

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.075.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МАШИНОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.10.2019 г., протокол № 7

О присуждении Папкову Станиславу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Метод спектральной динамической жесткости в задачах колебания и устойчивости элементов конструкций» по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 16 мая 2019 г., протокол № 5, диссертационным советом Д 002.075.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук Министерства образования и науки Российской Федерации, 199178, Россия, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр-т, д. 61. Совет работает согласно приказу Минобрнауки РФ № 45/нк от 30.01.2019.

Соискатель Папков Станислав Олегович, 1973 года рождения. Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» «Асимптотические оценки решений бесконечных систем линейных уравнений и применение их в краевых задачах теории упругости» защитил в 2001 году в диссертационном совете К 11.051.05, созданном на базе Донецкого национального университета

Министерства образования и науки Украины. В настоящий момент работает заведующим кафедрой «Высшая математика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет».

Диссертация выполнена в Институте информационных технологий и управления в технических системах Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО СевГУ).

Научный консультант: отсутствует.

Официальные оппоненты:

Фролов Максим Евгеньевич, доктор физико-математических наук, директор Института прикладной математики и механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Радаев Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории «Моделирования в механике деформируемого твердого тела» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН».

Лукиянов Валерий Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий учебным центром НПО «Авангард», г. Санкт-Петербург.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ), г. Ростов-на-Дону, в своём положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой теории упругости, доктором физико-математических наук, профессором Ватульяном Александром Ованесовичем и утвержденным исполняющим обязанности проректора по научной и

исследовательской деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», доктором химических наук, старшим научным сотрудником Анатолием Викторовичем Метелицей указала, что диссертационная работа выполнена на высоком механико-математическом уровне, содержит новые результаты и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК России к докторским диссертациям по специальностям 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела». Её автор, Папков Станислав Олегович, заслуживает присуждение ему искомой степени доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет 75 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 42 научные работы, в том числе 23 статьи опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ, из них 2 в российских изданиях ВАК, 8 – в рецензируемых международных журналах, имеющих импакт-фактор Web of Science, 13 публикаций входит в список ВАК Украины для специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела», которые согласно постановлению Правительства РФ от 30 июля 2014 г. № 723 "Об особенностях присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий лицам, признанным гражданами Российской Федерации в связи с принятием в Российскую Федерацию Республики Крым и образованием в составе Российской Федерации новых субъектов - Республики Крым и города федерального значения Севастополя" учитываются как публикации ВАК.

Материалы диссертации докладывались на 15 международных научных конференциях, в том числе на международной научной конференции «Advances in Computational&Experimental Engineering and Sciences (ICCES 2012)» (Crete, Greece), на международной научной конференции «Twelfth Int. Conf. on Computational Structures Technology» (Stirlingshire, Scotland. 2014).

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Папков С.О. Асимптотически точное решение задачи о гармонических колебаниях упругого параллелепипеда // Известия РАН Механика твердого тела. 2017. № 6. С. 109-125.
2. Папков С.О. Флаттер заземленной ортотропной прямоугольной пластины // Вычислительная механика сплошных сред. 2017. Т.10, №4. С. 361-374.
3. Papkov S.O. A new method for analytical solution of in-plane free vibration of rectangular orthotropic plates based on the analysis of infinite systems // Journal of Sound and Vibration. 2016. 369. P. 228 - 245.
4. Papkov S.O. Vibrations of a Rectangular Orthotropic Plate with Free Edges: Analysis and Solution of an Infinite System // Acoustical Physics. 2015. Vol. 61, №2. P. 136 - 143.
5. Papkov S.O., Banerjee J.R. A new method for free vibration and buckling analysis of rectangular orthotropic plates // Journal of Sound and Vibration. 2015. 339. P. 342- 358.
6. Papkov S.O. Harmonic vibrations of a cross – base prism // Journal of Mathematical Sciences. 2015. Vol. 205, No 5. P. 691-705.
7. Papkov S.O. Three - dimensional dynamic problem of the theory of elasticity for a parallelepiped // Journal of Mathematical Sciences. 2015. Vol. 215, No 2. P. 121-142.
8. Banerjee J.R., Papkov S.O., Liu X., Kennedy D. Dynamic stiffness matrix of a rectangular plate for the general case // Journal of Sound and Vibration. 2015. 342. P. 177 - 199.
9. Papkov S.O., Chekhov V.N. Limiting Limitants in Dynamic Problems for a Rectangular Prism // Int. Applied Mechanics. 2013. Vol. 49, No 5. P. 555-569.
10. Papkov S.O. Steady-state forced vibrations of a rectangular orthotropic plate // Journal of Mathematical Sciences. 2013. Vol. 192, No 6. P. 691-702.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

Отзывы на диссертацию:

Замечания официального оппонента **Фролова Максима**

Евгеньевича:

1. На с. 34 приведена фраза "В [205] была предложена эффективная модификация", но не расшифровано, что понимается под "эффективная".

