

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.006.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА  
Н.Е. ЖУКОВСКОГО»

МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ (ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ),  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 25 июня 2024 г. № 15

О присуждении Алиевой Диане Александровне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование нестационарных аэродинамических характеристик модели магистрального самолета в широком диапазоне углов атаки и их феноменологическое моделирование в продольном канале для задач динамики полета» по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов в виде рукописи принята к защите 26 марта 2024 года (протокол № 11) диссертационным советом 31.1.006.01, созданным на базе Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности). Адрес организации: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1. Приказом Минобрнауки России от 03.06.2021 №561/нк диссертационному совету 31.1.006.01 предоставлено право приема к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание степени доктора наук.

**Соискатель** Алиева Диана Александровна, 06 ноября 1986 года рождения. В **2009** году соискатель окончила магистратуру «Московского физико-технического института (государственного университета)» (в настоящее время «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)») с присуждением степени магистра прикладных математики и физики по направлению «Прикладные математика и физика», диплом ВМА 0097548 от 30. 06. 2009. С 2009 по **2013** год обучалась в аспирантуре на базе той же организации по специальности 05.07.01 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов» (в настоящее время 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов).

В **2007** соискатель принята на работу техником в ФГУП «ЦАГИ» (в настоящее время ФАУ «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности), затем работала инженером, младшим научным сотрудником, в настоящее время соискатель работает в должности научного сотрудника в отделе нестационарной аэродинамики Испытательного центра «Динамика» ФАУ «ЦАГИ». С **2022** работает по совместительству преподавателем в «Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** в Федеральном автономном учреждении «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» в Испытательном центре «Динамика» ФАУ «ЦАГИ».

**Научный руководитель:** Храбров Александр Николаевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник в испытательном центре «Динамика» ФАУ «ЦАГИ».

**Официальные оппоненты:**

**Овчаренко Валерий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

**Назарова Динара Камилевна**, кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) в своём **положительном** отзыве, подписанном Костиным Павлом Сергеевичем, доцентом, кандидатом технических наук, доцентом 72 кафедры и Верещиковым Дмитрием Викторовичем, доцентом, кандидатом технических наук, начальником 72 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов ВУНЦ ВВС «ВВА» **указала**, что диссертация представляет собой завершённое научное исследование, актуальное по тематике, целям и задачам, и содержит ряд новых научных результатов, имеющих также практического значение. Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов. Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании 72 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов Военно-воздушной академии им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) (протокол № 29 от 29 мая 2024 г.).

**Соискатель имеет 12 опубликованных работ** по теме диссертации, из них 6 работ опубликовано в научных журналах, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов; 1 статью в сборнике материалов конференции, представленном в издании, входящем в Scopus; 2 статьи в научных журналах; 3 публикаций в сборниках материалов конференций.

Наиболее значимые опубликованные работы в изданиях из списка ВАК РФ.

1. Алиева Д.А., Гришин И.И., Колинко К.А., Храбров А.Н. Экспериментальные исследования динамических производных модели CRM при малых дозвуковых скоростях. Ученые записки ЦАГИ. Т. LIV. №2. 2023. С .67–82.

Авторский вклад 60%. В статье приведены результаты экспериментальных исследований при вынужденных движениях с малой амплитудой и результаты сравнения с данными других авторов, изложенные в главе 1.

2. Алиева Д.А., Гришин И.И., Колинко К.А., Храбров А.Н. Комплексные экспериментальные исследования продольных аэродинамических характеристик модели CRM в Т-103 ЦАГИ. Ученые записки ЦАГИ. Т. L. № 5. 2019. С. 47–60.

Авторский вклад 70 %. В статье приведены результаты экспериментальных исследований при вынужденных движениях с большими амплитудами и управляемых движениях, изложенные в 1 главе, и обосновывается необходимость построения нелинейных моделей нестационарных аэродинамических характеристик.

3. Алиева Д.А., Гришин И.И., Колинко К.А., Храбров А.Н., Шуховцов Д.В. Гистерезис и асимметрия аэродинамических характеристик при развитии отрыва потока на модели самолета с прямым крылом большого удлинения. Механика жидкости и газа. 2022. №6. С.36–42.

