

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д 999.055.04 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ», ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ «ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 21 декабря 2017 года № 15

О **присуждении** Петровскому Константину Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическая модель треугольного оболочечного спектрального конечного элемента высокого порядка и ее реализация в системе инженерного прочностного анализа» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, принята к защите 20 октября 2017 года, протокол № 14, объединенным диссертационным советом Д 999.055.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Федерального

государственного бюджетного учреждения науки «Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук», Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, приказ Минобрнауки России от 27 ноября 2015 г. № 1483/нк.

Соискатель Петровский Константин Александрович 1989 года рождения, в 2011 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» по направлению «Математика. Прикладная математика» с присуждением степени магистра математики, в 2014 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» по направлению 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», работает ведущим программистом в ООО «Системы многомасштабного физического моделирования».

Диссертация выполнена на кафедре вычислительной механики и математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет».

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук, профессор Левин Владимир Анатольевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Механико-математический факультет, кафедра «Вычислительной механики», профессор.

**Официальные оппоненты:**

Петров Игорь Борисович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный

университет)», кафедра «Информатики и вычислительной математики», заведующий кафедрой, г. Москва;

Прокудин Александр Николаевич, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук», Лаборатория механики деформирования, заведующий лабораторией, г. Комсомольск-на-Амуре

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая** организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, в своём положительном заключении, подписанном Морозовым Евгением Михайловичем, доктором технических наук, профессором, Солдатовым Алексеем Анатольевичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой компьютерного инженерного моделирования (№91) ИЯФиТ НИЯУ МИФИ, Кудряшовым Николаем Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, председателем совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров, и утверждённым проректором НИЯУ МИФИ, доктором технических наук, профессором Каргиным Николаем Ивановичем, указала, что диссертация Петровского К.А. является завершённым научным исследованием, посвящённым решению проблемы, актуальной и важной в научном и практическом отношении, соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены новые математические модели, реализованы эффективные численные методы исследования напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций и алгоритмы в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, что определяет вклад в развитие физико-математической отрасли знания. Автор

диссертации заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК 4 работы. Общий объём работ составляет 5 печатных листов. Авторский вклад в подготовку работ, опубликованных в соавторстве, заключается в разработке и обосновании моделей и алгоритмов численного решения исследуемых задач, получении основных результатов исследований, разработке программ для выполнения вычислительных экспериментов на языках программирования высокого уровня. Наиболее значимые работы:

1. Petrovskiy K.A., Vershinin A.V., Levin V.A. Application of spectral elements method to calculation of stress-strain state of anisotropic laminated shells // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. — 2016. — Vol. 158. — P. 012077 (Scopus).
2. Петровский К.А., Привалов А.Н. О программной реализации метода спектрального оболочечного конечного элемента для решения динамической задачи // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. Вып. 9. Ч.1. С. 168-177.
3. Петровский К.А., Хлуденев А.В. Вариант моделирования соединения балочных и оболочечных элементов конструкции с трехмерными телами в системе прочностного анализа Фидесис // «Вестник Тверского государственного университета», серия «Прикладная математика», Вып. 4, Тверь, 2012. С. 65-70.
4. Петровский К.А. О развитии дефекта в нагруженном толстостенном полом цилиндра. Конечные деформации. // «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского», №4. Часть 4. Н. Новгород: Издательство ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. С. 1697 – 1698.
5. Петровский К.А. Развитие дефекта в нагруженном полом цилиндра // «XII научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, студентов. Тезисы докладов. Часть II», Новомосковск, 2010. С. 111.

6. Левин В.А. Распространение упругих волн в нелинейно-упругих средах с начальными деформациями. Компьютерное моделирование с использованием программного комплекса прочностного инженерного анализа FIDESYS / Левин В.А., Вершинин А.В., Мишин И.А., Сбойчаков А.М. Петровский К.А. // Технологии сейсморазведки». Новосибирск, 2012. № 4. С. 29-32.

