

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по
научной и инновационной
деятельности КНИТУ-КАИ



В.М. Бабушкин

2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Горбушина Антона Роальдовича «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах»**, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Основная мотивация диссертационной работы Горбушина А.Р. определяется требованиями улучшения аэродинамических характеристик летательных аппаратов в условиях жесткой конкуренции производителей авиационной техники. Задача повышения точности измерительного оборудования аэродинамических труб играет ключевую роль в проведении аэродинамического эксперимента на первоначальной стадии проектирования летательного аппарата и потому представленная диссертационная работа является весьма актуальной.

Одной из задач подготовки аэродинамического эксперимента является калибровка измерительного тракта. Измерительное оборудование в аэродинамической трубе во время проведения эксперимента работает в условиях меняющихся температуры и давления в потоке, что приводит к дрейфу показаний аэродинамических весов. В диссертации предложен новый метод калибровки тензометрических весов, не требующий дополнительного пересчета коэффициентов уравнений измерения весов, что значительно повышает точность измерений.

В целом в диссертационной работе решается целый комплекс задач, связанный с учетом воздействия температурного фактора, нестационарной

нагрузки и вибраций, влажности потока в аэродинамической трубе и др. факторов в целях повышения точности измерительного тракта.

По автореферату диссертации имеются замечания.

1. Выражения (5) и (6) в автореферате имеют совершенно разную «математическую конструкцию». Из текста автореферата не ясно, каким образом «Формулы (5) и (6) дают одинаковые результаты ...», что отмечается на стр. 15 автореферата.

2. На стр. 12 автореферата обсуждается метод определения коэффициента температурной чувствительности тензометрических весов. Формула (4) по тексту автореферата получается из формул (2) и (3). Не вполне понятно каким образом из результирующего выражения для коэффициента температурной чувствительности, определяемого формулой (4), исчезает синус угла тангажа модели, входящий в формулу (3).

Приведенные замечания не имеют критического характера для общей положительной оценки диссертационной работы, представляющей законченную научную работу, имеющую большое практическое значение. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов», а ее автор Горбушин А.Р. заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук.

Зав. кафедрой аэрогидродинамики,
к.т.н., доцент



Е.И. Николаев

Профессор кафедры аэродинамики,
д.ф.-м.н., профессор



А.Н. Кусюмов

Николаев Евгений Иванович – заведующий кафедрой аэрогидродинамики, кандидат технических наук, доцент

Кусюмов Александр Николаевич – профессор кафедры аэрогидродинамики, доктор физико-математических наук, профессор

Почтовый адрес: 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д.10

Подпись 
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля





Государственная корпорация
по космической деятельности "Роскосмос"



Акционерное общество
"Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения" (АО "ЦНИИмаш")

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22
г.о. Королёв,
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsnimash.ru
http://www.tsnimash.ru

ОГРН 1195081054310
ИНН/КПП 5018200994/501801001

04.03.2025 исх. № 09004-803
На № 10/12-10-61 от 10.01.2025

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор,
доктор технических наук
В.А. Титов
2025г

Отзыв

на автореферат диссертации Горбушина Антона Роальдовича
на тему "Методы определения нестационарных аэродинамических
характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических
весов в аэродинамических трубах", представленной на соискание ученой
степени доктора технических наук по специальности 2.5.12–
"Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов"

Испытания моделей летательных аппаратов с помощью
тензометрических весов (ТВ) в аэродинамических трубах (АДТ) являются
одним из важнейших этапов наземной аэродинамической отработки
создаваемых и модернизируемых образцов авиационной и ракетно-
космической техники. Повышение уровня требований разработчиков этой
техники к точности и достоверности результатов испытаний, направленных
на повышение безопасности и экономической эффективности полётов,
требует постоянного совершенствования и развития соответствующих
методов и технических средств обеспечения проведения таких испытаний.
Наиболее высокие требования предъявляются разработчиками гражданских
самолётов к коэффициенту сопротивления $\Delta c_{xa} \approx \pm 0,00005 - 0,0001$ и углу атаки
 $\Delta \alpha \approx \pm 0,005 - 0,01^\circ$

Актуальность диссертационной работы Горбушина А.Р., посвящённой повышению точности определения квазистатических и нестационарных аэродинамических характеристик (АДХ) моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах (АДТ), не вызывает сомнений.

В представленной диссертации решаются проблемные задачи создания средств измерения силомоментных нагрузок, давления, угловых положений, математических моделей измерительных устройств, методов определения систематических погрешностей в условиях нестационарного, неустойчивого воздействия основных влияющих факторов: упругих колебаний и вибраций, нагрева, изменения влажности и др. и их исключения из результатов испытаний.

В работе получены следующие **новые научные результаты**:

1. Разработаны методы определения нестационарных АДХ моделей летательных аппаратов с высокой точностью с помощью ТВ и компенсационных маятниковых акселерометров.

2. Созданы устройства для измерения нестационарных силы, давления углов тангажа и крена, силы трения в пограничном слое. Разработаны математические модели этих устройств. Разработанные методы измерения позволяют определять искомые нестационарные параметры в широком диапазоне частот, включая собственную частоту устройства.

3. Задачи измерения нестационарных нагрузок и углов решены для общего случая, когда системы координат измерительных устройств являются неинерциальными.

4. При определении квазистатических АДХ разработанные методы позволили уменьшить случайные погрешности коэффициента сопротивления и угла атаки в 3-5 раз до уровня $\Delta c_{xa} \approx \pm 0,00005 - 0,0001$ и $\Delta \alpha \approx \pm 0,005 - 0,01^\circ$, который соответствует современным требованиям разработчиков транспортных самолётов.

