

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государ-
ственный университет»

С. В. Микушев

22 января 2026 г.



ОТЗЫВ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» ведущей организации на диссертацию Кирилловой Ирины Васильевны «Асимптотическая теория нестационарных процессов в тонких упругих оболочках вращения»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Тонкостенные конструкции типа оболочек являются одними из основных элементов корпусов авиационной, ракетно-космической и судовой техники. В случае работы таких конструкций в условиях высоких и сверхвысоких скоростей перемещения, а также при ударных внешних воздействиях различного типа актуальными являются задачи расчёта нестационарного напряженно-деформированного состояния. Решение задач нестационарной динамики таких тонкостенных конструкций затруднено многомасштабностью протекающих в них процессов деформирования. Эта многомасштабность приводит к тому, что составляющие решения задачи имеют различную скорость изменчивости и по пространственным координатам, и по времени.

Динамическая трёхмерная линейная теория упругости описывает рассматриваемые процессы для случая малых деформаций. Однако сложность краевых задач для произвольных тонкостенных конструкций определяет из-

ПОЛУЧЕНО

ИПРИМ РАН

вх. № 12
от 29.01.2026

вестные трудности при описании свойств нестационарных процессов. Поэтому, как правило, исследователи используют приближенные двумерные теории. Чаще всего для описания деформации оболочек используются двумерные теории, построенные на методе гипотез. Но, известно, что ни одна из существующих двумерных теорий не может адекватно описать распространение нестационарных волн в оболочках. В связи с этим, в Саратовском университете активно разрабатывается асимптотическая теория нестационарного напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек при использовании схем расчленения на составляющие в различных областях фазовой плоскости. При этом применяются базовые понятия показателей изменяемости напряженно-деформированного состояния по пространственным координатам и показателя динамичности компонент по времени. В представленной диссертации Кирилловой И.В. изложена полная асимптотическая теория тонких оболочек при ударных воздействиях на примере оболочек вращения. Таким образом, в диссертации сделан новый шаг в развитии теории тонких оболочек.

Асимптотические решения, полученные в диссертации, позволили построить единую оптимальную систему приближенных теорий, описывающих в совокупности нестационарное напряженно-деформированное состояние оболочек вращения. Сформулированы асимптотические оценки областей применимости составляющих нестационарного напряженно-деформированного состояния в фазовой плоскости. Доказано совпадение решений для этих составляющих в областях согласования. Разработаны асимптотические методы решения краевых задач для эллиптического и гиперболического погранслоев с учётом асимптотического представления геометрии передних волновых фронтов. Получены новые асимптотические решения динамических задач для цилиндрических оболочек.

Разработанная эффективная аналитическая теория нестационарного напряженно-деформированного состояния оболочек вращения применима для расчёта оболочек в условиях ударных и быстро изменяющихся во времени воздействий, которые возникают в космической технике, авиастроении, судостроении, машиностроении.

По теме диссертации опубликовано 15 работ в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, и 3 главы в зарубежных монографиях (Scopus).

Апробация результатов проведена на крупных российских и международных научных форумах, в частности, на XIII Всероссийском съезде по теоретической и прикладной механике.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, содержащего 241 ссылку. Общий объем диссертации 283 страницы, включая 28 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, рассмотрена степень её разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе описана общая постановка задач, рассматриваемых в диссертации. Представлена теоретическая база для работы над асимптотической теорией нестационарного напряженно-деформированного состояния в тонкостенных конструкциях. Описываются постановки краевых задач согласно трёхмерной теории упругости, приводящие к трём принципиально разным видам нестационарного напряженно-деформированного состояния в различных участках фазовой плоскости, и выделяются области применимости различных приближённых теорий. Приведены асимптотически оптимальные уравнения безмоментной и моментной составляющих напряженно-деформированного состояния по теории Кирхгофа-Лява, уравнения параболического погранслоя и коротковолновой высокочастотной составляющей.

Рассмотрены характерные виды нестационарного напряженно-деформированного состояния при трёх главных типах торцевых нагрузок по классификации У.К. Нигула. Проведен анализ соответствия схем применения разработанного асимптотического метода сращиваемых разложений принципу Сен-Венана в случае переходных волновых процессов в динамике тонкостенных конструкций.

Исследования проведены на базе трёхмерной теории упругости.

Во второй главе выводятся асимптотически оптимальные уравнения гиперболических погранслоёв для общего случая оболочек вращения с учётом изменяющейся в процессе распространения волн геометрической формы волновых фронтов. Затруднение заключается в том, что, в отличие от случая оболочек вращения нулевой гауссовой кривизны, волновые фронты уже не формируются нормальными к срединной поверхности. Рассматриваются оболочки вращения малой изменяемости.

При ударе по торцу оболочки волновое поле можно представить в виде наложения элементарной волны, возбуждённой непосредственно торцом, и элементарных волн, отражённых от лицевых поверхностей.

При выходе переднего фронта волны расширения за пределы области, соизмеримой с толщиной оболочки, в формировании фронта по всей длине будут участвовать все типы элементарных волн, порождённых как торцевой, так и лицевыми поверхностями, определяя сложную поверхность фронта, зависящую от кривизны оболочки.

