

Отзыв

**официального оппонента на диссертацию
Папкова Станислава Олеговича на тему «Метод спектральной
динамической жесткости в задачах колебания и устойчивости элементов
конструкций», представленной на соискание ученой степени доктора
физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика
деформируемого твердого тела**

Актуальность избранной темы диссертации

В диссертационной работе рассматривается вопрос построения новых асимптотически точных аналитических решений задач о колебаниях и устойчивости структурно сложного упругого элемента. Полученные решения позволяют проводить более эффективный, по сравнению с методом конечных элементов, анализ составных механических структур при увеличении частоты колебаний. В теории тонких пластин, даже в случае простейшей прямоугольной области, точное аналитическое решение возможно лишь для пластин с двумя противоположными свободно опертыми или с плавающей заделкой краями. Как правило, приближенное решение для иных граничных условий строится в аналитической форме на основе вариационного подхода. Заметим, что при возрастании частоты колебаний приходится увеличивать и число базисных функций, вовлекаемых в решение, в итоге порядок системы линейных уравнений относительно неопределенных коэффициентов достаточно быстро возрастает. При анализе отдельной пластины это не представляет проблемы, но использование подобных решений для описания структурного элемента оказывается слишком громоздким и неэффективным с вычислительной точки зрения.

В диссертации автор получил ряд новых результатов из теории бесконечных систем линейных алгебраических уравнений, которые позволяют найти степенные асимптотики нетривиальных решений бесконечных систем, соответствующих основным краевым задачам для прямоугольной области. Это дает возможность применить метод суперпозиции для построения замкнутого решения, описывающего

структурный элемент в форме прямоугольной пластины. При этом коэффициенты рядов, представляющих данное решение, выражаются через граничные кинематические и силовые характеристики, что позволяет осуществить стыковку структурных элементов в единую структуру. Методика упомянутой стыковки не является новой, и для пластин с шарнирно-опертыми краями реализована в работах W.H. Wittrick, F.W. Williams и J.R. Banerjee. Для пластин с произвольными граничными условиями работы в данном направлении ведутся в Великобритании (J.R. Banerjee, D. Kennedy), Китае (X. Liu), Италии (M. Boscolo) и Сербии (M. Marjanovic). Здесь ключевым моментом является форма решения для структурного элемента, которую указанные авторы выбирают либо, опираясь на решения по методу суперпозиции D.J. Gorman, либо опираясь на приближенное решение, полученное согласно вариационному принципу. Разработанный в диссертации метод позволяет получать асимптотически точное решение задач о колебании прямоугольных пластин и их ансамблей с произвольными граничными условиями, так как учитывает с помощью асимптотики всю бесконечную последовательность коэффициентов.

Отметим основные новые научные результаты диссертационной работы, а также обоснованность научных положений и выводов. Выполнен исчерпывающий обзор работ, опубликованных в мировой и отечественной научной литературе, посвященных вопросам построения аналитического решения задач о колебаниях тонких упругих пластин, плоской динамической задачи теории упругости. Представлено доказательство того, что на основе «method dual separation of variables» (Y. Xing и B. Li) невозможно построить точное решение уравнения колебаний пластины. На основе этих исследований соискателем предлагается использовать метод суперпозиции по модифицированному тригонометрическому базису при решении задач о колебании структурного элемента, состоящего из упругих пластины. Данный метод использует точные решения уравнения колебаний для построения общего решения в

форме рядов с неопределенными коэффициентами, относительно которых получены бесконечные системы уравнений. Используя авторское обобщение закона асимптотических выражений Б.М. Кояловича, впервые удастся найти асимптотики решений этих бесконечных систем и построить эффективный алгоритм их решения. Отдельно следует упомянуть разработанный соискателем подход к отысканию собственных чисел (собственных частот или критических сил) краевых задач на основе достаточного признака существования нетривиального решения у квазирегулярной бесконечной системы. Проверка условий данного признака сводится к аналитическому суммированию рядов в условиях регулярности и численному обращению конечной матрицы. В итоге удастся построить настолько достаточно приближённые оценки для собственных чисел краевой задачи, что их можно рассматривать как эталонные для приближенных методов.