5. При измерении нестационарных нагрузок разработанные методы обеспечили уменьшение среднеквадратической погрешности измерения в 10

раз по сравнению с существующими методами до уровня 1% для однокомпонентных динамометров и 0,5-3% для шестикомпонентных ТВ.

6. Разработанный метод измерения нестационарного давления приёмниками давления, у которых имеется полость между датчиком и приёмным отверстием обеспечивает среднеквадратическую погрешность на уровне 1% диапазона измерения датчика давления.

7. Метод учёта изменения нулевых показаний ТВ уменьшает погрешность, обусловленную влиянием динамической составляющей температуры весов, до уровня среднеквадратической погрешности ТВ 0,05-0,1%.

8. Показано, что влияние естественной влажности потока в АДТ на числа Маха и Рейнольдса несущественно при существующем уровне требований к погрешностям определения АДХ и при условии, что отсутствует конденсация влаги в потоке при местном числе Маха $M < 0,9$. Значимой является поправка к скорости потока, при максимальной естественной массовой доле пара $q \approx 0,015$ составляющая 0,4%.

9. Разработанные методы измерения нестационарных АДХ могут быть использованы для обработки результатов испытаний моделей летательных аппаратов и их элементов в АДТ кратковременного, периодического и непрерывного действия с применением ТВ и маятниковых компенсационных акселерометров.

Теоретическая значимость диссертации заключается в постановке и аналитическом решении трёх смешанных задач теоретической механики:

1. Определение векторов нестационарной аэродинамической силы и нестационарного аэродинамического момента, действующих на модель летательного аппарата в АДТ, с использованием показаний шестикомпонентных ТВ.

2. Определение нестационарных углов тангажа и крена модели летательного аппарата в АДТ с использованием показаний маятниковых компенсационных акселерометров.

3. Определение нестационарного давления в АДТ приёмниками воздушного давления, у которых имеется полость между приёмным отверстием и датчиком, расположенным внутри приёмника.

Практическая значимость диссертации состоит в создании методики обработки результатов весовых испытаний в различных типах АДТ, обеспечивающей существенное повышение точности за счёт выявления и исключения ряда систематических погрешностей, присущих рассматриваемому типу испытаний. Предложенная методика позволяет свести случайные погрешности определения квазистатических коэффициентов сопротивления и угла атаки до уровня требований разработчиков транспортных самолётов. При этом появляется возможность сокращения программ экспериментальной отработки за счёт сокращения повторных пусков АДТ.

Достоверность разработанных методик подтверждается результатами верификационных испытаний, основанных на приложении ступенчатых или импульсных воздействий и изучении отклика средств измерения, а также результатами испытаний эталонной модели (конус 10°) в установке Людвиг кратковременного действия ($\sim 0,04$ с) и хорошим совпадением данных измерений лобового сопротивления с результатами, полученными в других АДТ (в том числе, в поршневой газодинамической установке ЦНИИмаш ПГУ-7 и ударных трубах США и Китая - Кислых В.В., Лагутин В.И. и др. "Быстродействующая силоизмерительная система для поршневых газодинамических установок ЦНИИмаш". Некоторые задачи аэрогазодинамики и теплообмена летательных аппаратов. Сб. статей АО ЦНИИмаш, 2020, с.312-324).

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 22-х работах. Из них: 9 - в изданиях по Перечню ВАК РФ, 5 - в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, 6 - патенты на изобретение.

Результаты исследований, приведенные в диссертационной работе, доложены и обсуждены на видеосеминаре по аэромеханике ЦАГИ - ИТПМ СО

РАН- СПбПУ - НИИМ МГУ (2024г.), на семинаре Лаборатории радиационной газовой динамики Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (2024г.) и 32-х отечественных и зарубежных научно-технических конференциях различного уровня.

Разработанная методика внедрена в программу обработки квазистатических результатов испытаний программного комплекса «Поток» в АДТ Т-128 ЦАГИ, АУ-1 и АУ-2 АО "Гос МКБ "Радуга" им. А.Я. Березняка". Результаты работы используются на протяжении 15 лет при определении в АДТ Т-128 квазистатических АДХ моделей летательных аппаратов многих образцов отечественной и зарубежной авиационной техники различного назначения.

В качестве замечания следует отметить следующее:

В 1-ой главе предложен новый метод калибровки ТВ на стендах ЦАГИ типа 6ГС-20, согласно которому "весы закреплены в основании стенда с помощью элемента крепления модели, а нагрузки приложены к элементу крепления весов" при соответствующей ориентации ТВ. Однако, материалы автореферата не позволяют понять преимуществ этого метода в сравнении с используемым на стенде европейской трансзвуковой трубы ETW, ФРГ (B. Ewald, K. Hufnagel et al, "Development and construction of fully automatic calibration machine for internal balances", Proceedings of the 1st International Symposium on strain-gage balances, Langley Research Center, NASA, CP-1999-209101/PT1, 1996, pp. 307-320), также основанном на приложении калибровочных нагрузок через хвостовик ТВ и их измерениях на элементе крепления модели. Такая же методика использована в стендах ЦАГИ 6ГС-60 и ЦНИИмаш ТСНВ 441110.

Однако, сделанное замечание относится к весьма малой и не принципиальной для представленной работы части, не снижает ценность полученных результатов и не препятствует положительной оценке выполненной работы.

Диссертационная работа Горбушина А.Р. "Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах", является завершённой научно - квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной проблемы и вносящей существенный вклад в развитие теории и практики наземной аэродинамической отработки образцов авиационной и ракетно-космической техники в установках экспериментальной базы.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.5.12 "Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов" и требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней", утверждённом постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Горбушин Антон Роальдович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.12 - "Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов".