Авторский вклад 40%. Экспериментально показано наличие гистерезиса продольных статических аэродинамических характеристик модели самолета с прямым крылом большого удлинения.

4. Алиева Д.А., Колинко К.А., Храбров А.Н. Гистерезис аэродинамических характеристик

профиля НАСА 0018 при малых дозвуковых скоростях. Теплофизика и аэромеханика. 2022. Т. 29. №1. С.1–15.

Авторский вклад 50%. Представлен способ учета гистерезиса статических характеристик при моделировании аэродинамики в продольном движении, изложенный в главе 2.

5. Алиева Д.А., Гришин И.И., Колинько К.А., Храбров А.Н. Аэродинамические характеристики модели CRM при вынужденных колебаниях большой амплитуды и их математическое моделирование. Ученые записки ЦАГИ. Т. LIV. №5. 2023. С. 30–43.

Авторский вклад 80%. Представлены математические модели продольных нестационарных аэродинамических характеристик модели магистрального самолета с разной точностью учёта запаздывания отрывного обтекания, изложенные в главе 2, способы их идентификации по экспериментальным данным, полученным в аэродинамической трубе малых дозвуковых скоростей, и результаты сравнительного анализа (глава 3).

6. Алиева Д.А., Абрамова К.А., Судаков В.Г., Храбров А.Н. Моделирование нестационарных аэродинамических характеристик профиля НАСА0015 по данным численного расчета обтекания. Механика жидкости и газа. №1. 2024. С. 129–142.

Авторский вклад 40%. Представлены результаты применения данных численного расчета для идентификации модели нестационарных аэродинамических характеристик с дополнительными дифференциальными уравнениями для внутренних переменных, представленные в главе 3.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов и ведущей организации.**

**Отзыв официального оппонента Овчаренко В. Н. положительный, имеются следующие замечания.**

1. Слишком длинное и подробное заглавие научной работы.
2. Небрежность автора в использовании устоявшихся и общепринятых терминов и понятий, непонятные стилистических оборотов.
3. В третьей главе, где идентифицируется нелинейная нестационарная модель аэродинамики магистрального самолета по полетным данным, отсутствует описание условий натурального эксперимента: не указаны конфигурация самолета, скорость и высота полета, как выполнялся эксперимент и т. д. Отсутствуют соответствующие графики переходных процессов.
4. Графики на рис. 3.32 и рис. 3.33 по оси ординат не оцифрованы.
5. Заключение написано излишне подробно, полученные действительно новые результаты не выделены и теряются.

**Отзыв официального оппонента Назаровой Д.К. положительный, содержит три замечания.**

1. Не проведено отдельного обзора литературы по теме работы, обзорные части содержатся во введении и второй главе, однако не приводятся конкретные результаты, полученные сторонними авторами ранее. В частности не описаны работы С.М. Белоцерковского, который ввёл гипотезу гармоничности.
2. В первой главе часть результатов, а именно стационарные аэродинамические коэффициенты  $c_y$ ,  $c_z$ ,  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  получены при скорости набегающего потока 25 м/с, при этом остальные данные (производные и полные аэродинамические характеристики) получены при 40 м/с. Следовало бы оценить, насколько существенно влияет скорость потока на аэродинамические коэффициенты самолета.
3. Сформулированные автором работы феноменологические модели аэродинамики летательного аппарата, основанные на применении дифференциальных уравнений, содержат внутренние переменные. Остался нераскрытым вопрос обоснованности

корректного выбора этих переменных.

