

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу  
Денисова Станислава Леонидовича  
«Комплексные исследования проблем долговечности ортотропных  
полигональных пластин с учетом эффектов экранирования шума от  
некомпактных источников», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»  
и по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Современный уровень развития авиационной техники предъявляет повышенные требования к качеству конструкционных элементов, в том числе, их долговечности и надежности в эксплуатации. Но наряду с этим возникает и другой важный вопрос об уменьшении акустического воздействия на окружающую среду. Это стимулирует повышенный интерес к исследованиям процессов взаимодействия деформируемых твердых тел в виде тонкостенных конструкций с акустическими средами. Несмотря на известные на сегодня экспериментальные и теоретические результаты, полученные в этой области, многие вопросы остаются изученными не достаточно. Таким образом, как в теоретическом, так и в практическом плане несомненна **актуальность** темы диссертации С.Л. Денисова, **целью** которой является исследование новых задач о долговечности ортотропных полигональных пластин неклассической формы, подверженных воздействию широкополосных акустических полей давлений, с учетом эффекта экранирования.

**Содержание** диссертации составляют введение, четыре главы, заключение и список литературы из 211 наименований. Ее общий объем – 186 стр.

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертации, ее научная новизна, достоверность и практическая значимость. Сформулирована цель работы и представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ известных публикаций по избранной теме. Дана математическая формулировка трехмерной задачи о рассеянии акустической волны от некомпактного источника на тонкой полигональной ортотропной пластине с произвольными однородными граничными условиями на контуре при наличии спутного потока. Предполагается, что для пластины справедлива гипотеза Кирхгофа-Лява, имеет место геометрическая и физическая линейность, но при этом уравнение движения пластины содержит слагаемое, описывающее конструкционное демпфирование. Поставленная задача относительно прогиба пластины и акустического потенциала является динамической стационарной и к ней применяется преобразование Фурье по времени. Приведены основные соотношения для вычисления долговечности пластин, подвергающихся случайным нагрузкам, с помощью моментов спектральной плотности напряжений различного порядка. Рассмотрены упрощающие допущения, позволяющие при отсутствии спутного потока свести исходную задачу к задаче дифракции звука на плоских экранах. Представлены основные соотношения геометрической теории дифракции

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 12 / 02 / 2018

и метода последовательностей максимальной длины, а также стохастической теории волн неустойчивости.

**Во второй главе** изложен численно-аналитический метод решения задач долговечности для ортотропной полигональной пластины при различных видах взаимной спектральной плотности акустического воздействия. Получены фундаментальные решения задачи вычисления долговечности ортотропной полигональной пластины, находящейся под действием широкополосного акустического поля. Представлены выражения для моментов спектральной плотности с использованием функции влияния и функции взаимной спектральной плотности акустической нагрузки. Для шарнирно закрепленной прямоугольной пластины найдено аналитическое решение задачи о долговечности в случае воздействия акустического поля с разными вариантами взаимной спектральной плотности. Приведены результаты расчетов, выполненных с помощью численной реализации такого решения, при этом построенный численно-аналитический алгоритм был протестирован на указанном примере.

В данной главе также представлены результаты выполненных с помощью разработанного метода расчетов среднеквадратичных напряжений и долговечности для ортотропной пластины в форме четырехугольника, но непрямоугольной.

**Третья глава** содержит результаты экспериментальных и теоретических исследований экранирования шума полигональными пластинами. Изложен метод решения задачи дифракции и экранирования акустического поля точечного источника на основе геометрической теории дифракции с учетом вторично дифрагированных волн. С помощью этого метода были выполнены расчеты для случая жесткого прямоугольного экрана. Валидация предложенного метода была проведена путем эксперимента с использованием метода последовательностей максимальной длины. Полученные результаты позволили идентифицировать вклады рассеивающих элементов экрана в полное акустическое поле.

Сделано обобщение геометрической теории дифракции на случай экранирования при наличии спутного потока, проведен анализ граничных условий на задней кромке обтекаемой пластины.

Приведены результаты экспериментальных исследований экранирования шума одноконтурной струи прямоугольным экраном при отсутствии спутного потока. Согласно стохастической теории шума из множества монополей, расположенных на оси струи, сформирован некомпактный источник, моделирующий волны неустойчивости. Получена формула для расчета акустического поля, излучаемого таким источником.