Заместитель начальника отдела 20014 АО "ЦНИИмаш",

кандидат технических наук



Козловский Виктор Андреевич

Тел.: 8(495)513-41-44

Начальник лаборатории отдела 20014 АО "ЦНИИмаш",

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел.: 8(495)513-46-73



Лагутин Вячеслав Иванович

141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4,

Тел. (495)513-59-51, Факс (495)512-21-99

e-mail: corp@tsniimash.ru

ОТКРЫТИЕ АВТОРЕФЕРАТ
диссертации Горбушина Алексея Ровальдовича
«МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕСОВ В
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБАХ».

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 1.5.12 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных
аппаратов».

Диссертационная работа посвящена повышению точности методов исследования аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов в трубных экспериментах.

Актуальность темы работы обусловлена повышающимися требованиями к точности результатов трубных экспериментов.

Автореферат содержит краткое описание методики обработки результатов измерения нестационарных интегральных аэродинамических характеристик моделей ЛА при помощи тензометрических весов. Для решения этой задачи построена математическая модель динамической системы, которой являются тензометрические весы при нестационарном воздействии избыточного давления. Попытка решения математической модели с параметрами, соответствующими характеристикам динамической системы измерений позволяет определить систематическую погрешность и существенно уточнить результаты измерений. Также предложен способ учета изменения температуры чувствительных элементов тензосеток во время эксперимента. Важной частью работы является разработка методики учета влажности воздуха для коррекции значений параметров потока в рабочей части дозвуковых и сверхзвуковых аэродинамических установок.

Разработанные методы обработки результатов трубных измерений позволяют в ряде случаев уменьшить погрешности определения некоторых величин, таким образом получены практически результаты для существенного повышения точности трубных экспериментов. Проведена экспериментальная верификация описанных методов, они могут быть использованы в практической работе в аэродинамических установках ЦАГИ и АО «ГосМКБ «Радуга» им. А.И. Березняка».

Основная научная новизна работы заключается в разработке методики определения систематической погрешности тензосеток с целью уточнения результатов трубных экспериментов при определении нестационарных аэродинамических характеристик.

Основные результаты по теме работы изложены в 9 статьях, опубликованных в российских и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК.

Автореферат написан техническим языком, графически изображены выполнены структурные и логические, а также описательные изображения

Э качестве замечаний, не снижающих научный и практический ценности диссертации, следует отметить:

1. На стр. 6 указано, что в звуковых и трансзвуковых трубах имеется состав воздуха. Из описания в автореферате не ясно как это понимать, если эффект конденсации воды не учитывается.
2. При описании математических экспериментов на стр.29-30 не делается ссылки для цитирования поставленных задач.
3. При описании результатов, представленных на рис. 10, не приведено объяснений почему измеренное ускорение превышает значение 11 g .

Автореферат позволяет сделать вывод, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям ВАК, в том числе, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Горбушин Антон Романович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.12 «Аэродинамика и процессы переноса в летательных аппаратах».

ОГЛЫВ СОСТАВИЛ

Кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», заместитель начальника отдела информационных технологий сектора ЦАО «РКБ «Энергия».

Журкин Сергей Викторович

« 5 » марта 2025 года.

Почтовый адрес: ул. Ленина, 4а, г. Королёв,
Московская обл., Россия, 141070.

Тел.: +7(495) 513-68-19

E-mail: serguy.zhurkin@rscs.ru

Подпись кандидата физико-математических наук, заместителя начальника отдела информационных технологий сектора Журкин Сергей Викторович удостоверяю:

Ученый секретарь ЦАО «РКБ «Энергия»
до ступ секретаря-механика:

О.Н. Коптева

Публикация осуществляется «Энергия» Ракетно-космическая корпорация
«Энергия» имени С.П. Королёва»

Почтовый адрес: ул. Ленина, 4а, г. Королёв, Московская обл., Россия, 141070.

Телефон: +7 (495) 513-66-55.

Адрес электронной почты: post@rscs.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по развитию
«Филиала ПАО «Якутгаз»
«Региональные самолеты»

А.В. Кубасов

2025 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Горбушкина Антона Равильевича
«Методы определения ностатистических аэродинамических характеристик
моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических датчиков в
аэродинамических трубах», представленной на соискание учёной степени
доктора технических наук по специальности 2.5.1.2.

Аэродинамика и процессы течения в летательных аппаратах

Диссертационная работа Горбушкина Антона Равильевича посвящена теме
повышения точности и достоверности определения аэродинамических
характеристик моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах.

Актуальность работы обусловлена требованиями производителей
авиационной техники, в первую очередь авиапроизводителей самолётов
транспортной категории, по обеспечению безопасности полётов и экономической
эффективности полётных судол.

Целью работы является разработка методов повышения точности
определения ностатистических аэродинамических характеристик (АДХ) моделей
летательных аппаратов (ЛА) с помощью тензометрических датчиков в
аэродинамических трубах (АДТ).

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка
литературы. Полный объем диссертации составляет 250 страниц, включая
77 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 150 наименований

Во введении представлен обзор исходных данных по теме диссертации, а также сведения о предыдущей работе, включая цели и задачи, обоснована актуальность, практическая и теоретическая значимость работы, сформулирована научная новизна.

В главе 1 разработаны методы измерения с помощью тензотермических пьезо: метод калибровки тензотермических датчиков на калибровочных образцах ЦАГИ, метод учёта влияния веса модели и веса компонент весов на их показания; метод определения коэффициента температурной чувствительности тензотермических пьезо; метод учёта влияния температур на нулевые показания тензотермических датчиков; метод измерения векторов возмущающих перпендикулярных сил и моментов в АДТ с помощью многокомпонентных тензотермических пьезо; для метода измерения массы движущегося объекта с помощью однокомпонентного динамометра.

