical approach to the derivation of the stress field of a cylindrical shell with a circular hole under axial tension // Advanced Structured Materials. 2022. V. 151. P. 115 - 130. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87185-7_10. Polyakova O.R., Tovstik I.P. Conceptual approaches to shells. Advances and perspectives Advanced Structured Materials. 2022. V 151. P. 237-252. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87185-7_18

25. Belyaev A.K., Morozov N.I., Tovstik P.E., Tovstik G.P. Bending stiffness of multilayer plates with alternating soft and hard layers // Advanced Structured Materials. 2022. V. 151. P. 27 - 38. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-87185-7_26

26. Morozov N.I., Belyaev A.K., Tovstik P.E., Tovstik G.P., Ma Chien-Ching. Dynamics and stability of axially loaded elastic rods // Advanced Structured Materials. 2022. V. 156. P. 147 - 160. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79325-8_13. Edotov A.V., Belyaev A.K., Polyanskiy V.A., Smirnova N.A. Local, modal and shape control strategies for active vibration suppression of elastic systems: experiment and numerical simulation Advanced Structured Materials. 2022. V. 164. P. 151-169. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93076-9_8

27. Чубюк Л.М., Антипин И.А., Фрейдин А.Б. Разрушение хрупкой преднапряжённой пластины с трещиной при динамическом нагружении // Сборник тезисов докладов Национальной научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Ю.Я. Болдырева. П.А. Аркина. 2022. С. 162-176.

28. Porubov A.V. Dynamics and control of band gaps in a mass-in-mass metamaterial model with an extra attached mass // Continuum Mechanics and

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика математического моделирования напряженно-деформированного состояния систем «покрытие-подложка»; пластин, сопряженных по контуру с основанием на основе нелинейной теории пологих оболочек и пластин, а также граничных условий типа обобщенно упругой заделки,

предложены аналитические и численные методы решения задач об отслоении тонких покрытий от пологого цилиндрического основания и о деформировании круговой пластины, сопряженной по контуру с основанием,

проведен комплекс численных расчетов для задач отслоения покрытий и деформирования круговых пластин с анализом влияния податливости, кривизны основания и толщины пластин,

на примере исследованных моделей **показана** необходимость учета влияния основания с помощью граничных условий типа обобщенно упругой заделки для более точного моделирования процессов деформирования и отслоения тонкостенных элементов конструкций.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно, то есть с получением обладающих новизной результатов, **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе аналитических и численных методов для решения задач деформирования тонкостенных элементов конструкций с учетом влияния основания,

изучены закономерности деформирования отслоившегося участка покрытия от пологого цилиндрического основания, а также деформирования круговой пластины, сопряженной по контуру с основанием при механических воздействиях, а также влияние различных факторов на данные процессы.

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

разработанные модели и методы позволяют более точно предсказывать параметры отслоения, рост и потерю устойчивости отслоившегося участка покрытия, а также напряженно-деформированное состояния круговых пластин, сопряженных по контуру с основанием, что важно для анализа поведения металлических, оксидным и полупроводниковых покрытий в разных областях промышленности, в частности в микро- и нано электронике при производстве различных полупроводниковых устройств,

представленные рекомендации по использованию разработанных моделей и методов могут повысить качество дальнейшего исследования процессов отслоения и деформирования тонкостенных элементов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

возможно исследование отслоения и деформирования тонкостенных элементов конструкций, сопряженных с основанием, проведено с использованием известной нелинейной теории (пологих) оболочек и пластин с граничными условиями обобщенно упругой заделки, учитывающих влияние основания;

результаты вычисления напряженно-деформированного состояния тонких покрытий и пластин получены с помощью известных аналитических и численных методов в среде Wolfram Mathematica в сравнении с

результатами, полученными в предыдущих работах для случая жесткой заделки, а также в сравнении с известными частными случаями, полученными как самим соискателем, так и другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах исследования, включающих постановку научных задач, их решение с помощью аналитических, полуаналитических и численных методов, разработку вычислительных программ для расчета и получения результатов. Соискатель проводил обработку и графическое отображение результатов теоретических исследований, участвовал в их апробации и подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и заданы следующие вопросы: вопрос об учете различных факторов при определении значений коэффициентов матрицы податливости; вопрос о возможном возникновении осцилляций по аналогии решению задач для трещин с возникновением осцилляций на кончике трещины; вопрос об учете касательных напряжений на контакте покрытия и основания; вопрос о возможности для более практической значимости расширения решения задач для случая циклических режимов работы; вопрос о проведении экспериментальных исследований.

Соискатель Гандилян Д.В. ответил по существу на задаваемые ему в ходе заседания вопросы. Дал пояснения, для каких задач какие факторы учитывались при определении значений коэффициентов матрицы податливости, в частности для задачи круговой пластины, сопряженной по контуру с основанием; ответил на вопрос про осциллирующий эффект по аналогии с трещинами, и почему он не учитывался в данных задачах; высказался об учете касательных напряжений до отслоения покрытия; выразил мнение по поводу возможности расширения задач на случай

циклических нагрузок, также подчеркнул практическую значимость решения данных задач; подчеркнул, что данная работа выполнена в рамках теоретических анализа.

На заседании 05.06.2025 Диссертационный совет принял решение: за выполненные исследования по развитию математических моделей и методов анализа напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов конструкций с учетом влияния основания через граничные условия упругой заделки и получение новых результатов по отслоению покрытия от цилиндрического основания и деформированию пластины, сопряженной по контуру с основанием, имеющих существенное значение для развития механики деформируемого твердого тела, присудить Гандилянну Давиду Вагановичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета

24.1.098.01 при ИПМех РАН,
академик РАН



Климов Д.М.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.1.098.01 при ИПМех РАН,
к.ф.-м.н.

Сысоева Е.Я.

06 июня 2025 г.