**В четвертой главе** исследуется воздействие шума, излучаемого как точечным, так и некомпактным источником, на эффективность экранирования и долговечность полигональных пластин сложной формы. Представлены результаты расчетов для случая точечного источника и описан соответствующий эксперимент, целью которого являлась валидация метода расчета. Проведены вычисления эффективности экранирования воздействия точечного источника при наличии спутного потока. Выполнены расчеты экранирования шума волн неустойчивости пластиной сложной формы, а также расчеты среднеквадратичных напряжений и долговечности такой пластины при акустическом воздействии, излучаемом волнами неустойчивости.

**Закключение** содержит перечень основных результатов работы

**Основные научные результаты, полученные лично соискателем, состоят в следующем.**

1. Разработан метод расчета параметров напряженно-деформированного состояния и долговечности ортотропных полигональных пластин при широкополосном случайном акустическом воздействии с произвольной пространственной структурой акустического поля.

2. На основе геометрической теории дифракции разработан метод расчета дифракции и экранирования акустического поля плоским полигональным экраном с учетом волн вторичной дифракции при наличии спутного потока. В результате проведенных экспериментальных исследований и выполненных расчетов предложен алгоритм оценки эффективности экранирования шума высокоскоростных струй.

3. С помощью метода последовательностей максимальной длины на плоских прямоугольных экранах проведена экспериментальная валидация предложенного метода расчета дифракции и экранирования.

4. На основе разработанного численно-экспериментального метода решены новые задачи дифракции и долговечности для полигональной пластины сложной формы при монополюсном источнике звука и некомпактном источнике, в качестве которого рассматривались волны неустойчивости.

Можно утверждать, что в диссертации получены **новые** важные результаты, имеющие научную ценность. **Практическая ценность** работы состоит в том, что ее результаты можно использовать при исследовании задач долговечности тонкостенных элементов авиационных конструкций, а также при экспериментальном и теоретическом исследовании задач авиационной акустики, в том числе, эффективности экранирования звуковых полей, излучаемых некомпактными источниками.

**Обоснованность и достоверность** результатов диссертации обеспечиваются корректностью постановок задач, применением строгого математического аппарата и адекватных численных методов, а также сопоставлением некоторых результатов с точными аналитическими решениями. При этом достоверность результатов экспериментов обеспечивается тщательностью их проведения с использованием сертифицированного оборудования и сравнением с результатами вычислений в отдельных случаях.

**По работе имеются следующие замечания:**

1. В работе используется уравнение динамики пластины, которое содержит слагаемое, описывающее диссипацию энергии с соответствующим коэффициентом демпфирования, поэтому употребление термина «упругая пластина» является не вполне корректным.

2. Стоило бы дать пояснение по поводу того, почему в формуле (2.2.18) при расчетах моментов спектральной плотности удерживалось именно 10 членов ряда.

3. Следовало бы более подробно объяснить процесс идентификации вкладов возмущений от различных ребер полигонального экрана в полное звуковое поле в точке наблюдения.

4. Замечания редакционного характера. В тексте имеется ряд опечаток, несколько затрудняющих восприятие материала. Так, например, на стр. 99, 101, 102 обозначения краев пластины не соответствуют рис. 2.4.1; в формуле (3.5.14) разные

величины (индекс и мнимая единица) обозначены одинаково, на стр. 144, 149, 150 неверно указаны ссылки на формулы и рисунки. Следует также заметить, что чтение текста диссертации было бы более удобным при наличии на отдельной странице списка используемых сокращений (аббревиатур).

Сделанные замечания не снижают высокой оценки работы С.Л. Денисова, которая изложена достаточно подробно и хорошо оформлена.

**Заключение.** Диссертационная работа С.Л. Денисова выполнена на высоком научном уровне. Она представляет собой законченное исследование, в котором получены новые важные результаты в области динамики деформируемых твердых тел, взаимодействующих с акустическими средами, и теории дифракции. Автореферат правильно и полно отражает ее содержание, основные результаты опубликованы в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, а также апробированы на международных и российских научных конференциях. Рецензируемая работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Денисов Станислав Леонидович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
НИИ Механики МГУ им. М.В.Ломоносова  
119192 Москва, Мичуринский проспект, д. 1  
(495)939-55-12, serp56@yandex.ru

6 февраля 2017 г



Пшеничнов  
Сергей Геннадиевич

Подпись д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника  
С.Г. Пшеничнова подтверждаю.

Директор НИИ Механики МГУ  
академик РАЕН



Ю.М. Окунев