В главе 2 разработаны трёхкомпонентная математическая модель ориентации маятниковых акселерометров для измерения углов тангажа и крена, а также метод измерения возмущающих углов тангажа и крена моделей ПА в АДТ с помощью компенсационных маятниковых акселерометров при наличии вибраций.

В главе 3 разработаны методы учёта влияния вязкости воздуха на скорость потока, скоростной напор, числа Маха и Рейнольдса в дозвуковых и трансзвуковых АДТ при условии существования конденсации влаги в потоке, а также метод измерения перпендикулярных давлений приёмомером вакуумного давления при наличии помехи между датчиком и приёмным отверстием.

В главе 4 рассмотрены вопросы верификации разработанных в первых трёх главах методов измерений. Представлены результаты работы методов и их высокая точность.

В главе 5 представлены результаты применения разработанных методов в АДТ ЦАГИ Т-128 и трубе Лавочкина УТ-1М. В частности, результаты испытаний в АДТ Т-128 модели типового гражданского самолёта с фиксированным ламинарно-турбулентным переходом пограничного слоя на элементарной модели

показали, что влияние вязкости на параметры потока незначительно при естественном уровне массовой доли пара.

И заключением обобщающего описания результатов работы.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в аннотации. Аннотация соответствует содержанию диссертации.

Новизна и научная значимость работы заключается в том, что разработан метод, позволяющий измерять с высокой точностью вектор нестационарной гидродинамической силы и вектор нестационарного аэродинамического момента с помощью тензометрических датчиков, нестационарные углы тангажа и крена с помощью магнитных акселерометров, нестационарное давление при наличии потока между датчиком и приёмником измеряем приёмником пьезоэлектрическим датчиком и АЦП.

Практическая значимость работы заключается, в первую очередь, в том, что она обеспечила определение результатов испытаний моделей в гидродинамических течениях и АЦП с повышенной точностью, удовлетворяющей требованиям производителей самолётов транспортной категории.

Достоверность результатов исследований обосновывается тем, что разработанные методы основаны на известных соотношениях механики сплошной среды, жидкостей и газа. Решены задачи, сводящиеся к обыкновенным дифференциальным уравнениям второго порядка, решения которых известны. Методы периферизированы широко распространённым способом с применением ступенчатого или импульсного воздействия и апробированы в трансзвуковой аэродинамической трубе и трубе Лавина.

Результаты работы отражены в 16 научных статьях и рецензируемых научных журналах, из них 9 – в рекомендованных ВАК РФ. Результаты докладывались автором на различных научных конференциях, в том числе международных. По результатам работы получены 6 патентов.

По содержанию аннотации можно сделать следующие замечания:

1. В аннотации нарушена нумерация рисунков.

3. Считается, что диссертация на соискание ученой степени доктора наук должна быть научно-квалификационной работой, где на основании выдвинутых автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное открытие, либо решены научная проблема, включающая вопросы политического, социально-экономического, культурного или хозяйственного характера, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, обеспечивающие качественный вклад в развитие страны. В автореферате в явном виде не сказано на что претендует автор.

Отмеченные недостатки не влияют на научный уровень и практическую значимость представленной диссертационной работы.

Рассмотрение автореферата диссертации позволяет сделать заключение, что диссертация Горбушина А.Р. является завершающей научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Горбушин Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена на летательных аппаратах.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании НИИ аэродинамики, состоявшемся 05 марта 2025 года.

Начальник НИИ
заместитель Главного конструктора
по аэродинамике
Филиала ПАО «Якутск» «Региональные самолеты»

Начальник департамента
исследования летательных характеристик
Филиала ПАО «Якутск» «Региональные самолеты»
доктор технических наук (специальность 09.07.01 –
«Аэродинамика и процессы теплообмена
летательных аппаратов»)



Бабулин Андрей Александрович



Шадрин Владимир Иванович

115280, Москва,

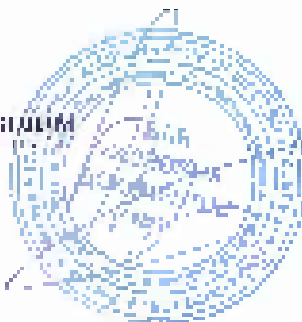
ул. Ленинская Слобода, д. 20, стр. 5.

Тел.: +7 916 958 18 19,

e-mail: shenoi@gmail.ru

Получены Андрей Александрович Габулина и Владимир Иванович Плещина
удостоверены.

Руководитель подразделения
по работе с филиалами и ДЗО
департамента управления персоналом
ПАО «Якутскгаз»



Скляков Игорь Викторович

Первый заместитель
Генерального директора,
Генеральный инженер —
Инженер ИСКБ
ИИ «ИЦ «Прогресс».

Н. Ахметов

2025 г.

на энтомофоре, докторская Горбушина Алена Рязановна

21133494

1. ПЕРИМЕТРИЧЕСКИХ ПЕРСОН В ДИФФУЗИОННЫХ ТРУБАХ.

ВНЕШНЯЯ И ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ШИРОКОМ ДУХЕ

обеспечивают частоту измерительных устройств. Получены данные о влиянии давления потока на его структуру, структурной перестройки ММЖ и РМЖ при входе в дилатометр и тратометрических измерительных трубах при условии, что отсутствует конденсация влаги в потоке.

