

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 26 ноября 2024 г. № 24

О присуждении Курилову Владимиру Борисовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование взлетно-посадочной механизации перспективных пассажирских самолетов с помощью расчетно-экспериментальных методов» по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов в виде рукописи принята к защите 27 августа 2024 года (протокол № 19) 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 Курилов Владимир Борисович, 03 июля 1988 года рождения. В 2011 году соискатель окончил «Московский авиационный институт (государственный технический университет)» (в настоящее время Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)). Присуждена квалификация инженер по специальности «Самолето- и вертолетостроение». В 2011 году соискатель принят на работу инженером в научно-исследовательское отделение аэродинамики летательных аппаратов ФГУП «ЦАГИ» (в настоящее время ФАУ «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности). В 2014 году соискатель окончил аспирантуру по специальности 05.07.01 – «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов». В настоящее время соискатель работает в должности ведущего инженера в научно-исследовательском центре аэрогидродинамики (НИЦ АГД) ФАУ «ЦАГИ».

Диссертация выполнена в Федеральном автономном учреждении «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» в научно-исследовательском центре аэрогидродинамики (НИЦ АГД) ФАУ «ЦАГИ».

Научный руководитель: Болсуновский Анатолий Лонгенович, кандидат технических наук, начальник отдела в научно-исследовательском центре аэрогидродинамики (НИЦ АГД) ФАУ «ЦАГИ».

Официальные оппоненты:

Шевяков Владимир Иванович, доктор технических наук, начальник департамента аэродинамических характеристик ПАО «Яковлев»,

Попов Сергей Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры, начальник научно-исследовательской лаборатории теоретической и экспериментальной аэродинамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное Общество «Туполев» (г. Москва) в своем

положительном отзыве, подписанном Крупником Александром Львовичем, начальником ПКЦ «Аэродинамика», **указала**, что диссертация представляет собой завершенное научное исследование, актуальное по тематике, и содержит ряд новых научных результатов, имеющих практического значение, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов. Диссертационная работа и отзыв прошли обсуждение на заседании НТС АО «Туполев» (протокол № Пр-934-10.01 от 23.10.2024).

Соискатель имеет 20 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 работы опубликованы в научных журналах, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов, а также 3 патента на изобретения.

Наиболее значимые работы:

В изданиях из списка ВАК РФ:

1. Болсуновский А.Л., Бузоверя Н.П., Губанова И.А., Губанова М.А., Курилов В.Б. Решение обратной задачи для многозвенного профиля в рамках уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу // Ученые записки ЦАГИ. №3. Т. LII. 2021. С. 3-17.

Авторский вклад 20 %. Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований, используемые в 1 главе.

2. Курилов В.Б., Сахарова А.И. Расчетные исследования по определению влияния модификации щитка Крюгера на аэродинамические характеристики компоновки самолета с ламинарным крылом // Ученые записки ЦАГИ. №5. Т. LIII. 2022. С. 3-11.

Авторский вклад 75 %. Приведены результаты расчетных исследований, изложенных в 3 главе. Показана эффективность корневых вставок щитка Крюгера для повышения несущих свойств крыла.

3. Курилов В.Б. Исследования по увеличению несущих свойств ламинарного крыла со щитком Крюгера // Вестник МАИ. 2023. Т. 30. №2. С. 17-23.

Приведены результаты экспериментальных исследований, изложенных в 3 главе. Экспериментально подтверждена эффективность корневых вставок щитка Крюгера и вихрегенера на фюзеляже для повышения несущих свойств крыла.

4. Курилов В.Б. Исследования адаптивной механизации задней кромки крыла магистрального самолета // Вестник МАИ. 2024. Т. 31. №2. С. 23-34.

Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований, изложенных в 1 главе. Показана эффективность адаптивной механизации задней кромки крыла с поворотным закрылком и отклоняемым вниз интерцептором.

Выданы патенты:

1. Патент 2556745, Российская Федерация, МПК В64С 23/06, В64С 3/10. Устройство для повышения несущих свойств летательного аппарата / Болсуновский А.Л. (RU), Бузоверя Н.П. (RU), Брагин Н.Н. (RU), Курилов В.Б. (RU), Матросов А.А. (RU), Подобедов В.А. (RU), Скоморохов С.И. (RU); заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») (RU) – заявл. 21.05.2014, опубл. 20.07.2015.

2. Патент 2662595, Российская Федерация, МПК В64С 3/10. Крыло летательного аппарата / Болсуновский А.Л. (RU), Бузоверя Н.П. (RU), Брагин Н.Н. (RU), Курилов В.Б. (RU), Скоморохов С.И. (RU), Чернышев И.Л. (RU), Губанова И.А. (RU); заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») (RU) – заявл. 21.09.2017, опубл. 26.07.2018.

3. Патент 2790893, Российская Федерация, В64С 3/50, В64С 3/54, В64С 3/56, В64С 9/26, МПК В64С 23/06. Устройство для повышения несущих свойств летательного аппарата / Болсуновский А.Л. (RU), Брагин Н.Н. (RU), Курилов В.Б. (RU), Сахарова А.И. (RU); заявитель и патентообладатель: Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ») (RU) – заявл. 11.11.2022, опубл. 28.02.2023.

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

Отзыв официального оппонента Шевякова В.И. – положительный, имеются следующие замечания:

1. В качестве цели работы упоминается крыло магистрального самолета, что необоснованно сужает область использования полученных результатов. Более правильным представляется использование понятия «самолет транспортной категории».

2. Явно не сформулированы задачи, решаемые в работе для достижения поставленной цели.