В Главе 3 представлена картина построения волнового напряженно-деформированного состояния оболочек вращения при ударных торцевых продольных воздействиях тангенциального типа.

Используется безмоментная составляющая по теории Кирхгофа-Лява, наложение безмоментной составляющей и квазистатического погранслоя типа Сен-Венана, параболический погранслой в окрестности квазифронта – фронта двумерной волны растяжения-сжатия по теории Кирхгофа-Лява, симметричная коротковолновая высокочастотная малоамплитудная составляющая и симметричный гиперболический погранслой в окрестности фронта волны расширения. Полнота представленной схемы расчленения доказывается наличием областей согласования.

В Главе 4 рассматривается волновое напряженно-деформированное состояние оболочек вращения при ударных торцевых продольных воздействиях изгибающего типа.

Глава 5 посвящена выводу асимптотически оптимальных уравнений эллиптического погранслоя в окрестности условного фронта поверхностных волн Рэлея при ударных торцевых и поверхностных воздействиях нормального типа. Строятся асимптотически оптимальные уравнения для эллиптического погранслоя в случае полуплоскости с криволинейной границей. Затем рассматриваются оболочки вращения произвольного профиля при действии нормальной ударной нагрузки на лицевые поверхности.

В Главе 6 рассматривается нестационарное напряженно-деформированное состояние оболочек вращения произвольного профиля при торцевых и поверхностных ударных воздействиях нормального типа.

Используются двумерная составляющая по теории Кирхгофа-Лява, наложение изгибной составляющей и квазистатического погранслоя типа Сен-Венана, антисимметричная коротковолновая высокочастотная составляющая, эллиптический погранслой в окрестности условного фронта поверхностной волны Рэлея и антисимметричный гиперболический погранслой в окрестности фронта волны сдвига. Полнота рассматриваемой схемы расчленения доказывается, как и ранее, наличием областей согласования.

По диссертации имеется ряд замечаний:

1. Предложенная схема расчленения напряженно-деформированного состояния в фазовой плоскости имеет место, по-видимому, для оболочек вращения с определенными геометрическими параметрами (длина и радиуса кривизны образующей). Было бы интересно получить ограничения (сверху и снизу) для длины оболочки, при которой можно использовать такой подход к решению задачи.

2. Рассматриваемую в диссертации схему расчленения нестационарного напряженно-деформированного состояния на составляющие следует в дальнейшем дополнить анализом волнового процесса в начальный промежуток времени, когда фронты волн проходят расстояние, соизмеримое с толщиной оболочки.

3. В плане завершения работ над асимптотической теорией волновых процессов в оболочках вращения следует в дальнейшем также рассмотреть свойства квазистатического погранслоя типа Сен-Венана, сосредоточенного в малой приторцевой области.

4. Полноценному восприятию Главы 5, в которой рассматривается вывод асимптотических уравнений эллиптического погранслоя для оболочек вращения при поверхностных и торцевых ударных нагрузках помог бы численный пример решения таких уравнений и сравнения их с точными численными решениями. Такие примеры имели бы и самостоятельную ценность и способствовали бы верификации предложенной приближенной модели.

5. В диссертации имеются заметные опечатки, мешающие чтению, например, не согласованы обозначения на рис. 6.1 и 6.2 стр. 214, есть опечатки в знаках в формулах (6.3.34) и другие.

Представленные замечания не носят принципиального характера и не влияют на оценку диссертационной работы Ирины Васильевны Кириловой «АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТОНКИХ УПРУГИХ ОБОЛОЧКАХ ВРАЩЕНИЯ», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. - Механика деформируемого твердого тела. Работа Кириловой И.В. является значительной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области механики деформируемого твердого тела и сопряженных областях науки, что удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, а ее автор, Ирина Васильевна Кирилова, заслуживает присуждения искомой степени по указанной специальности.

Отзыв подготовили: Светлана Михайловна Бауэр, доктор физико-математических наук, профессор Кафедры теоретической и прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный уни-

верситет»; Александр Константинович Беляев, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор Кафедры теоретической и прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; Андрей Леонидович Смирнов, кандидат физико-математических наук, доцент Кафедры теоретической и прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Кафедры теоретической и прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (протокол N 44/8/19-02-1 от, 15.01.2026 г.).

Согласны на обработку персональных данных при размещении отзыва в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Заведующий Кафедрой теоретической
и прикладной механики СПбГУ д.ф.м.н.,
профессор

С. М. Бауэр

Профессор Кафедры теоретической
и прикладной механики СПбГУ, профессор,
д.ф.м.н., чл.-корр. РАН

А. К. Беляев

Доцент Кафедры теоретической
и прикладной механики СПбГУ, доцент,
к.ф.м.н.

А. Л. Смирнов

Подписи заверяю:

И.о. начальника
отдела кадров № 3
И.И. Константинова

15.01.2026



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9. Телефон (812) 328-97-01

E-mail: spbu@spbu.ru

Сайт: <https://spbu.ru/>