**Отзыв ведущей организации положительный, высказаны следующие замечания.**

1. В работе присутствует неоднозначное употребление термина «динамический гистерезис». В некоторых случаях подразумевается неоднозначность аэродинамических характеристик, связанная их нелинейность на отрывных режимах без учета вклада от угловой скорости, в других случаях вклад угловой скорости также называется «динамическим гистерезисом».
2. В первой главе работы представлены результаты экспериментального исследования как продольных, так и боковых характеристик, при этом в дальнейшем при обсуждении методов математического моделирования аэродинамики речь идет только о продольном движении, что никак не обосновано.
3. На рисунках 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 ни легенды, ни подписи не указывают на обозначение маркерами экспериментальных данных, а также на то, что положение точки отрыва  $x_s$ , приведенное на графиках, оценивается на их основе, что крайне затрудняет восприятие излагаемого материала.
4. На рисунке 3.16 представлена диаграмма применимости традиционной математической модели аэродинамики в безразмерном виде и указано, что она может использоваться для полноразмерного самолета. При этом отсутствует анализ того, как соотносятся кинематические параметры движения реального самолета с представленными на диаграмме областями.

**На автореферат поступило 6 отзывов из организаций, перечисленных ниже.**

**1) Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина» (ПАО «Ил»).** Отзыв подготовила заместитель Главного конструктора ПАО «Ил» по аэродинамике, динамике полета и системе управления самолетом, кандидат технических наук Круглякова О.В. Отзыв положительный, включает три замечания.

1. Рисунок 6 автореферата не содержит легенды, что затрудняет понимание представленных данных.
2. Вызывает сомнение адекватность термина «статический гистерезис», так как отрывное течение имеет принципиально нестационарную природу. Уместнее использовать формулировку «гистерезис статических характеристик».
3. Отсутствуют графики, показывающие сравнение результатов феноменологического моделирования продольных нестационарных аэродинамических характеристик профиля NASA 0015 с результатами нестационарного CFD расчета.
4. В автореферате указано, что модель аэродинамики с дополнительными уравнениями идентифицированная по летным данным может использоваться на пилотажных стендах, однако остается не ясным, для каких режимов полета проводилась идентификация её параметров и как именно предлагаемая модель может быть интегрирована в существующие модели аэродинамики самолета.

**2) Акционерное общество «Туполев» (АО «Туполев»).** Отзыв составил начальник отдела аэродинамических исследований ПКЦ «Аэродинамика» АО «Туполев», кандидат технических наук Ерохин П.В. Отзыв положительный, имеются два замечания.

1. В главе 3 автореферата упоминается CFD расчет, но не указано, какой софт использовался, не указан шаг по времени при проведении расчета. Было ли рассмотрено влияние сеточной сходимости на полученный результат?
2. В качестве модели турбулентности указана k-w SST. Не ясно, на основе чего был сделан выбор в пользу данной модели турбулентности? Проводилось ли сравнение с другими моделями турбулентности?

**3) Опытное конструкторское бюро им. А.И. Микояна («ОКБ им. А.И. Микояна»).**

Отзыв подготовили заместитель Главного конструктора ОКБ по системам управления ПАО «ОАК» ОКБ им. А.И. Микояна, заслуженный машиностроитель РФ, доктор технических наук, профессор Оболенский Ю.Г., начальник бригады аэродинамики, кандидат технических наук Аржанов Ю.И. Отзыв положительный, содержит следующие замечания.

1. В автореферате не отражены результаты сравнения полученных экспериментальных результатов с данными других авторов и численными оценками, о которых заявлено.
2. В автореферате отсутствует описание и анализ отрывного течения частей компоновки при гармонических движениях. Обсуждается только его влияние на интегральные характеристики.
3. Указана возможность объединения моделей аэродинамики на больших углах атаки с линейными моделями, однако не ясно проводилось ли такое объединение.

**4) Акционерное общество «Уральский завод гражданской авиации».** Отзыв подготовила заместитель главного конструктора Дивизиона беспилотной авиации, кандидат физико-математических наук, доцент Владимирова Н.А. Отзыв положительный, содержит следующие замечания.