7. Левин В.А., Петровский К.А. Моделирование с использованием САЕ Фидесис образования концентратора напряжений в тонкостенном цилиндре, прилегающем к упругому полупространству // «Ломоносовские чтения. Тезисы докладов научной конференции. Секция механики», Москва, МГУ, 2012.

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

1. Отзыв на диссертацию ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» имеет основные замечания: 1. В диссертации не исследованы температурные деформации оболочек, учет которых важен при расчетах элементов конструкций в атомной энергетике. 2. В тексте диссертации присутствует опечатка на странице 10: неверно указано общее количество страниц диссертации, количество рисунков и используемых источников. 3. В п. 2.1. в формуле (2.7) диссертации в произведении  $F_{K_i} F_{L_j}$  нет повторяющегося индекса, что приводит к некорректному выражению. 4. В автореферате в списке публикаций по теме диссертации присутствует публикация «О программной реализации метода спектрального оболочечного конечного элемента для решения динамической задачи», которая отсутствует в аналогичном списке в тексте диссертации.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Петрова И.Б. имеет основные замечания: 1. В формулировке целей диссертации говорится о том, что одной из целей является "разработка комплексной математической модели исследования напряженно-деформированного состояния оболочечного конечного элемента", однако не поясняется, в чем состоит комплексный

характер модели. 2. Параграф 2.3 по содержанию относится скорее к Главе 3, чем к Главе 2. 3. В диссертации указывается диагональность матрицы масс как одно из преимуществ метода спектральных элементов, однако, в Главе 2 рассматривается постановка только статической нелинейной задачи. 4. На рисунках 4.17-4.21 поля перемещений имеют одинаковый цвет, хотя перемещения относительно центра модели должны иметь разный знак. 5. Согласно предложенной математической модели оболочечного элемента, толщина оболочки задается одинаковой во всех узлах одного элемента. Желательно пояснить, допускает ли данная модель задание разной толщины в пределах элемента?

Отзыв на диссертацию официального оппонента Прокудина А.Н. имеет основные замечания: 1. В главе 4 диссертации с помощью разработанного численного алгоритма решен ряд задач, в частности задача об изгибе свободно опертой круглой оболочки с круглым отверстием в центре перерезывающими силами. Полученные результаты сравниваются с известными аналитическими и численными решениями. Задачи решаются в линейной постановке. Но в нелинейной теории упругости также известны точные решения. В известной монографии А.И. Лурье «Нелинейная теория упругости» приведены универсальные решения задачи Ляме для сферы и цилиндра, задачи об изгибании полосы в цилиндрическую панель и ряда других. Сравнение численных и точных решений нелинейных задач также представляет значительный интерес. 2. В таблице 4.2 диссертации приведена разница между численным и аналитическим решением задачи об изгибе круглой оболочки с отверстием. Почему разница определяется в отдельно взятой точке  $(0.7, 0.0)$ , а не во всей расчетной области в целом с помощью нормы? 3. Одним из основных результатов диссертации является программная реализация разработанных алгоритмов на языке программирования C++. Фрагменты программного кода приведены в приложениях 2 и 3. Однако свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ не получено.

Отзыв на автореферат Георгиевского Д.В., доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой теории упругости механико-

математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (г. Москва) имеет основные замечания: 1. Не поясняется смысл обозначений  $\theta_1^k$ ,  $\theta_2^k$  в формулах (17), (18) на с. 13 реферата.

Отзыв на автореферат Дмитриева А.И., доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (г. Томск) имеет основные замечания: 1. На странице 4 автореферата фраза «элементы высокого порядка применяются ... к четырехугольной ... форме» представляется неудачной. Лучше написать «элементы высокого порядка имеют ... четырехугольную ... форму». 2. По тексту автореферата имеются также некоторые опечатки. В частности, в описании первой главы перепутана аббревиатура метода спектральных элементов и метода конечных элементов.

