

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Жукова Виктора Тимофеевича на диссертацию Селиванова Ивана Алексеевича «Аэроупругие колебания ортотропной прямоугольной пластинки со смешанными граничными условиями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

Диссертация И.А. Селиванова посвящена созданию эффективного численного инструмента для исследования проблемы флаттера в практически важной области теории аэроупругости – упругих колебаний тонкостенных конструкций в потоке газа. Цель работы состоит в создании эффективных вычислительных алгоритмов, позволяющих приблизить расчетную модель к реальному объекту, анализу конкретных модельных задач. В работе реализованы эффективные численные алгоритмы без насыщения, автоматически реагирующие на гладкость решения, для определения критической скорости панельного флаттера. Проведены вычислительные эксперименты и сделан анализ полученных результатов.

Актуальность избранной темы.

Важным элементом решения задач о флаттере пластин является учет направления набегающего потока газа. Потребность в эффективной математической методике исследования панельного флаттера связана с внедрением в авиационной и аэрокосмической отраслях новых форм летательных аппаратов (ЛА), новых материалов, схем активного управления процессом обтекания и другие. Диссертация Селиванова И.А. расширяет область применимости передовых алгоритмов без насыщения К.И. Бабенко для решения задачи о флаттере прямоугольных пластин с различными граничными условиями и исследованиям зависимости критической скорости флаттера от направления потока газа.

Предпосылками для расширения работ данного направления являются, с одной стороны, развитие компьютеров и возрастание роли вычислений в научных исследованиях, а с другой стороны – сложность и масштабность задач авиа- и ракетостроения. Поэтому требуется радикальное усовершенствование численных методов. В этом отношении результаты, содержащиеся в диссертации, несомненно, представляются инновационными, важными и **актуальными**.

Актуальность темы диссертационного исследования полно раскрыта в автореферате и диссертации, где также дана формулировка цели и приведено обоснование основных положений и достижений исследования.

Соискателем развита новая вычислительная методика, включающая следующие основные достижения.

1. Разработан алгоритм без насыщения, дающий возможность рассчитывать критическую скорость флаттера прямоугольных пластин с учетом направления потока в плоскости пластин с различными граничными условиями. На его основе проведен многопараметрический анализ зависимости критической скорости флаттера при изменении направления потока от параметров соотношения сторон пластины и жесткостей пластины.

2. На основе численной методики представлен многопараметрический анализ зависимости критической скорости флаттера от направления потока для различных условий граничных условий.

Научная новизна диссертационной работы.

Селивановым И.А. разработан численный алгоритм без насыщения, автоматически реагирующий на гладкость решения, для расчета флаттера прямоугольных пластин. Такой алгоритм показал свою эффективность для решения несамосопряженных спектральных

задач для эллиптических уравнений в частных производных. Представлены результаты решения задач о колебаниях пластины в различных постановках. Разработанный алгоритм позволил провести многопараметрический анализ зависимости критической скорости флаттера от направления набегающего потока газа при изменении характеристик пластины, выявить новые характерные зависимости.

Практическая ценность результатов диссертации.

Диссертантом построены новые численные алгоритмы, доведенные до эффективной компьютерной реализации. Решены важные для приложений задачи вычисления критической скорости флаттера для пластин, обтекаемых сверхзвуковым потоком газа с учетом направления потока в плоскости пластин. Представленная вычислительная методика дает инструмент для оценки возможности возникновения неустойчивых колебаний, а также их влияние на прочность и управляемость ЛА и других конструкций панельного типа. Многопараметрический анализ выявил зависимости критической скорости флаттера от различных параметров задачи: направления потока, параметров пластины. Данные результаты могут найти эффективное применение в НИИ и КБ, специализирующихся на проектировании и расчетах конструкций ЛА.

Анализ содержания работы.

Диссертационная работа написана по традиционному плану, изложена лаконично, на 105 страницах, состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы (110 наим.) и 1 приложения. Каждая глава диссертации является завершенным исследованием, обусловленным общим предметом диссертационного исследования.

Первая глава посвящена решению задач о свободных колебаниях прямоугольных пластин. Аналогичные пластинки рассмотрены во второй и третьей главах. Глава нацелена на получение решений тестовых задач и сравнение с результатами других авторов. Задача о свободных колебаниях защемленной пластинки решается при помощи дискретизации, которая применяется во второй главе в задаче флаттера такой же пластинки. Для решения задачи о колебаниях пластинки со смешанными граничными условиями применяется метод Бубнова-Галеркина. Полученные результаты показывают хорошую точность и представляют собой основу для решения задач о флаттере пластин.

Вторая глава посвящена разработке численного алгоритма без насыщения для решения задачи о колебаниях ортотропной прямоугольной защемленной пластинки. Описывается процесс получения задачи на собственные значения, переход к безразмерным величинам, приводится условие возникновения неустойчивых колебаний пластинки. Представлен алгоритм поиска критической скорости флаттера, приводится интерполяционная формула и процесс получения алгебраической задачи на собственные значения. Приводятся результаты расчетов по исследованию зависимости критической скорости флаттера от направления потока при изменении соотношения сторон пластинки. На основе полученных результатов предложена аппроксимационная зависимость критической скорости флаттера от направления потока. Приводится сравнение результатов для квадратной изотропной пластинки с известными результатами, полученными методами Релея-Ритца, Галеркина, Бубнова-Галеркина и МКЭ.

