САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26 , факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

№

На № 16165/02-1804 от 27.10.2022

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по научно-
исследовательской работе
доктор технических наук, доцент

А. Б. Прокофьев

«30» ноября 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
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

Эффективность снижения шума авиационного двигателя зависит от правильной настройки импеданса звукопоглощающих конструкций (ЗПК) на условия распространения шума в каналах двигателя, помимо этого, импеданс ЗПК сильно зависит и от конструкционных характеристик. Диссертационная работа Кустова О.Ю. посвящена экспериментальным и численным исследованиям акустических процессов в образцах ЗПК и внутри интерферометра с нормальным падением звуковых волн при высоких уровнях звукового давления. Прогнозирование акустических характеристик ЗПК на основе численного моделирования, как дополнительного инструмента для исследования и сравнения, является перспективным подходом, а развитие соответствующих методических основ экспериментального и расчетного определения акустических характеристик звукопоглощающих конструкций является – **актуальной научной задачей**.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка цитированной литературы, который включает в себя 110 работ российских и зарубежных авторов. Общий объем диссертации составляет 137 страниц, 76 рисунков, 35 формул и 12 таблиц.

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

В первой главе диссертации проведен обзор экспериментальных, теоретических и расчетных работ, направленных на исследование акустических характеристик ЗПК авиационного двигателя.

Во второй главе представлена разработка интерферометра нормального падения звуковых волн в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа Центра акустических исследований ПНИПУ и его дальнейшая модификация путем разработки автоматизированной системы контроля усилия поджатия исследуемых образцов ЗПК с целью снижения разброса акустических характеристик, получаемых при испытаниях образцов ЗПК. Также проведено комплексное исследование влияния геометрических особенностей образцов ЗПК на получаемые акустические характеристики. Также, проведенная серия исследований на интерферометре с контролем поджатия позволила сформулировать важные рекомендации по созданию образцов ЗПК, предназначенных для испытаний с целью получения данных для верификации моделей прогнозирования акустических характеристик.

В третьей главе рассмотрены различные постановки численного моделирования физических процессов в интерферометре нормального падения звуковых волн с целью прогнозирования акустических характеристик образцов ЗПК. Исследовано влияние параметров расчетной модели на точность прогнозирования акустических характеристик ЗПК. Верифицирована модель для случая однослойной и многослойной сотовой ЗПК. Важно отметить, что полуэмпирический подход для прогнозирования акустических характеристик ЗПК локально-реагирующего типа при нормальном падении волн заметно уступает по точности прогнозированию на основе численного моделирования, в том числе и в «усеченной» постановке, которая качественно более точно описывает поведение акустических характеристик образцов ЗПК, чем полуэмпирическая модель.

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. Рассмотрены

ближайшие перспективы применения методики в прикладных и научных исследованиях. Укрупненно, методика включает в себя три основных этапа:

1) выбор геометрии образца исследуемой ЗПК;

2) численное моделирование физических процессов в интерферометре с нормальным падением волн;

3) обработка результатов численного моделирования 2-микрофонным методом передаточной функции.

Разработанная методика имеет перспективы дальнейшего применения в научных исследованиях, направленных на развитие методов определения акустических характеристик ЗПК локально-реагирующего типа, не только по причине того, что используемая постановка на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса с учетом сжимаемости позволяет более полно учесть физические эффекты, сопровождаемые работу ЗПК при высоких УЗД, но и потому, что численное моделирование позволяет «заглянуть» внутрь ЗПК, что проблематично сделать в натурном эксперименте, особенно в случае многослойных конструкций.

В заключении подробно описаны основные результаты работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан и создан интерферометр нормального падения звуковых волн с автоматизированной системой контроля усилия поджатия исследуемого образца ЗПК с целью повышения точности определения акустических характеристик. Получен патент на изобретение.

2. Впервые проведены комплексные исследования по оценке влияния серии конструкционных особенностей образцов ЗПК на разбросы акустических характеристик, получаемых по результатам испытаний на интерферометре нормального падения. На основе проведенных исследований сформулированы методические рекомендации проведения верификационных испытаний образцов ЗПК в интерферометре нормального падения, которые направлены на снижение рассогласования результатов эксперимента и проверяемой теории прогнозирования акустических характеристик ЗПК.

3. 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 проведены расчеты акустических характеристик полномасштабных образцов, соответствующих реальным ЗПК, используемым в авиационных двигателях (несколько слоев, несколько резонаторов в слое, несколько отверстий на каждый резонатор). Продемонстрировано, что получаемые на основе методики акустические характеристики лучше

согласуются с результатами натурных экспериментов, чем предсказанные на основе полуэмпирической теории.

Практическая значимость. Развитие экспериментального и расчетного определения акустических характеристик образцов ЗПК при высоких уровнях звукового давления улучшит настройку ЗПК на эффективное снижение шума отечественных авиационных двигателей, что поможет лучше удовлетворять настоящие и перспективные международные нормы по шуму на местности.

Результаты диссертационной работы Кустова О.Ю. могут быть использованы в учебно-методических процессах и научно-исследовательских работах ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», АО «ОДК-Авиадвигатель».

В целом, по работе отмечены замечания:

1. По тексту часто говорится, что на высоких уровнях звукового давления основную роль в звукопоглощении играют вихревые структуры и нелинейная диссипация. Хотелось бы подробных физических описаний этих процессов.

2. В работе рассматривается усеченная постановка модели численного моделирования с одной ячейкой, которая ускоряет расчеты, но насколько качественно предсказывает характеристики ЗПК показано только для одного образца.

3. В работе численно рассмотрены нестационарные уравнения Навье-Стокса с учетом сжимаемости и описаны недостатки других математических моделей, но прямых сравнений в работе не приведено.

4. Реальные натурные ЗПК имеют описанные в работе дефекты - попадание стенок на отверстия, клей и прочие погрешности. Разработанную методику можно применять в производстве, но в работе мало говорится про эти рекомендации.

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

Тема диссертационной работы соответствует специальности 1.3.7 Акустика. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. По результатам работы опубликовано 19 научных статей в изданиях, определённых Перечнем ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК России, 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.

Заключение

Диссертация «Развитие методических основ экспериментального и расчетного определения акустических характеристик звукопоглощающих конструкций в условиях нормального падения звуковых волн» является полностью законченной научно-исследовательской работой и отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением №842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. в текущей редакции, а соискатель Кустов Олег Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7. Акустика.

Отзыв на диссертационную работу Кустова О.Ю. заслушан и одобрен на заседании кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского университета 29 ноября 2022 года, протокол заседания №5.

Отзыв составили:

Профессор кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского университета д.т.н., доцент — Иголкин Александр Алексеевич

Доцент кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского университета к.т.н. — Сафин Артур Ильгизарович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
Сокращенное наименование: Самарский университет
Почтовый адрес: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.
Адрес электронной почты: ssau@ssau.ru, телефон: + 7 (846) 335-18-25

Подпись Иголкина А.А., Сафина А.И. удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета
Васильева И.П.
20 г.