

ОТЗЫВ

официального оппонента Комкина Александра Ивановича
на диссертационную работу Кустова Олега Юрьевича
«Развитие методических основ экспериментального и расчетного
определения акустических характеристик звукопоглощающих
конструкций в условиях нормального падения звуковых волн»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.3.7 – Акустика

Актуальность темы диссертации

Одним из главных негативных факторов акустического загрязнения окружающей среды является авиационный шум. Международная Организация Гражданской Авиации (ИКАО) постоянно ужесточает международные стандарты по шуму самолетов на местности, стимулируя тем самым производителей авиационной техники развивать новые технологии снижения авиационного шума. Ранжирование источников шума современного самолета показывает, что к основным источникам шума относится является вентилятор турбореактивного двухконтурного двигателя. Для снижения его шума вентилятора каналы такого двигателя облицовываются специальными звукопоглощающими конструкциями (ЗПК). Эффективность такого способа снижения шума авиационного двигателя зависит от правильной настройки импеданса звукопоглощающих конструкций (ЗПК), которая должна учитывать условия распространения шума в каналах. В результате акустическое проектирование ЗПК заключается в выборе таких конструкционных параметров, которые обеспечили бы эффективный импеданс при заданных условиях эксплуатации ЗПК. Такая задача решается на основе расчета по полуэмпирическим моделям, однако в силу ограниченности аналитических методов решения эти модели строятся на упрощенном описании физических процессов, поэтому согласование расчетных акустических характеристик с результатами, экспериментов наблюдается редко. Диссертационная работа Кустова О.Ю. посвящена экспериментальным и численным исследованиям акустических процессов в образцах ЗПК. Прогнозирование акустических характеристик ЗПК на основе численного моделирования является перспективным подходом, а развитие соответствующих методических основ экспериментального и расчетного определения акустических характеристик звукопоглощающих конструкций является актуальной научной задачей.

Анализ содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы, который включает в себя 110 работ российских и зарубежных авторов. Общий объем диссертации составляет 137 страниц.

Во введении достаточно полно отражена актуальность темы, цель и задачи исследования, описана научная новизна, структура, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации проведен широкий обзор экспериментальных, теоретических и расчетных работ, направленных на исследование акустических характеристик ЗПК авиационного двигателя, основными из которых являются коэффициент звукопоглощения α и импеданс Z . Проведен обзор работ по экспериментальному исследованию акустических характеристик ЗПМ, как в акустических интерферометрах, когда звуковая волна падает по нормали к поверхности образца, так и в каналах с потоком, когда образец ЗПК размещается на стенке канала. Приведены разработанные различными авторами полуэмпирические модели, описывающие акустический импеданс ЗПК в зависимости от таких параметров как глубина воздушной полости резонаторов; пористость, диаметр отверстий и толщина перфорированной панели, скорость потока на поверхности ЗПК; спектральный состав шума, падающего на ЗПК. Кроме того, в этой главе большое внимание уделено обзору работ по численному моделированию физических процессов, происходящих в локально-реагирующих ЗПК. При этом обычно численное моделирование верифицируется, основываясь на результатах экспериментальных работ. В заключении этой главы делается вывод, что актуальной является реализация комплексного подхода в исследованиях, где точность определения акустических характеристик ЗПК достигается не только за счет развития расчетной модели, но и путем усовершенствования постановки натурального эксперимента, данные которого используются для верификации расчетной модели.

Во второй главе представлена разработка интерферометра нормального падения звуковых волн в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа Центра акустических исследований ПНИПУ и его модификация с разработкой автоматизированной системы контроля усилия поджатия образцов ЗПК. Было предложено улучшить поджатие образца ЗПК, и взамен обычного поршня был разработан поршень с пневматическим цилиндром и блоком управления, который всегда обеспечивал в пневматическом цилиндре давление 0.4 МПа. Это позволило бы снизить

разбросы значений акустических характеристик образцов ЗПК при проведении экспериментальных исследований. Также проведено комплексное исследование влияния геометрических особенностей образцов ЗПК на получаемые акустические характеристики. Проведенная серия исследований на интерферометре с контролем поджата позволила сформулировать важные рекомендации по созданию образцов ЗПК, предназначенных для испытаний с целью получения данных для верификации моделей прогнозирования акустических характеристик. Согласно этим рекомендациям, образцы ЗПК для испытаний лучше создавать посредством аддитивных технологий, хорошо обеспечивающих требуемые геометрические характеристики и одновременно позволяющих изготавливать образцы нужной конфигурации. При этом желательно сохранять требуемый процент перфорации не только для площади всей перфорированной пластины, но и для отдельной соты, а отверстия в перфорированной пластине не должны попадать на стенки ячеек резонаторов. Кроме того, изготовленные образцы ЗПК должны быть проверены на соответствие геометрических характеристик проектным параметрам с помощью высокоточных измерительных инструментов.