2. Часть ссылок на литературу дана без фамилий авторов, часть — с названием методов, а часть — с фамилиями. Необходимо дать аргументацию?

3. Фраза на с. 9 "получается фактически точное решение с инженерной точки зрения в любом диапазоне частот" — необходим комментарий, что это значит (что значит "фактически точное", как возможно получить решение "в любом диапазоне").

4. Некорректно сформулирована одна из задач — Развитие новых аспектов теории... которая позволяла бы ...строить новые ... решения.

5. Какой смысл вкладывается автором во фразу "Разработка метода определения с гарантированной точностью собственных частот"? Как именно гарантировать точность определения частот?

6. Фраза "Построение эффективного аналитического решения" требует комментария (с. 10). Каким образом аналитическое решение может быть эффективным или неэффективным?

7. В таблице 4.6 с. 143 в соответствующем столбце указано на число значащих цифр в результатах. Видимо, речь идет о верных значащих цифрах, поскольку их число меняется.

8. В работе замечено некоторое количество опечаток, например: с. 9 "Одним из путей к преодолению данной проблемы лежит в ...", с.23 Бригер вместо Биргер; с. 29 "при выполнениях некоторых дополнительных ограничениях"; с. 30 "полагаются нулю" вместо "полагаются равными нулю"; параграф 1.3 — в названии "Dynamic stiffness method" — англоязычный термин, а в оглавлении — более целесообразный в данном случае перевод на русский язык; в пункте 4.2.3. единственный раз возникает обозначение в тексте заголовка.

Замечания официального оппонента **Радаева Юрия Николаевича**:

1. В тексте диссертации временами встречаются слова и обороты украинского языка (см., например, с. 110), что, в общем, не препятствует прочтению диссертации.

2. Некоторые разделы (например, раздел 3.3) не нашли никакого отражения при обсуждении результатов диссертационного исследования и в тексте автореферата.

3. Пятая глава диссертационной работы занимает более 100 страниц текста, содержит 287 занумерованных формул и уравнений. Она (на мой взгляд) включает избыточный материал. Ее можно существенно сократить, объединив материал, связанный с плоскими задачами, не переизлагая при этом схему исследования плоских задач, подробно описанную в предыдущих главах.

4. Соискатель иногда дублирует рассуждения и выкладки: например, в шестой главе (раздел 6.2) изложена схема построения базисных функций для метода Бубнова–Галеркина в задаче о флаттере ортотропной пластины, но подробное описание этой схемы (с небольшими отличиями) уже имеется в третьей главе.

5. Имеются принципиальные возражения по поводу термина «общее решение уравнения в частных производных». Во многих местах диссертационного исследования (например, на с. 63) соискатель утверждает, что им получено *общее* решение уравнения для прогибов пластины (формула (3.7) на с. 63), пригодное для выполнения *любого* граничного условия на кромках пластины. Обычно в упомянутый термин вкладывается несколько другой смысл. Что значит *любое* граничное условие? Думаю, что для *любого* граничного условия метод разделения переменных не позволит получить решение в форме сходящегося ряда. В принципе, все решения, полученные методом разделения переменных, я бы трактовал как *формальные*, а вот их приведение к практически сходящимся рядам интересная и важная часть диссертационного исследования.

6. В диссертационном исследовании по понятным причинам приходится оперировать с термином *точность*. Соискатель оперирует с ним легко и свободно. Хорошо известно, что теория пластин Кирхгофа–Лява сама по себе накладывает ограничения на частотные диапазоны, в пределах которых результаты расчетов можно считать приемлемыми и в известном смысле точными. Поэтому точность численного метода (сколь бы высокой она не была) не принесет никакого нового знания, особенно в диапазоне высоких частот. Таким образом, результаты работы в этом плане укладываются в парадигму: *точное* решение *приблизленно* сформулированной задачи. Не могу также согласиться с термином *точность*, использованным при вычислении интегралов; так на с. 220 рассматривается интеграл и о нем говорится, что он вычисляется *точно* в терминах гипергеометрической функции. На протяжении всей работы соискатель говорит о *точном* (асимптотически точном, инженерно точном) аналитическом решении сформулированных прикладных задач. Строго говоря, речь должна идти об аналитических решениях, но всегда о не *строгих* аналитических решениях. Даже в том случае, когда на основании асимптотик удастся свернуть остатки рядов, решение можно отнести к классу аналитических, но не *строгих* аналитических. Представления решений в форме рядов (которые соискатель трактует как точные и полные (см., например, с. 182)) я бы характеризовал не как точные и полные, а как формальные.