Применение разработанных автором методов позволило достичь в патентно-технической труде 1-128 научных достижений измерений кинематических и статических характеристик модели течения жидкого металла $\Delta\sigma_{\text{ж}} \approx \pm 0,00005-0,0001$ и $\Delta\sigma \approx \pm 0,005-0,01$, соответствующим многократному уровню. Планировалось значимым результатом, полученным автором, является разработанный метод измерения гидродинамического давления для случая, когда имеется разность между дилатометром и тратометром. Решение этой задачи возможно при измерении турбулентной статического давления на моделях разветвленных тел, когда, в силу конструктивных особенностей, не удается разместить датчик давления непосредственно с поверхностью модели. Полученные автором результаты безусловно принесут практическую пользу работникам технической области при разработке перспективных образцов разветвленных тел.

Достоинствами полученных результатов обоснована применимость известных соотношений кванта твердого тела, жидкости и газа, апробирован на семинарах и многочисленных международных и российских конференциях, посвященных металлам и опубликованы в высокорефлексивных журналах.

К недостаткам автореферата можно отнести:

1. Отсутствие в автореферате сведений о применении разработанных автором методов к экспериментальным исследованиям в аэродинамических трубах большой разветвленности.
2. На странице 30 не приведены значения измеренных параметров $\sigma_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{ж}}$.
3. На рисунках 6, 7, 11, 14, 15 чертоточные знаки отделяются точкой, а не запятой, как того требует ГОСТ.

Отмеченные замечания не снижают положительной оценки работы и не влияют на ее результаты.

Исходя из представленных и цитируемых сведений, можно заключить, что диссертация Гурбулиной Анны Александровны является замечательной научно-квалификационной работой, высокой научной и практической значимости, удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. Автоматизация и процессы теплообмена летательных аппаратов, и ее автор Гурбулина Анна Александровна заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук.

Главный конструктор –
начальник отделения,
кандидат технических наук

Печальная Ольга

Первый специалист,
кандидат технических наук



Печальная Ольга
Александровна***

Костарев Алексей
Александрович***

Крюкова Юлий
Александрович****

***43008, г. Самара, улица Завоев, 19, телефон 8 (846) 228-04-46, e-mail: ur@kryukov.ru

***43009, г. Самара, улица Завоев, 19, телефон 8 (846) 228-04-46, e-mail: ur@kryukov.ru

***43009, г. Самара, улица Завоев, 19, телефон 8 (846) 228-04-46, e-mail: kryukov@kryukov.ru

***43008, г. Самара, улица Завоев, 19, телефон 8 (846) 228-04-46, e-mail: kryukov@kryukov.ru

Р.Н. Ахметов, О.Г. Латип, А.А. Костарев, Ю.А. Крюкова выражают согласие на использование своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук в соответствии с А.П. и на дальнейшую обработку.

Подпись Р.Н. Ахметова, О.Г. Латип, А.А. Костарева, Ю.А. Крюкова (закрыто).

Заместитель начальника
отдела кадров
АО «РКП «Прогресс»



Евдокия

В.А. Бельковичев

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический
университет гражданской авиации»
по научной работе и инновациям,
доктор технических наук, профессор



Воробьев В.В.

«16» января 2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Горбушина Антона Роальдовича «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов».

Непрерывное совершенствование аэродинамической компоновки летательных аппаратов (ЛА) (изменение пропорций моделей, использование сверхкритических профилей и т.п.) актуализирует проблему получения аэродинамических характеристик (АХ) с целью анализа возможных проектных решений при создании ЛА. Наиболее достоверный метод получения АХ – их продувка в аэродинамических трубах (АДТ). Учитывая высокую энергоемкость, а значит и стоимость эксплуатации АДТ, актуальной представляется проблема совершенствования процесса получения АХ в АДТ. Поэтому диссертационная работа Горбушина Антона Роальдовича «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах», направленная на повышение точности определения квазистатических и нестационарных аэродинамических характеристик моделей ЛА в АДТ, является актуальной.

Научная новизна представленной диссертации заключается, в первую очередь, в том, что автором усовершенствованы теоретические основы измерений квазистатических и нестационарных АХ моделей ЛА в АДТ, что расширило возможности измерений АХ при испытании в АДТ, обеспечило повышение точности измерений АХ при испытании в АДТ, в частности:

- расширен диапазон частот определения нестационарных параметров ЛА в АДТ, включая собственную частоту измерительных устройств при испытании в АДТ;
- в 3–5 раз уменьшены случайные погрешности измерения коэффициента лобового сопротивления и угла атаки при испытании в АДТ;
- в 10 раз уменьшена среднеквадратичная погрешность измерения нестационарных нагрузок при испытании в АДТ.

Достоверность положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается, в том числе, верификацией предложенных автором методов измерений другими более точными методами.

Практическая значимость работы заключается во внедрении и успешной апробации разработанных автором методов измерений в программу обработки квазистатических результатов испытаний в аэродинамических трубах Т-128 ЦАГИ, АУ-1 и АУ-2 АО «ГосМКБ «Радуга» имени А. Я. Березняка».

К недостаткам работы можно отнести:

- 1) отсутствие в автореферате материалов в части оценки изменения объемов и времени программ испытаний (определения АХ моделей ЛА) в АДТ при внедрении разработанных автором методов измерений;
- 2) наличие отступлений от рекомендаций стандартов при оформлении автореферата, в частности, при обозначении угла тангажа.

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, представленная диссертация является законченной научной-квалификационной работой, имеющей научную ценность и практическую значимость, удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.5.12 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов», а её автор – ГОРБУШИН АНТОН РОАЛЬДОВИЧ заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», протокол №6 от 14 января 2025 года.

Заведующий кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА

доктор технических наук, профессор

125993, г. Москва, Кронштадтский

бульвар, 20,

тел. (499) 459-07-91

e-mail: m.kiselev@mstuca.ru

Доцент кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА

кандидат технических наук

125993, г. Москва, Кронштадтский

бульвар, 20,

тел. (499) 459-07-92

e-mail: s.borodkin@mstuca.ru

Киселев Михаил Анатольевич

15.01.2025г.

