

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Денисова Станислав 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 специальностям 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела и 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Денисов Станислав Леонидович в 2005 г. окончил Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова по специальности «Физика» с присуждением квалификации «Физик». Денисов С.Л. продолжил обучение в заочной аспирантуре Московского авиационного институт (технического университета) по специальностям 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» и 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», которую успешно закончил в 2016 году.

За время обучения в аспирантуре диссертант освоил новые для себя разделы механики деформируемого твердого тела, теории пластин и оболочек и теоретической аэроакустики. Приобрел опыт в вопросах планирования и проведения экспериментальных исследований, а также обработки результатов экспериментальных данных в задачах акустики и аэроакустики. Уверенно овладел различными аналитическими и расчётными методами, необходимыми для выполнения исследований в вышеперечисленных научных областях.

Во время обучения в заочной аспирантуре Денисов С.Л. работал инженером 2-категории в Отделении аэроакустики и экологии ЛА (НИО-9) ФГУП «ЦАГИ», в котором был выполнен основной объем научных исследований диссертационной работы.

В диссертационной работе Денисова С.Л. решены новые задачи долговечности для ортотропных полигональных пластин, а также исследованы экранирующие акустические свойства последних на основе разработанного численно-экспериментального метода.

Разработанный метод основан на использовании фундаментального решения для оператора колебаний ортотропной пластины и восстановлению акустического поля давления, действующего на пластину, по результатам экспериментальных данных в дальнем поле экрана. В качестве источников возмущения рассмотрены как точечные, так и распределенные источники, моделирующие волны неустойчивости.

**Актуальность работы** связана с необходимостью решения во многом противоречивых задач долговечности и экранирования для полигональных пластин, которые являются элементами конструкций летательных аппаратов. С одной стороны, повышаются требования к долговечности и надежности узлов и агрегатов авиационной техники, а с другой ужесточаются экологические требования в сторону снижения акустического воздействия на окружающую среду. Решение последней задачи напрямую связано с исследованием проблемы экранирования шума, в том числе, и полигональными экранами.

Необходимо отметить, что в настоящее время вопрос влияния пространственной структуры акустических полей на напряжённо-деформированное состояние и долговечность упругих пластин недостаточно исследован. Это связано с тем, что рассматривавшиеся ранее случаи ограничивались упрощенными моделями полей и/или простыми условиями закрепления, а имеющиеся методики носят полуэмпирический характер, что затрудняет их широкое использование и обобщение на материалы с новыми свойствами.

Актуальными также являются задачи экспериментальных исследований эффекта экранирования для снижения шума авиационных силовых установок, как в дальнем, так и ближнем поле, а также восстановления акустического давления, действующего на пластину, по результатам экспериментальных исследований. Появляется необходимость решения новых задач дифракции, в том числе на основе новых экспериментальных методик по исследованию экранирования шума некомпактных источников.

**Целью** диссертационной работы являлось исследование новых задач о долговечности упругих ортотропных полигональных пластин, находящихся под воздействием широкополосных акустических полей давлений с учетом эффекта экранирования.

**К научной новизне** диссертационной работе относятся.

- Комплексные исследования задач долговечности и экранирования для ортотропных полигональных пластин неклассической формы.
- Разработка алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности ортотропных полигональных пластин, подвергающихся акустическому воздействию с широким спектром, при произвольных условиях закрепления пластины и произвольной пространственной структуре действующего акустического поля.
- Разработка и реализация метода расчета экранирования звука плоскими полигональными экранами с учетом вклада волн вторичной дифракции при наличии однородного спутного потока.
- Разработка метода оценки эффективности экранирования шума высокоскоростных струй, на основе проведения комплекса расчетных и экспериментальных исследований.
- Валидация расчетного метода геометрической теории дифракции на плоских прямоугольных экранах и маломасштабных моделях с помощью метода М-последовательностей на основе теоремы взаимности.
- Решение новых задач дифракции на плоском экране произвольной формы некомпактного источника звука, в качестве которого используется модель волн неустойчивости.

**Достоверность** полученных результатов, обеспечивается сравнением последних с задачами, имеющими точное аналитическое решение, корректным использованием математического аппарата при их обосновании, проведением исследований в сертифицированной акустической камере АК-2 (ЦАГИ) в соответствии с ГОСТ ISO 3745-2014 «Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению», а

также использованием экспериментальных установок, регистрирующей и анализирующей аппаратуры, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к прецизионным измерениям.

Достоверность экспериментальных результатов, относящихся к методу М-последовательностей, обеспечивается как сравнением с простым случаем распространение волн в пространстве при отсутствии экранирующих поверхностей, так и сравнением вычисленных значений импульсного отклика с измеренным экспериментально.

**Практическая значимость.** Методы и алгоритмы, предложенные в работе, представляют большой практический интерес для задач долговечности тонкостенных авиационных конструкций и задач аэроакустики.

Предложенный численно-аналитический метод расчёта отклика и долговечности пластин при широкополосном акустическом воздействии представляет интерес для расчета напряженного-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.

Рассмотренный в данной работе метод дифракционного эксперимента на основе метода последовательностей максимальной длины также может быть использован для анализа эффективности экранирования шума поверхностями летательных аппаратов, а также для планирования акустических измерений в непригодных помещениях с точки зрения идентификации и минимизации вкладов паразитных сигналов.

Построенный на основе анализа экспериментальных данных и ГТД алгоритм решения задачи дифракции на плоских полигональных экранах в дальнейшем может быть использован при расчете эффективности экранирования звуковых полей, излучаемых некомпактными источниками.

**Основные результаты**, полученные в диссертационной работе, изложены в 31 печатной работе, 9 из которых – в журналах из перечня ВАК Российской Федерации.

Денисов С.Л. – квалифицированный сложившийся ученый. Для него характерны глубокая профессиональная подготовка в области механики деформируемого твердого тела, механики жидкости и газа, акустики, численных методов и методов проведения экспериментальных исследований, а также способность предлагать новые подходы к решению междисциплинарных задач. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором и при его непосредственном участии.

Диссертация Денисова С.Л. является законченной научно-квалификационной работой, в которой получены новые значимые результаты как в рамках механики деформируемого твердого тела, так и механики жидкости, газа и плазмы. Диссертация соответствует критериям, установленным положением ВАК Российской Федерации о порядке присуждения ученых степеней и званий.

Выполненные Денисовым С.Л. научные исследования и его повседневная научная деятельность подтверждают его высокую научную квалификацию. 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.

Научный руководитель,  
директор департамента координации  
и сопровождения государственных программ  
ФГБУ «Национальный исследовательский центр  
«Институт имени Н.Е. Жуковского»,  
доктор физико-математических наук, доцент

Личную подпись А.Л. Медведского заверяю  
Начальник отдела кадров



А.Л. Медведский

А.С. Никифоров