7. На с. 228 используется разложение Кельвина поля перемещений на безвихревую и вихревую части (формула (5.197)) и указывается, что для полноты представления Кельвина необходимо дополнительное условие: расходимость поля векторного потенциала равна нулю (формула (5.198)). Сначала замечу, что подобного рода условия в волновых теориях обычно называются *условиями калибровки*. Далее позволю себе принципиально не согласиться с утверждением автора: представление Кельвина полно и без условия нулевой расходимости векторного потенциала, более того имеется

доказательство того, что навязывание калибровочного условия все же не лишает представление Кельвина свойства полноты. Более того, навязывание ряда других калибровочных условий (например, задание ненулевой расходимость поля векторного потенциала) снова не лишает представление Кельвина свойства полноты. Калибровочным условием нужно распоряжаться так, чтобы *максимально упростить* ход решения задачи. Чаще всего от него можно вообще отказаться и имеются многочисленные примеры того, как без него можно обойтись при решении задач об установившихся колебаниях упругих тел. В частности, можно задать значение какой-либо компоненты векторного потенциала (например, положить ее равной нулю).

Замечания официального оппонента **Лукиянова Валерия Дмитриевича**:

1. С учётом названия диссертации, которое содержит слово «метод», следовало бы посвятить один пункт диссертации формальному изложению сути этого метода, который в действительности раскрыт в работе через решения конкретных задач. Краткое изложение метода спектральной динамической жесткости должно присутствовать и в положении выносимого на защиту, с указанием полученных его применением результатов. Сам заголовок «Положений ..., согласно документам ВАК должен иметь вид «Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту».

2. Работа привязана к «прямоугольной» геометрии, так или иначе все рассмотренные объекты в качестве базового элемента имеют прямоугольную пластину. Это значительно сужает возможности применения метода. Фактически полно решается лишь задача анализа элементов конструкций, составленных из прямоугольных структурных элементов, хотя сам представленный метод безусловно может быть распространен, например, на «цилиндрическую» геометрию со смешанными граничными условиями, и даже на более сложную геометрию структурного элемента.

3. Заметим, что автор всюду использует термин «ортотропная пластина», хотя в действительности рассматривается специальный случай ортотропного материала. Предложенный метод более целесообразно для практических приложений было бы изложить сразу для общего случая ортотропного материала.

4. На странице 22 диссертации ошибочно указаны инициалы одного из авторов (О.Д. Петрашень). Должно быть Г.И. Петрашень, как правильно указано в списке литературы.

5. Замечаний по оформлению диссертации и автореферата отсутствуют, однако следовало бы включить в их текст пункт «Личный вклад автора в совместных работах» или указать, например, в автореферате в списке литературы доли личного участия в совместных публикациях.

Замечания ведущей организации:

1. Наиболее существенным недостатком предложенного метода является быстрый рост размерности спектральной динамической матрицы жесткости структуры с увеличением числа элементов, что при программной реализации требует существенных вычислительных ресурсов.

2. В четвертой главе при сравнении результатов, полученных в диссертации, с результатами, полученными методом конечных элементов, необходимо было указывать тип элемента и расчетное время, без этого сравнение не является информативным.

3. В диссертации основное внимание уделяется сравнению результатов с численными результатами, полученными на основе МКЭ. Другой альтернативой является метод граничных элементов и его модификации. Было бы уместным в диссертации осуществить такое сравнение.

Большое количество работ было выполнено в соавторстве (В.В.Мелешко, В.Н.Чехов). К сожалению, ни в диссертации, ни в автореферате отсутствует разделение результатов.

На автореферат поступило 9 отзывов, все положительные, пять отзывов с замечаниями.

1. Отзыв заместителя Председателя Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь (г. Минск), доктора физико-математических наук, профессора Щербакова Сергея Сергеевича с замечанием:

Автору следовало бы более полно указать частотный диапазон применимости теории тонких пластин.

2. Отзыв заместителя заведующего кафедрой механики композитов механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва), доктора физико-математических наук Никобадзе Михаила Ушангиевича с замечанием:

Не рассмотрены другие случаи граничных условий панели, в частности более интересный случай консольно-заземленной панели.

3. Отзыв 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, доктора физико-математических наук Келлера Ильи Эрнстовича с замечанием:

По содержанию работы ставится вопрос: могут ли в рассмотренных задачах возникать кратные собственные значения и вписываются ли эти случаи в разработанный аппарат.

4. Отзыв декана факультета ПММ, заведующего кафедрой математического и прикладного анализа ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доктора физико-математических наук, профессора Шашкина Александра Ивановича с замечаниями:

4.1. На стр. 16 присутствует некорректная, на наш взгляд фраза «найдется номер ..., начиная с которого ряды ... становятся меньше единицы».

4.2. На стр. 17 в комментариях к табл. 1 читаем «... что дает возможность найти ее значение (собственной частоты) с требуемой

точностью». Стоит ли понимать как «с любой наперед заданной точностью»? Этот вывод делается на основе численного эксперимента или имеет аналитическое подтверждение?

