

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ
Российской академии наук**



125040, Москва, Ленинградский пр-т, д.7, стр.1
тел. (495)946-18-06, 946-18-03; факс: (495)946-18-03
e-mail: iam@iam.ras.ru

Утверждаю

Директор ИПРИМ РАН,
Доктор технических наук,
профессор Власов А.Н.



2018 г.

" " _____ 2018 г.

Исх. № _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию 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»

Задачи определения напряженно-деформированного состояния и долговечности упругих пластин при силовом воздействии, носящим случайный характер возникают во многих отраслях науки, техники и жизнедеятельности человека, но наиболее часто такие задачи встречаются в гидро- и авиационной акустике. Данная работа посвящена комплексным исследованиям задач долговечности полигональных ортотропных пластин, используемых в качестве силовых элементов конструкции планера самолёта при акустическом воздействии с широким частотным спектром, например, от силовой установки самолета.

Вопросы долговечности пластин при акустическом воздействии исследованы достаточно широко, однако полученные результаты в основном относятся к пластинам канонической формы (прямоугольным, круглым). Используемые ранее при расчетах модели акустических полей, описывающие распределение звукового поля по поверхности пластины, носят упрощенный

Вх. № _____
"12" 02 2018

характер и редко реализуются на практике. Указанные факторы, с учетом активного развития численных методов расчета (например, Метод Конечных Элементов – МКЭ), подтверждают актуальность разработки новых практических методов расчета отклика и долговечности, позволяющих учесть различные условия закрепления пластины и распределение звукового поля по её поверхности, что и является темой диссертационной работы.

Рассматриваемые в диссертационной работе пластины также могут применяться в качестве акустических экранов, используемых для снижения шума самолёта на местности (эффект экранирования). Расчет эффективности экранирования является сложной задачей в силу специфической природы авиационных источников шума, главной чертой которых является их некомпактность: длины излучаемых ими звуковых волн меньше или соизмеримы с характерными размерами источника. Более того, поскольку источники располагаются близко к поверхности планера самолёта, для корректного расчёта дальнего поля необходимо использование метода расчёта дифракции, корректно описывающего фазовую структуру звукового поля в ближней зоне.

Таким образом, тема диссертационной работы Денисова С.Л., посвященная разработке методов расчета отклика, долговечности и эффективности экранирования шума некомпактных источников полигональными ортотропными пластинами, является важной и **актуальной**.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что на основе развитого в работе гибридного численно-аналитического метода разработан алгоритм расчета отклика и долговечности ортотропных полигональных пластин, подвергающихся акустическому воздействию с широким спектром, при произвольных условиях закрепления пластины и произвольной пространственной структуре действующего акустического поля.

С использованием Геометрической Теории Дифракции (ГТД) впервые разработан и реализован алгоритм расчета экранирования звука плоскими полигональными экранами с учетом вклада волн вторичной дифракции при наличии однородного спутного потока. Проведена экспериментальная валидация предложенного метода расчета экранирования на плоских прямоугольных экранах и маломасштабных моделях с помощью метода М-последовательностей на основе теоремы взаимности.

Предложен алгоритм оценки эффективности экранирования шума высокоскоростных струй, на основе проведения комплекса расчетных и экспериментальных исследований. С помощью основанного на ГТД алгоритма расчета экранирования решена новая задача дифракции на плоском экране

произвольной формы некомпактного источника звука, в качестве которого используется модель волн неустойчивости.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

В первой главе проведен обзор литературы, посвященный теме диссертации, и обсуждается современное состояние различных аспектов проблемы расчета отклика, долговечности и экранирования шума при акустическом воздействии. Сформулирована постановка задачи рассеяния звука, излучаемого некомпактным источником, плоской полигональной пластиной при наличии потенциального спутного потока в трехмерном случае. Значительное внимание уделено рассмотрению различных методов расчета долговечности конструкций при акустическом воздействии, обсуждению основных положений ГТД и ее сравнению с другими методами расчета, а также получению необходимых расчетных выражений для шума, излучаемого волнами неустойчивости.

Во второй главе в математически строгой постановке решена задача построения фундаментального решения для отклика и долговечности плоской полигональной пластины, подвергающейся случайному акустическому воздействию с широким спектром при произвольных условиях закрепления по периметру. Для шарнирно-опертой по периметру ортотропной прямоугольной пластины проведено вычисление долговечности с помощью четырех различных теорий при воздействии звуковых полей с различной пространственной структурой. На основе полученного аналитического решения с помощью МКЭ построен численно-аналитический метод расчёта отклика и долговечности для плоских полигональных ортотропных пластин. Проведена верификация построенного метода на примере задачи о шарнирно-опертой по периметру пластине, имеющей точное аналитическое решение. Кроме того, для неканонической четырехугольной ортотропной пластины с комбинированными граничными условиями выполнен анализ влияния пространственной структуры звукового поля на долговечность, вычисленную с помощью различных теорий.