Бородкин Сергей Филиппович

15.01.2025г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Горбушина Антона Роальдовича
«Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик
моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в
аэродинамических трубах», представленной на соискание
ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена
летательных аппаратов

Актуальность работы обусловлена широким применением производителями летательных аппаратов результатов исследований масштабных моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах и предъявляемым к этим результатам требованиям к точности и достоверности.

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические решения, позволившие автору создать измерительные устройства для определения квазистатических и нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах, внедрение которых вносит значительный вклад в разработку средств и методов экспериментальных исследований в авиационной отрасли.

Целью работы является повышение точности определения квазистатических и нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах.

Научная новизна диссертации заключается в разработке метода измерения с высокой точностью векторов нестационарной аэродинамической силы и нестационарного аэродинамического момента с помощью тензометрических весов, нестационарных углов тангажа и крена с помощью маятниковых акселерометров, нестационарного давления при наличии полости между датчиком и приемным отверстием приемника воздушного давления в аэродинамических трубах. Метод обеспечивает измерения в широком диапазоне частот, включая собственную частоту измерительных устройств.

Автором разработана трехкомпонентная математическая модель одноосевого маятникового акселерометра как средства для измерения углов тангажа и крена, которая учитывает влияние ускорения, приложенного перпендикулярно к его оси чувствительности.

Впервые получены результаты влияния влажности потока на скорость потока, скоростной напор, числа Маха и Рейнольдса в дозвуковых и трансзвуковых аэродинамических трубах при условии, что отсутствует конденсация влаги в потоке.

Теоретическая значимость работы заключается в постановке и аналитическом решении трех смешанных задач теоретической механики:

1. Определение векторов нестационарной аэродинамической силы и нестационарного аэродинамического момента, действующих на модель летательного аппарата в аэродинамической трубе, с использованием показаний шестикомпонентных тензометрических весов.

2. Определение нестационарных углов тангажа и крена модели летательного аппарата в аэродинамической трубе с использованием показаний маятниковых компенсационных акселерометров.

3. Определение нестационарного давления в аэродинамической трубе приемниками воздушного давления, у которых имеется полость между приемным отверстием и датчиком, расположенным внутри приемника.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики обработки результатов испытаний на тензометрических весах, которая позволила существенно повысить точность результатов испытаний за счет выявления систематических погрешностей и исключения их из результатов испытаний. Разработанная методика свела случайные погрешности определения квазистатических коэффициента сопротивления и угла атаки до уровня требований производителей транспортных летательных аппаратов. Такой уровень случайных погрешностей позволяет сокращать программы экспериментальных исследований моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах.

Разработанная методика измерения нестационарных аэродинамических характеристик может быть использована для обработки результатов испытаний моделей летательных аппаратов и их элементов в аэродинамических трубах кратковременного, периодического и непрерывного действия с применением тензометрических весов и маятниковых компенсационных акселерометров.

Положениями, выдвигаемыми автором для публичной защиты, являются:

1. Методы измерения векторов нестационарной аэродинамической силы нестационарного аэродинамического момента, нестационарных углов тангажа крена, нестационарного давления при наличии полости между датчиком и приемным отверстием приемника воздушного давления в аэродинамических трубах.

2. Методы учета влияния температуры на показания тензометрических весов и маятниковых акселерометров.

3. Метод учета влияния влажности воздуха на скорость потока, скоростной напор, числа Маха и Рейнольдса в дозвуковых и трансзвуковых аэродинамических трубах при условии, что отсутствует конденсация влаги в потоке.

Положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Предложенные автором диссертации технические решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Степень достоверности результатов исследований обоснована достаточно.

Диссертация имеет прикладной характер, в автореферате диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Результаты работы реализованы в программе обработки квазистатических результатов испытаний программного комплекса «Поток» в аэродинамических трубах Т-128 ФАУ «ЦАГИ», АУ-1 и АУ-2 АО «ГосМКБ «Радуга».

Основные научные результаты диссертации подробно изложены в публикациях рецензируемых научных изданий, имеется 6 патентов на изобретения.

Критические замечания:

1. Название работы, ее цель и задачи не согласованы между собой. В названии работы и ее задачах отсутствуют какие-либо указания на достижение цели работы, сформулированной, как «повышение точности определения ...», а в указанных на странице 36 основных результатах работы и выводах в п.п. 5...9 представлены результаты, относящиеся только к погрешности определения или измерения параметров.

2. На странице 13 указано «При расхождении значений температуры весов более чем на $3...4^{\circ}\text{C}$ от температуры их калибровки статическая составляющая погрешности превышает погрешность температуры тензометрических весов и ее следует исключить из результатов измерений». При этом не ясно, о каких значениях температуры идет речь и как предполагается исключать статическую составляющую температурной погрешности.

3. На странице 27 представлено соотношение (30) по которому определяется отношение числа Маха во влажном воздухе $M_{\text{см}}$ к числу Маха в сухом воздухе $M_{\text{в}}$. При этом не указано, при каких значениях температур справедливо это соотношение.

4. На странице 27 указано «Результаты расчета по формуле (30) представлены на рисунке 6 в виде зависимости разности чисел Маха влажного и сухого воздуха от массовой доли пара». Как следует из самого рисунка 6, на нем, на самом деле представлена не зависимость, а зависимости разностей чисел Маха влажного и сухого воздуха от числа Маха сухого воздуха при различных значениях массовой доли пара.