1. В работе исследуется открытая модель магистрального пассажирского самолета CRM (Common Research Model, NASA) с размахом крыла 1.5 м в аэродинамической трубе АДТ Т-103 ЦАГИ. Масштаб модели по отношению к натурному самолету составляет порядка 1:40. Эти данные в диссертации не приведены, а вопросы влияния размерности модели и числа Рейнольдса на физику обтекания и аэродинамические характеристики модели самолета не рассмотрены.
2. Анализ влияния частей компоновки на характеристики демпфирования проводился на основе полученных в эксперименте интегральных характеристик. Такой подход не позволяет изучить, как развиваются и взаимодействуют между собой отрывы потока с несущих поверхностей.
3. В предложенном способе учета нелинейной зависимости продольных аэродинамических коэффициентов от угловой скорости предполагается неразделимость параметров  $\omega_z$  и  $\dot{\alpha}$ , тогда как в полете это не имеет места. Ограничения предлагаемого метода не сформулированы.
4. Из автореферата не ясно, как именно проводилась идентификация параметров модели по летным данным, с использованием всех данных одновременно или записей отдельных маневров.

**5) Филиал публичного акционерного общества «Яковлев» - Региональные самолеты.** Отзыв составил начальник департамента аэродинамических характеристик Филиала ПАО «Яковлев» - «Региональные самолеты», доктор технических наук Шевяков В.И. Отзыв положительный, включает три замечания.

1. Не совсем понятно использование автором понятия «магистральный самолет», что необоснованно ограничивает область применения результатов диссертации. Более правильным представляется использование терминов «самолет транспортной категории» или «неманевренный самолет».
2. Их автореферата неясно, исследовалось ли влияние динамических характеристик сервоприводов органов управления на результаты испытаний с управляемыми движениями.
3. В автореферате отсутствует обоснование применимости для полной компоновки самолета подхода с моделированием динамики с учетом гистерезиса статических характеристик, продемонстрированного на примере профиля.

**6) Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная корпорация» – Опытно-конструкторское бюро Сухого («ОКБ Сухого»).** Отзыв составил

Главный конструктор по аэродинамике, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Тарасов А.З. Отзыв положительный, имеются следующие замечания.

1. Не описана структура нелинейной функции, которой предлагается заменить классическое линейное выражение нестационарных АДХ.
2. Не описан способ выбора структуры и параметров в феноменологической модели нестационарных АДХ с дополнительной переменной.
3. Неясно изложена процедура замены АДХ с гистерезисом на набор обратных функций, которые позволяют обойти сложность с неоднозначностью в представлении гистерезиса.
4. Отсутствует информация о том, что по сравнению со стандартным динамическим экспериментом в АДТ (вынужденные колебания) дает эксперимент с моделью на шарнире и с дистанционно управляемыми рулями, при том, что такая модель существенно сложнее в изготовлении и требует новых методик испытаний.
5. Имеются расхождения между указанными в тексте автореферата публикациями по работе и приведенным в конце автореферата списком работ, опубликованных по теме диссертации.

**Диссертант предоставил акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс МФТИ (НИУ). Акт утвердил проректор по научной работе Баган В.А. Диссертант предоставил акт о внедрении результатов диссертационной работы в работу Филиала ПАО «Яковлев» – «Региональные самолеты». Акт утвердил заместитель директора по разработке Филиала ПАО «Яковлев» – «Региональные самолеты» Долотовский А.В.**

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями, компетентностью, наличием публикаций в данной сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**получены** новые результаты экспериментальных исследований нестационарных аэродинамических характеристик модели самолета транспортной категории с открытой геометрией при вынужденных и управляемых движениях на дозвуковых скоростях;

**показано** влияние горизонтального оперения и мотогондол на нелинейное изменение характеристик демпфирования на больших углах атаки, влияние запаздывания развития отрывного и восстановления безотрывного обтекания на аэродинамические силы и моменты при движении с большими амплитудами, продемонстрирована нелинейная зависимость момента тангажа от угловой скорости;

**предложены** новые способы феноменологического описания нелинейных нестационарных аэродинамических характеристик при движении на больших углах атаки с учетом динамического затягивания развития отрывного обтекания и с учетом гистерезиса в статических характеристиках;

**продемонстрирована** возможность построения феноменологической модели аэродинамики с дополнительными обыкновенными дифференциальными уравнениями для внутренних переменных при продольном движении по данным численного расчета и летных испытаний.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно применены существующие экспериментальные методики (вынужденные движения), а также новый метод исследования нестационарных аэродинамических характеристик при управляемых движениях модели