В третьей и четвертой главах диссертации строится метод спектральной динамической жесткости для описания комбинированных структур, составленных из тонких прямоугольных ортотропных пластин. Приводятся примеры реализации метода для модельных задач, исследуется эффективность предлагаемого подхода в сравнении с методом конечных элементов. Достоверность полученных численных результатов подтверждается сравнением с известными по литературе результатами.

В пятой главе диссертации разработанный подход в решении краевых задач механики обобщается на случай плоской и трехмерной динамической задачи теории упругости. Соискателю удалось провести аналитическое описание особенностей напряжений в окрестностях внутренних угловых точек, провести устранение особенностей в представлении решения в окрестности внешних угловых точек, что для многих представленных задач было сделано впервые. Практически для всех модельных задач проводилось параметрическое исследование, как спектральных характеристик, так и особенностей напряженного состояния тела. Впервые проводится анализ спектра в случае установившихся вынужденных колебаний упругого

прямоугольного параллелепипеда в трехмерной постановке. Данный анализ показывает наличие эффекта краевого резонанса у конечного прямоугольного бруса при симметричных вынуждающих нагрузках.

В шестой главе диссертации разработанный подход обобщается на случай динамической устойчивости прямоугольной ортотропной панели. Получено решение задачи о флаттере заземленной ортотропной прямоугольной пластины в сверхзвуковом потоке газа, что позволило исследовать влияние граничных условий для пластины на физику флаттера. По результатам численных расчетов с использованием асимптотически точных решений сделаны качественные выводы о влиянии на динамическую устойчивость пластины сжимающих и растягивающих её нагрузок, определены критические значения параметра скорости потока, исследовано влияние на этот параметр изменения формы и жесткости пластины.

Результаты диссертации опубликованы в 42 работах, из которых 23 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, из них 15 – без соавторов. В их число входит 8 публикаций (5 – без соавторов) в ведущих зарубежных математических и физических журналах. Результаты работы доложены на 16 Международных конференциях и семинарах.

Автореферат даёт достаточно полное представление о диссертационной работе в целом и о полученных в ней основных научных результатах и положениях.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

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, выносимом на защиту, с указанием результатов, полученных с применением этого метода. 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 на более сложную геометрию структурного элемента.
3. Заметим, что автор всюду использует термин «ортотропная пластина», хотя в действительности рассматривается специальный случай ортотропного материала. Для практических приложений предложенный метод более целесообразно 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. В целом, замечаний по оформлению диссертации и автореферата нет. Однако следовало бы включить в их текст пункт «Личный вклад автора в совместных работах» или указать, например, в списке литературы доли личного участия в совместных публикациях.

Выводы

Диссертант в полной мере осведомлен о современном состоянии рассматриваемых проблем, при решении которых применяется сложный математический аппарат. При этом математические решения нацелены на объяснения, описания известных и предсказания новых практически важных эффектов, например, краевого резонанса, который выявлен при анализе вибраций элементов конструкций на устойчивость.

Отмеченные замечания не снижают высокого научного уровня диссертационной работы и не могут изменить общей положительной оценки рецензируемой диссертационной работы.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема в теории колебаний прямоугольных упругих пластин с произвольными граничными условиями и их ансамблей, имеющая важное прикладное значение.

Диссертация отвечает требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Папков Станислав Олегович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук
профессор
23.09.2019



В.Д. Лукьянов

Лукьянов В.Д.

Место работы: ОАО «Авангард»

Адрес предприятия: 195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72.

Должность: Ученый секретарь

Тел. +7 (921) 8999537.

Эл. почта: lukyanovvd@rambler.ru

Подпись Лукьянова Валерия Дмитриевича заверяю

Директор по персоналу ОАО «Авангард»

А.В. Елисеенко

Референт ОАО «Авангард»

И.А. Гонтаренко