Третья глава посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям экранирования шума точечных и некомпактных источников прямоугольными экранами. Основываясь на ГТД, для монопольного источника предложен алгоритм расчета экранирования звука плоским прямоугольным экраном. С помощью метода последовательностей максимальной длины проведена успешная экспериментальная валидация предложенного алгоритма. Для одноконтурной высокоскоростной струи выполнено экспериментальное исследование эффекта экранирования шума при различных взаимных положениях сопла относительно экрана. Опираясь на экспериментальные

данные, получены соотношения, позволяющие решить задачу расчета дифракции звука при наличии спутного потока с помощью методов ГТД. На основе стохастической теории шума волн неустойчивости из монополей построен модельный некомпактный источник шума струи, для которого получено аналитическое выражение, позволяющее вычислять диаграмму направленности излучения при наличии и отсутствии экранирующей поверхности.

В четвертой главе проводится расчетное и экспериментальное исследование эффективности экранирования плоским полигональным экраном шума, излучаемого точечным и некомпактным источниками; для метода последовательностей максимальной длины сформулирована концепция эксперимента на основе теоремы взаимности. Также проведено расчетное исследование отклика и долговечности плоской прямоугольной пластины и плоской полигональной пластины при воздействии шума, излучаемого некомпактным источником, в качестве которого рассматриваются волны неустойчивости.

Разработанные автором численно-аналитический метод расчета отклика и долговечности и алгоритм расчета экранирования на основе ГТД являются новыми и имеют научную и практическую ценность. Представление шума, излучаемого волнами неустойчивости, с помощью набора точечных монопольных источников с распределённой амплитудой также является оригинальным результатом, имеющим научную ценность.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата при их обосновании, а также сравнением с задачами, имеющими точное аналитическое решение, а достоверность экспериментальных результатов обеспечивается проведением исследований в сертифицированной акустической камере АК-2, а также использованием экспериментальных установок, регистрирующей и анализирующей аппаратуры, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к прецизионным измерениям.

Практическая значимость разработанного численно-аналитического метода расчета долговечности и алгоритма расчета экранирования при широкополосном акустическом воздействии представляет интерес с позиции изучения напряженно-деформированного состояния упругих элементов конструкции планера самолёта при воздействии акустических нагрузок различного вида. Результаты расчетов можно использовать при анализе отклика и долговечности пластин при проведении экспериментов как в реверберационных камерах или камерах бегущей волны, так и на стадии проектирования летательных аппаратов.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

- 1. При моделировании шума волнами неустойчивости необходимо учитывать азимутальные моды высшего порядка, однако автор ограничился только одномодовым приближением (см. глава 1 и глава 3). Желательно обобщить используемую расчётную модель и на этот случай.
- 2. Рассмотренные в работе пространственные распределения звуковых полей, кроме диффузного поля, носят модельный характер. Более реалистичным является использование поля пульсаций пограничного слоя (модель Коркоса, Смольякова). Также представляется интересным проанализировать отклик и долговечность пластины при воздействии источника такого рода.
- 3. При практическом расчете долговечности часто используется формула Майлса, применяемая для пластины, заземлённой по контуру. Было бы желательно в главе 2 провести сравнительный расчет среднеквадратичных напряжений и долговечности с помощью формулы Майлса и предложенного численно-аналитического метода.

Основные результаты диссертации опубликованы в 31-ой работе, 9 из которых – в рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК.

Результаты диссертации Денисова С.Л. могут быть использованы в практической работе в следующих организациях: НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносова, ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича СОРАН», АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СОРАН», ФГУП «ЦАГИ», ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина», ФГБУН «ИПРИМ РАН», ФГБОУВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), ФГБОУВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева - КАИ», ФГБОУВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), ПАО «Туполев», ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», ПАО «Иркут», АО «ОДК-Авиадвигатель» и др.

Сделанные замечания не отражаются на высокой оценке диссертации С. Л. Денисова в целом. Общие выводы диссертации соответствуют содержанию проделанной работы. Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

Диссертация Денисова С.Л. выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Денисов С.Л. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» и 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден Ученым советом ИПРИМ РАН; протокол № 01/18 от 16 января 2018 г.

Главный научный сотрудник лаборатории
физико-химической механики перспективных технологий
ФГБУН ИПРИМ РАН,
доктор технических наук

Бошнятов Борис Владимирович

Ученый секретарь
ФГБУН ИПРИМ РАН,
Кандидат физико-математических наук



Карнез Юлия Николаевна

Контактные данные организации:

ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук
125040, г. Москва, Ленинградский проспект, д.7, стр.1.

Телефон: 8 (495) 946-18-06

Факс: 8 (495) 946-18-03

E-mail: iam@iam.ras.ru

Официальный сайт: <https://iam.ras.ru>