Третья глава содержит решения задач о колебаниях изотропных и ортотропных пластин со смешанными граничными условиями и результаты расчетов. На основе предложенного численного алгоритма проведено исследование зависимости критической скорости флаттера от направления потока при изменении соотношения сторон пластины, толщины пластинки и скорости звука в ней. Выявлено, что для удлиненных пластин зависимость критической скорости флаттера от направления потока нелинейная.

В заключении представлены основные результаты работы.

Работа хорошо структурирована; последовательность изложения материала создает целостное представление о развитии теории, методов и личного вклада соискателя.

Распределение материала по главам выглядит вполне соразмерным. Работа содержит подробный обзор литературы по теме исследования, обоснованную научную постановку, практическую цель, включает описание новых разработок, имеющих существенное значение для развития применения передовых вычислительных методов в авиа- и аэрокосмическом проектировании. Научная проблема разработки методов решения задач о флаттере, поставленная в диссертации, лежит на важном направлении развития математического моделирования континуальных деформируемых сред при аэродинамических воздействиях и вычислительной механики деформируемого твёрдого тела (что соответствует пп. 11, 12 паспорта специальности 1.1.8).

Представленная работа является самостоятельным и завершённым исследованием в области создания эффективных вычислительных алгоритмов, позволяющих приблизить расчетную модель панельного флаттера к реальному объекту. Реализованные численные алгоритмы без насыщения, автоматически реагирующие на гладкость решения, получили подтверждение эффективности при вычислительных экспериментах по определению критической скорости флаттера. Полученные результаты имеют существенное значение для развития научных исследований и практического применения, они могут быть использованы с целью в проектных организациях круга ЦАГИ, ЦИАМ и др.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации научных результатов, выводов и заключений обеспечивается использованием классических методов механики сплошных сред, корректностью постановок задач, методическим контролем точности, сравнением полученных результатов с известными данными.

Публикации и апробация.

Результаты диссертации получили апробацию на двух международных конференциях, ряде научных семинаров МГУ. На основе проведенных исследований опубликованы 7 печатных работ, 3 из которых опубликованы в изданиях, индексируемых в базах Web of Science, Scopus, RSCI.

Замечания по работе.

Имеется ряд замечаний, касающихся в основном полноты изложения материала.

1. Работа очень лаконична. Результаты расчетов произвели бы более яркое впечатление при наличии их лучшего комментирования.

2. Автор указывает на высокую скорость работы алгоритма без насыщения, однако, в работе нет данных о времени счета, нет оценки вычислительной сложности алгоритма (например, в виде зависимости вычислительных затрат от шага сетки).

3. В диссертации приведены таблицы данных, полученных в расчетах на различных сетках. Но хороший уровень изложения такого рода материала должен заключаться в систематическом исследовании сходимости собственных значений и собственных мод на последовательности сгущающихся сеток с графическим представлением.

4. В диссертации нет информации о способе решения алгебраической задачи на собственные значения и нет обсуждения обусловленности алгебраической проблемы собственных значений для несимметричных матриц. К.И. Бабенко в своей монографии привел примеры патологических матриц, для которых эта проблема очень плохо обусловлена. Но он также указал, что для несамосопряженных задач на собственные значения для дифференциальных операторов (имея в виду в основном задачи об устойчивости течений вязкой жидкости), во многих случаях реализуется случай полупростых собственных значений, причем собственные функции образуют хороший базис. С другой стороны, С.К. Годунов с соавторами (В. Г. Буньков, В. Б. Курзин и др.) показал, что в задачах аэроупругости вычислительные процедуры, связанные со спектральным анализом матриц, играют большую роль.

Часто в качестве критерия устойчивости выступает утверждение, что все собственные значения матриц, построенных в процессе дискретизации, лежат строго в левой комплексной полуплоскости (как и в данной диссертации). Возникает вопрос о том, какой точности надо требовать от вычисления этих собственных чисел. Согласно С.К. Годунову формулировку вопроса следует модифицировать на основе теории Ляпунова. Опираясь на эту теорию и на ее современные обобщения, для получения обоснованного заключения следует пользоваться сложным вычислительным алгоритмом, основанным на критериях спектральной дихотомии и на одномерных спектральных портретах матриц, изображающих расслоение спектра. Отмечу, что в задачах аэроупругости турбомашин для анализа устойчивости лопаток используется менее сложный критерий качества, разработанный в СО РАН под руководством С.К. Годунова. Конечно, такого рода исследование может составить новую диссертацию, но очерчивание этого круга вопросов во введении украсило бы работу.

Данные замечания не затрагивают основного содержания работы и не влияют на общую положительную оценку.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в МГУ им. М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена в соответствии с приложениями № 5, 6 Положения о диссертационном совете МГУ им. М.В. Ломоносова. Соискатель Селиванов Иван Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент: доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела «Прикладные задачи механики сплошных сред» ФГУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Жуков Виктор Тимофеевич

подпись

«__» _____ 2023г.

Контактные данные: тел.: 7(499)220-79-43, e-mail: zhukov@kiam.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 05.13.08 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Адрес места работы: Россия, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4, «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Телефон: +7 499 978-13-14, факс: +7 499 972-07-37, электронная почта: office@keldysh.ru, Сайт организации: <https://www.keldysh.ru/>

Подпись Виктора Тимофеевича Жукова заверяю

Учёный секретарь ИПМ им. М. В. Келдыша РАН,

кандидат физ.-мат. наук

_____/А.А. Давыдов/

«__» _____ 2023г.