самолета на шарнире;

предложен способ описания нелинейных нестационарных аэродинамических характеристик при движении на больших углах атаки;

модифицирован способ описания динамических эффектов при движении в отрывном течении с введением дополнительных дифференциальных уравнений для внутренних переменных для случая наличия гистерезиса статических характеристик.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что**

полученные в разных типах динамических экспериментов данные для открытой модели магистрального самолета могут использоваться для валидации численных методов и изучения нелинейных нестационарных эффектов при вынужденном и управляемом движении;

предложены новые подходы к описанию продольных нелинейных нестационарных аэродинамических характеристик для задач динамики полета, которые имеют общий характер и позволяют разрабатывать феноменологические математические модели аэродинамики на больших углах атаки для широкого класса гражданских самолетов для обеспечения безопасности полетов в летных испытаниях и эксплуатации;

в учебный процесс «Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)» внедрены теоретические и практические результаты диссертационной работы соискателя в рамках дисциплины «Нестационарная аэродинамика самолетов»;

полученные в результате работы технические решения использовались в филиале ПАО «Яковлев» – «Региональные самолеты» в рамках программы SSJ-NEW, рекомендации учитываются при отработке аэродинамических характеристик и характеристик устойчивости и управляемости в рамках стендового моделирования динамики полета самолетов семейства RRJ-95, в том числе с участием летчиков;

разработанная и зарегистрированная автором «Программа VLM для расчета аэродинамических производных летательных аппаратов» применяется для построения линейных математических моделей нестационарной аэродинамики летательных аппаратов различных конфигураций на предварительных этапах проектирования.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

экспериментальные исследования проведены в промышленной аэродинамической трубе с использованием сертифицированного откалиброванного и поверенного измерительного оборудования;

установлено качественное и количественное согласование полученных экспериментальных данных с опубликованными результатами других авторов;

разрабатываемые подходы к феноменологическому моделированию базируются на анализе существующих современных методов математического моделирования нестационарных аэродинамических характеристик и обобщении результатов их практического применения.

**Апробация** работы проходила на российских и международных конференциях; результаты диссертации **опубликованы** в ведущих российских журналах по тематике исследования.

#### **Личный вклад соискателя состоит:**

Автор принимала личное участие в подготовке и проведении динамических экспериментов, провела обработку и анализ данных эксперимента с вынужденными колебаниями, выполнила сравнение с аналогичными данными других авторов; принимала личное участие в разработке методики проведения эксперимента с управляемым движением и обработке экспериментальных данных. Новые способы феноменологического описания нестационарных аэродинамических характеристик предложены автором. Автор разработала модели нестационарных аэродинамических характеристик модели магистрального самолета с



### Соответствие паспорту специальности:

Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует заявленной специальности 2.5.12. в пунктах: п.1 (Теоретические, расчетные и экспериментальные исследования обтекания летательных аппаратов, объектов авиационной и ракетно-космической техники, и их частей установившимися и неустановившимися потоками газовых сред), п.2 (Расчётные и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов, разработка методов расчета этих характеристик).

Соискатель Алиева Д.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, а также согласилась с некоторыми замечаниями.

На заседании 25 июня 2024 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 11.09.2021 № 1539). Диссертационный совет заключил, что за решение научной задачи, имеющей важное значение для развития способов описания нелинейных нестационарных аэродинамических характеристик для обеспечения безопасности полетов гражданских самолетов присудить Алиевой Диане Александровне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них:

- по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы
  - 5 докторов физико-математических наук,
  - 1 доктор технических наук,
- по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов
  - 3 доктора физико-математических наук,
  - 6 докторов технических наук,
- по специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов
  - 1 доктор физико-математических наук,
  - 4 доктора технических наук,

участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени — 19, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней — 1.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
31.1.006.01,  
д.ф.-м.н.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
31.1.006.01,  
д.ф.-м.н., доцент

25 июня 2024 года



Сергей Владимирович Ляпунов

Мурад Абрамович Брутян