4.3. Превышен рекомендуемый объем автореферата для докторских диссертаций в 32 стр.

4.4. В тексте автореферата присутствуют несогласованные предложения и имеются другие незначительные погрешности в оформлении.

5. Отзыв профессора кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ), доктора технических наук, профессора Кузнецовой Виктории Николаевны с замечаниями:

5.1. Из автореферата осталось неясным, какие допущения приняты автором в разработанном методе спектральной динамической жесткости для анализа поперечных колебаний ансамбля прямоугольных пластин в случае произвольной комбинации классических граничных условий?

5.2. Что является направлением дальнейших исследований автора по тематике представленной диссертации?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они представляют собой признанных компетентных действующих специалистов в области механики деформируемого твёрдого тела, имеющих научные публикации в областях науки, затрагиваемых диссертацией, способных определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Впервые предлагается метод спектральной динамической жесткости, связанный с построением базисных функций для описания структурного элемента в вычислительных схемах задач колебания и устойчивости элементов конструкций. В отличие от стандартных базисных функций

метода конечных элементов, данные базисные функции является аналитическими решениями уравнений колебаний (устойчивости), что обеспечивает высокую точность определения необходимых параметров.

Данный подход позволяет получить в частности,

- аналитические решения для прямоугольных ортотропных пластин со свободными и защемленными краями;
- аналитические решения для вынужденных гармонических колебаний пластин с геометрией в виде равнобокого креста, позволяющие описать возникающие смещения и напряжения вблизи угловых точек области, вблизи резонансных частот;
- впервые построено асимптотически точное решение задачи о колебаниях упругого параллелепипеда в трехмерной постановке под действием приложенных к граням напряжений;
- впервые представлено решение задачи о панельном флаттере защемленной ортотропной панели.

Впервые разработан метод для отыскания собственных значений (собственных частот и критических сил) краевой задачи на основе новой теоремы существования единственного решения у квазирегулярной бесконечной системы, сформулирован и доказан достаточный признак существования ненулевого предела у решения бесконечной системы, который позволяет эффективно исследовать асимптотики полученных бесконечных систем.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в работе содержится решение важной научной проблемы анализа колебаний и устойчивости элементов конструкций для широкого класса механических структур. В диссертационной работе впервые представлены асимптотически точные решения ряда задач, позволяющие описать структурный элемент в форме пластины. Полученные с использованием новых результатов из теории бесконечных систем аналитические решения задач теории упругости для продольных и поперечных колебаний пластин, бруса с сечением в виде

крестообразной области, прямоугольного параллелепипеда впервые дают возможность для анализа сингулярностей в угловых точках. Развитая в работе асимптотическая теория квазирегулярных бесконечных систем линейных уравнений допускает применение также и во многих смежных дисциплинах (например, механика жидкости, гидроакустика, радиотехника) при анализе и решении краевых задач, которые до сих пор имели лишь численное решение.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики состоит в том, что данные решения могут быть использованы для параметрической оптимизации, анализа устойчивости к вибрации технических систем. На основе предложенного метода возможна разработка программного продукта для математического моделирования колебаний и устойчивости в технических системах.

Оценка достоверности результатов исследований выявила, что:

Результаты численного моделирования на основе разработанного спектрального метода динамической жесткости находятся в хорошем соответствии как с известными в литературе экспериментальными результатами, так и с результатами моделирования на основе других подходов, в частности, моделирования в конечно-элементных пакетах. Кроме того, достоверность работы подтверждается строгими математическими доказательствами представленных новых теорем из теории бесконечных систем, строгим математическим выводом всех формул.

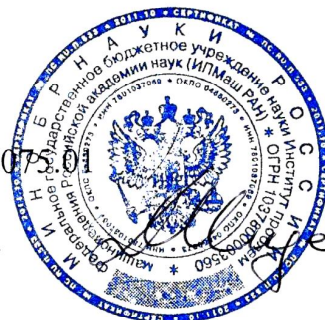
Личный вклад автора состоит в том, что он непосредственно участвовал в постановке задач по разработке теоретических подходов и выполнении численного моделирования по теме диссертации. Автор принимал личное участие в анализе экспериментальных и теоретических данных и обобщении полученных результатов, в написании ряда компьютерных процедур и программ для проведения моделирования, а также в написании и публикации статей по теме исследований. Автор разработал

идею исследования, сформулировал цели и задачи, выдвинул научные положения и обосновал выводы.

На заседании 10 октября 2019 года диссертационный совет принял решение (протокол №7) присудить Папкову Станиславу Олеговичу учёную степень доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 20, против - 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета Д 002.075.01
чл.- корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.



 Д.А. Индейцев

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.075.01
д.т.н., профессор



В.В. Дубаренко

11 октября 2019 г.