В третьей главе рассмотрены различные постановки численного моделирования физических процессов в интерферометре нормального падения звуковых волн с целью прогнозирования акустических характеристик образцов. Исследовано влияние параметров расчетной модели на точность прогнозирования акустических характеристик ЗПК. Для определения акустических характеристик ЗПК в работе предложено реализовать виртуальный эксперимент по испытанию образца ЗПК в интерферометре нормального падения. Численное моделирование работы интерферометра осуществлялось в ANSYS Fluent. При этом были проведены исследования влияния на получаемые расчетные акустические характеристики образца ЗПК параметров расчетной модели: сеточной дискретизации; формы элементов сетки; модели турбулентности. Были проведены расчеты как для однослойной так и для двух- и трехслойных сотовых ЗПК. Результаты расчетов и сравнивались с результатами экспериментальных исследований и показали хорошее соответствие друг другу.

В четвертой главе представлена методика прогнозирования акустических характеристик звукопоглощающих конструкций локально-реагирующего типа на основе численного моделирования физических процессов в интерферометре с нормальным падением волн. Методика

включает в себя три основных этапа: выбор геометрии образца исследуемой ЗПК; численное моделирование физических процессов в интерферометре с нормальным падением волн; обработка результатов численного моделирования 2-микрофонным методом передаточной функции. Рассмотрены перспективы применения методики в прикладных и научных исследованиях.

В заключении подробно описаны основные результаты работы.

Научная новизна работы

Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что на их основе сформулированы методические рекомендации проведения испытаний образцов ЗПК в интерферометре, обеспечивающие уменьшения разброса в получаемых результатах измерений, а следовательно, и снижение рассогласования результатов эксперимента и расчетных данных. Кроме того, предложена методика прогнозирования акустических характеристик многослойных ЗПК локально-реагирующего типа на основе численного моделирования физических процессов в интерферометре нормального падения при высоком уровне звукового давления. Впервые на основе численного моделирования полномасштабных образцов ЗПК продемонстрировано, что получаемые на основе методики акустические характеристики ЗПК лучше согласуются с результатами натуральных экспериментов, чем предсказанные на основе полуэмпирической теории.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и заключается в том, что разработан интерферометр с нормальным падением волн, позволяющий проводить испытания образцов ЗПК в условиях контролируемой силы поджатия образца, защищенный патентом на изобретение, а также созданы эталонные, с минимальными погрешностями изготовления образцы одно-, двух- и трехслойных ЗПК с характеристиками, соответствующими реальным звукопоглощающим облицовкам каналов авиационного двигателя.

Оценка достоверности полученных результатов

Достоверность приведенных в диссертации результатов подтверждается путем сравнения полученных экспериментальных данных с результатами других авторов, полученных в аналогичных экспериментах, а

также верификацией используемых численных моделей путем сравнения данных численных расчетов с расчетами других исследователей.

Результаты работы опубликованы 19 научных статей в изданиях, определенных в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК, из них 8 работ опубликованы в изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, по материалам конференций опубликовано 4 работы в журналах, входящих в базу данных Scopus.

Автореферат содержит краткое изложение материала диссертации. Автореферат и опубликованные научные труды по результатам исследований полностью отражают основные положения диссертационной работы.

Диссертационная работа изложена логично и аргументированно. Это же относится и к тексту автореферата.

Замечания по диссертационной работе

1. Имеются некоторые погрешности в оформлении диссертации. Так на стр. 40 на рис. 5 не приведены обозначения входящих в комплект шумомера приборов, а на некоторых рисунках (например рис.34-35) обозначения приведены на английском языке.
2. Исследуемые в работе звукопоглощающие конструкции по существу являются совокупностью резонаторов Гельмгольца. Следовало бы рассмотреть математические модели таких резонаторов и основываясь на результатах измерений импеданса определить параметры такой модели, такие как трение в горле резонатора и присоединенная длина его горла.
3. Не представлена визуализация сложных вихревых структур для образца ЗПК внутри интерферометра с сотовым резонатором и несколькими отверстиями, аналогично круглому резонатору с одним отверстием.
4. К несомненным достоинствам работы относится то, что удалось реализовать численное моделирование акустических процессов внутри интерферометра с образцом ЗПК при высоких уровнях звукового давления. Было бы целесообразно исследовать характеристики ЗПК на нелинейных режимах более подробно.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости полученных результатов в диссертации соискателя.

Заключение

Диссертационная работа Кустова Олега Юрьевича является завершённой научно-квалификационной работой, которая несмотря на имеющиеся в ней недостатки, выполнена на высоком научном уровне. В диссертационной работе достигнута поставленная цель, а все

сформулированные задачи решены. Полученные при этом результаты достоверны и представляют научную и практическую ценность.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кустов Олег Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – Акустика

Профессор кафедры экологии и промышленной
безопасности МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

А.И. Комкин



УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
Н.Э. БАУМАНА
А.Г. МАТВЕЕВ

Наименование и адрес организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана) 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, телефон: 8 (499) 263-63-91, e-mail: e9@bmstu.ru