5. На странице 32 представлены средние значения коэффициентов лобового сопротивления конуса с грузом $C_D = 0,065 \pm 0,017$ и конуса без груза $C_D = 0,077 \pm 0,016$. Приведенные значения свидетельствуют о том что для конуса с грузом относительная погрешность определения величины C_D составляет 26,15%, а для конуса без груза относительная погрешность составляет 20,78%. Такие результаты не могут считаться достаточно точными.

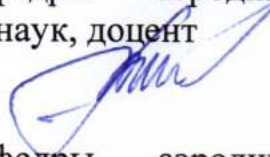
6. В автореферате из 20 рисунков только на рисунке 19 представлены характеристики «модели самолета», что не позволяет с уверенностью утверждать о достаточной полноте раскрытия темы диссертации.

Вместе с тем, диссертация Горбушина А.Р. «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов, является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в разработку средств и методов экспериментальных исследований в авиационной отрасли страны.

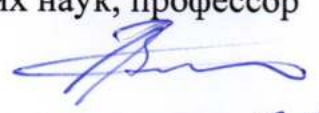
По объему выполненных исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Горбушин Антон Роальдович – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

Отзыв подготовили:

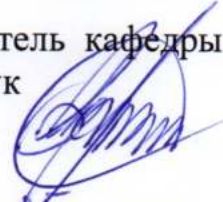
начальник кафедры аэродинамики и безопасности полета
кандидат технических наук, доцент


Головнев Александр Викторович

профессор кафедры аэродинамики и безопасности полета
доктор технических наук, профессор


Загорский Владимир Алексеевич

старший преподаватель кафедры аэродинамики и безопасности полета
кандидат технических наук


Вертебный Василий Владимирович

Отзыв обсужден 05 марта 2025 года на заседании кафедры аэродинамики и безопасности полета (Протокол № 25).

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 а).

Телефон: +7 (473) 244-76-06, адрес электронной почты: yva@mil.aero

Подлинность подписи
Головнева Александра Викторовича,
Загорского Владимира Алексеевича,
Вертебного Василия Владимировича

ЗАВЕРЯЮ

СТАРШИЙ ПОМОЩНИК НАЧАЛЬНИКА СТРОЕВОГО ОТДЕЛА
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

«05» МАРТА 2025г.

И.В.Антонов



УТВЕРЖДАЮ

Директор

ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»

кандидат технических наук

В.Е. Барсук

«23» марта 2025 г.

МП



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Горбушина Антона Роальдовича** на тему «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензометрических весов в аэродинамических трубах», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности

2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов

Современные гражданские самолёты достигли высокого уровня аэродинамического совершенства. Поэтому при разработке перспективных самолётов предъявляются высокие требования к точности экспериментальных данных, полученных в аэродинамических трубах, в частности, к точности и достоверности их измерительных систем. Аэродинамические силы и моменты, действующие на модель, измеряются, как правило, различного типа тензометрическими устройствами.

Автор главное внимание уделяет многокомпонентным (шесть компонент) внутримодельным тензовесам. Он скрупулёзно исследовал особенности характеристик тензовесов.

Многие полученные им результаты полезны и для исследования стационарных аэродинамических характеристик, полученных в аэродинамических трубах. Так, предложенный им альтернативный метод калибровки позволил не только исключить пересчёт сил и моментов из стендовой системы координат в весовую, но и заметно увеличить точность тензовесов. Разработана методика корректного учёта температурного влияния на нулевые показания весов, предложен метод определения веса модели и весовых элементов тензовесов на аэродинамических тензовесах.

Основное внимание в работе уделено измерению нестационарных аэродинамических сил и моментов при испытаниях в аэродинамических трубах с помощью внутримодельных шестикомпонентных тензовесов. Проблема заключается в том, что, помимо аэродинамических сил, тензовесы воспринимают инерционные и центробежные силы и моменты, действующие на модель и на весовые элементы тензовесов. Математическая модель

измерительного устройства представляет собой сложную, упругую, динамическую систему «модель—весы—поддерживающее устройство».

Автором разработан метод определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с высокой точностью, исключая из результатов измерения влияние эффектов инерционных и центробежных сил и моментов, веса модели и температуры на показания тензовесов.

Для перехода от весовой системы координат в скоростную необходимо с высокой точностью в процессе эксперимента определить углы тангажа θ и крена γ . Автор предложил оригинальное устройство, состоящее из одноосевого, маятникового акселерометра и акселерометра, нечувствительного к постоянной составляющей ускорения, для измерения угла тангажа θ и угла крена γ с высокой точностью. Способ и устройство запатентованы и применяются при испытаниях в аэродинамических трубах ЦАГИ.

Разработанные автором методы экспериментальных испытаний, созданные им образцы исследовательских устройств позволили значительно увеличить точность и достоверность определения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик моделей самолётов в аэродинамических трубах. Получено большое количество патентов на различные способы исследований и устройства для их реализации.

Автореферат диссертации даёт достаточно полное представление о выполненной Горбушиным Антоном Роальдовичем работе. По автореферату есть следующее **техническое замечание**. В формуле (17) коэффициенты « f » называются элементами обращённой системы уравнений (1). А по структуре этой формулы — это элементы, так называемой, необращённой формулы весов. Она получается по результатам калибровки тензовесов. А формула (1) — это промежуточная форма («полуобращённая формула весов»), которая имеет место при некоторых выводах «обращённой формулы весов» из «необращённой формулы весов». Нужно отметить, что «обращённую формулу весов» (даже более сложной структуры, чем формула (1)) можно получить непосредственно по результатам калибровки тензовесов. Естественно, это замечание на результаты экспериментальных исследований не влияет.