Отзыв на автореферат Кудинова А.Н., доктора физико-математических наук, профессора, Руководителя НОЦ математического моделирования сложных систем и процессов ТвГУ, профессора кафедры математического моделирования и вычислительной математики Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Тверского государственного университета» (г. Тверь) имеет основные замечания: 1. Стоило бы не только внедрить разработанный программный модуль в существующий пакет, но и зарегистрировать интеллектуальную собственность на данный модуль. 2. Использование англоязычных сокращений GLL, GLC в автореферате не вполне оправдано - правильнее было бы использовать для сокращений кириллицу.

Отзыв на автореферат Шоркина В.С., доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, профессора кафедры «Физика» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (г.

Орел) имеет основные замечания: 1. Не ясно, при записи выражения (4) реферата варьирование какого из состояний предполагает автор – отсчетного или текущего.

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

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**предложена** математическая модель, описывающая напряженно-деформированное состояние оболочки при конечных перемещениях и поворотах с учетом изменения толщины оболочечного элемента;

**усовершенствована** модель геометрически точного описания направляющего вектора оболочечного элемента для использования со спектральными интерполяционными функциями;

**разработан** спектральный оболочечный элемент высокого порядка, свободный от различных форм заклинивания;

**разработан** алгоритм решения задач об определении напряженно-деформированного состояния оболочечной конструкции с помощью спектрального треугольного элемента, позволяющий с помощью технологий распараллеливания ускорить выполнение программы, реализующей данный алгоритм;

**получены** результаты решения модельных задач о напряженно-деформированном состоянии оболочек с использованием метода спектральных элементов, показывающие преимущество метода по точности по сравнению с методом конечных элементов при одинаковом числе степеней свободы.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

**доказана** применимость разработанной математической модели, методики и программного комплекса для исследования напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций;



**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** методы спектрального элемента, нелинейной теории упругости, вычислительной математики, методы и технологии разработки программного обеспечения;

**показана** эффективность использования 7-параметрической модели для оболочечного элемента высокого порядка на основе сравнения с решениями для известных оболочечных и трехмерных элементов;

**раскрыты** новые возможности исследования напряженно-деформированного состояния оболочек с помощью численного метода, разработанного в рамках модели спектрального треугольного элемента;

**усовершенствованы** численные методы Симо и Фокса описания интерполяции направляющего вектора конечного оболочечного элемента с учетом геометрически точной процедуры обновления направляющего вектора для использования со спектральными интерполяционными функциями, обеспечивающие получение ряда новых результатов в математическом моделировании оболочечных элементов.

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

для исследованных численных методов **разработан** программный комплекс, который может быть использован для решения практически значимых задач, связанных с нелинейным анализом оболочек;

**определены** перспективы практического использования разработанных моделей, численных методов и комплекса программ для исследования напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций;

научные результаты исследования в виде программного модуля **внедрены** в промышленную версию пакета для прочностного инженерного анализа Fidesys;

научные результаты исследования в виде комплексной математической модели, описывающей напряженно-деформированное состояние оболочки при конечных деформациях с учетом изменения толщины оболочечного элемента **внедрены** в учебный процесс ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого».

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила, что:

**теория** построена в рамках строгих доказательств с использованием экспериментальных данных и утверждений с указанием первоисточников;

**идея базируется** на использовании современных методов математического моделирования в механике деформируемого твердого тела;

**использованы** известные и апробированные численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных;

**установлено** соответствие результатов математического моделирования с данными и расчетами, проведенными другими исследователями.

**Личный вклад** соискателя состоит в непосредственном участии в исследовании моделей, разработке и обосновании численных методов, разработке комплекса программ, проведении вычислительных экспериментов, доказательстве основных результатов, подготовке результатов и личном участии в их апробации на всероссийских и международных семинарах и конференциях, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней.

На заседании 21.12.2017 г. диссертационный совет Д 999.055.04 принял решение присудить Петровскому К.А. учёную степень кандидата физико-математических наук за разработку варианта математической модели треугольного оболочечного спектрального конечного элемента высокого порядка и ее программную реализацию.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 12 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного  
совета



Тарануха Николай Алексеевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Лошманов Антон Юрьевич

21 декабря 2017 года