Горбушин Антон Роальдович является высококвалифицированным специалистом в области исследования аэродинамических характеристик моделей в аэродинамических трубах. Он разработал многочисленные методы и устройства для повышения точности и достоверности исследования стационарных и нестационарных характеристик моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах на базе внутримодельных тензовесов, которые были использованы при испытании моделей самолётов «Су-57», «Як-130», «Ту-334», «SSJ-100», «МС-21» и многих других. Результаты

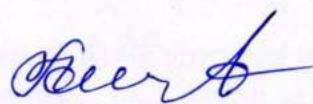
диссертационной работы освещены в большом количестве печатных работ и обсуждены на различных конференциях и семинарах.

Диссертация Антона Роальдовича Горбушина является законченной работой, в которой успешно решены методы определения стационарных и нестационарных характеристик самолётов в аэродинамических трубах.

По объёму, содержанию и научному уровню работа Горбушина Антона Роальдовича полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант заслуживает присвоения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

Отзыв подготовили:

Научный руководитель
ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»,
канд. техн. наук, доцент



Владимир Леонидович
Чемезов

Главный научный сотрудник
ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»,
канд. техн. наук



Владимир Александрович
Силантьев

Начальник экспериментального отдела
отделения аэродинамики и динамики
полёта летательных аппаратов
ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»



Владимир Михайлович
Писчасов

Я, **Чемезов Владимир Леонидович**, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 31.1.006.01, и их дальнейшую обработку.

Я, **Силантьев Владимир Александрович**, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 31.1.006.01, и их дальнейшую обработку.

Я, **Писчасов Владимир Михайлович**, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 31.1.006.01, и их дальнейшую обработку.

Дата «03» марта 2025 г.

Наименование организации:	ФАУ «СибНИЯ им. С.А. Чаплыгина»
Почтовый адрес:	630051, г. Новосибирск, ул. Ползунова, 21
Веб-сайт:	https://sibnia.ru
Телефон:	+7(383) 279-01-56
Адрес электронной почты:	sibnia@sibnia.ru

Подписи научного руководителя института Чемезова В.Л.,
главного научного сотрудника Силантьева В.А.,
начальника отдела Писчасова В.М. заверяю.

*Инженер 2 категории
отдела кадров*



УТВЕРЖДАЮ

1-ый заместитель генерального
директора – заместитель по
НИОКР, директор ОКБ, главный
конструктор "ГосМКБ "Радуга" им.
А.Я. Березняка



Е.К. Сыздыков

2024 г.

АКТ

об идентификации и аттестационном комплексе АО "ГосМКБ
"Радуга" им. А.Я. Березняка" научных результатов диссертационной
работы Горбушина А.Р., представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук.

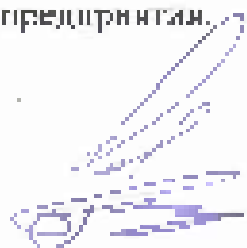
Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы
начальника испытательного центра – начальника лаборатории №30 ФАУ
«ЦАГИ» Антона Романовича Горбушина «Методы определения
нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных
аппаратов с помощью тензометрических весов и аэродинамических труб»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.5.12 Аэродинамика и процессы теплообмена летательных
аппаратов, включены в программы обработки результатов испытаний и
аэродинамических труб АУ-1 и АУ-2 "ГосМКБ "Радуга", а именно:

1. метод определения коэффициента температурной чувствительности
тензометрических весов;
2. метод внесения поправок на изменение нулевых показаний
тензометрических весов за время опыта;
3. метод учета нелинейности и метрических частей компонент тензометрических
весов при их показаниях.

Разработанные методы используются при обработке результатов испытаний
всех перспективных моделей предприятия.

Начальник ОК-3

Зам. начальника отдела 31

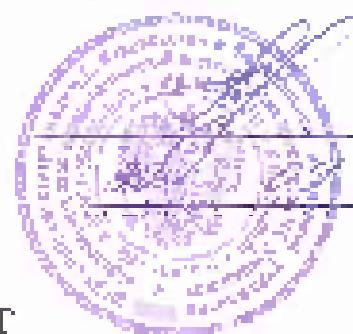


С.П. Ситнича

В.В. Голыаренко

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
научных центров аэродинамика
ФАУ «ЦАГИ»



С.В. Лапунов

2024 г.

АКТ

об исполнении в Научном центре «Аэродинамика ЦАИ» научно-исследовательского центра и прикладных работ ФАУ «ЦАГИ» научных результатов диссертационной работы Горбунова А.Р., представленной на соискание ученой степени доктора технических наук.

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Горбунова А.Р. в Научном центре – научная лаборатория №28 Аэродинамика ЦАИ выполнял Горбунов А.Р. «Методы определения нестационарных аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов с помощью тензотермических весов в аэродинамических трубах», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.12 Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов, внедрены в практику обработки результатов испытаний в аэродинамической трубе ЦАИ Т-128, а именно:

1. метод определения коэффициента температурной чувствительности тензотермических весов;
2. метод внесения поправок на изменение нулевых показаний тензотермических весов за время опыта;
3. метод учета всех моделей и метрических частей комплекта тензотермических весов на их показания.

Разработанные методы использовались при обработке результатов испытаний в аэродинамической трубе Т-28 моделей летательных аппаратов пологого и градиентного переломления, в частности Су-57, Як-130, Су-334, Су-334, SSJ-100, MCX-25, А-780, F35-130, F35-190, Legacy 600, Legacy-620, Phenom-100, Phenom-300, A321, модели переломного административного сверхзвукового самолета по проекту Караванской 6-ой

разочной пропускной 'HISAC', модели служебного аппарата 'Рю-Х',
модели мотоциклов SaM-146 и ПД-2.

Начальник ИКО-2



А.В. Волков