3. В качестве научной новизны указана разработка новой взлетно-посадочной конфигурации, что больше является технической новизной. Практически заложенные в работе основы метода проектирования механизации «ламинарного» крыла выпукло не обозначены.

Отзыв официального оппонента Попова С.А. – положительный, имеются следующие замечания:

1. В главе 1 на рис. 26 можно заметить диффузорный отрыв на верхней поверхности в области задней кромки закрылка Фаулера. Это может свидетельствовать о том, что базовая конфигурация выбрана не оптимально. Соответственно, эффективность закрылка Фаулера может быть выше.

2. На рис. 31 показана схема отклонения интерцептора с плавным переходом на основное звено. В настоящее время на самолетах при отклонении интерцептора реализуется стык верхней поверхности с разрывом. В работе нет указаний, как повлияет это обстоятельство на характеристики конфигурации с отклоняемым вниз интерцептором.

3. В главе 2 на рис. 60 показаны зависимости коэффициента подъемной силы от угла атаки и моментные характеристики. В то же время не показана поляра первого рода. Аналогично на рис. 65 и 66 показаны зависимости коэффициента подъемной силы от угла атаки и аэродинамического качества по коэффициенту подъемной силы, при этом не показаны моментные характеристики.

4. В главе 3 на стр. 95 при представлении расчетных исследований не показан процесс верификации решения, связанный с определением сеточной сходимости.

5. В расчетных исследованиях в главе 3 используется компоновка без мотогондолы и пилона. В то же время в экспериментальных исследованиях эти элементы модели присутствуют. В диссертации не указана причина удаления данных элементов из математической модели при проведении расчетов.

6. На стр. 105 указан диапазон чисел Рейнольдса в испытаниях в АДТ, равный $Re=1.9\div 7.2\cdot 10^6$. При этом в работе не представлены результаты при $Re>5.75\cdot 10^6$.

7. В работе не показано, из каких соображений выбраны используемые значения коэффициента импульса струи C_j и каким образом они моделировались в расчете.

Отзыв ведущей организации положительный, высказаны следующие замечания:

1. В главе 1 на рис. 31 показана схема адаптивной механизации задней кромки, выполненная на модели, где отклонение интерцептора вниз не приводит к излому на верхней поверхности крыла. В работе не указано, как планируется реализовать данную технологию на реальном самолете.

2. В главе 2 на рис. 58 показана схема крыла модели с заглушкой-«клювом». При этом из текста не ясно, куда будет убираться данное устройство в крейсерском положении.

3. Компоновка математической модели для расчетов в главе 3 не соответствует модели в трубном эксперименте. В работе не приводится объяснение этого несоответствия.

4. В главе 3 на стр. 105 указано, что испытания полумодели проводились при числах $Re=1.9\div 7.2$ млн. Однако графики аэродинамических характеристик представлены только для диапазона $Re=1.9\div 5.75$ млн.

5. В работе отсутствует исследование предлагаемых вариантов механизации с учетом влияния экранного эффекта.

На автореферат поступило 6 отзывов из организаций, перечисленных ниже.

1) **Акционерное Общество «Конструкторское бюро точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана».** Отзыв подготовили первый заместитель главного конструктора, кандидат технических наук Корнеев А.Б., ведущий инженер теоретического отдела, кандидат технических наук Власов О.Ю. Отзыв положительный, содержит четыре замечания:

1. В тексте автореферата отсутствует описание использованного математического аппарата для проведения численных исследований. По всей видимости, автором применялось численное решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, реализованное в существующем программном комплексе. Использование подобного комплекса для расчета аэродинамических характеристик требует его верификации для рассматриваемого класса задач. Из текста автореферата не следует, какие исследования были для этого выполнены: какие были рассмотрены параметры расчетной сетки, модели турбулентности и т.д. Например, выбор модели турбулентности для расчета отрыва потока является сложной задачей, а выбранная модель может оказывать существенное влияние на параметры отрыва потока и аэродинамические характеристики. Также в тексте автореферата отсутствует сравнение полученных расчетных характеристик с экспериментальными.

2. С нашей точки зрения, было бы целесообразно провести исследования обтекания крыла при больших углах атаки с работающим двигателем.

3. По результатам исследований были подобраны сочетания углов отклонения закрылка и интерцептора для скорости потока 50 м/с. Можно ли эти выводы распространить на более широкий диапазон скоростей?

4. Отсутствуют результаты по влиянию различных вставок на лобовое сопротивление и аэродинамическое качество.

2) **Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича СО РАН.** Отзыв составили главный научный сотрудник лаборатории «Физики быстропротекающих процессов», доктор физико-математических наук Медведев А.Е., научный сотрудник лаборатории «Физики быстропротекающих процессов», кандидат физико-математических наук Голышева П.С. Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. Нечеткость формулировок при описании отклоняемого элемента в первой главе. На стр. 7 он называется «крыша», далее фигурирует как интерцептор.

2. В третьей главе в экспериментальных и расчетных исследованиях используется разная компоновка модели. В тексте нет пояснения причины этих различий.

3) **Научно-учебный комплекс «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.** Отзыв подготовили доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук Луценко А.Ю., доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук Назарова Д.К. Отзыв положительный. Имеется три замечания:

1. Не четко сформулированы основные задачи исследования для реализации указанной цели.

2. Применение разработанных автором работы способов совершенствования механизации приведет к изменению не только сил, действующих на крыло, но и моментов, что указано на странице 18 автореферата. Остается не ясным, как именно изменятся моментные характеристики крыла.

3. К сожалению, на рисунке 5 автореферата представлены 2 одинаковых графика $C_{y_{\max}} = f(\delta_3)$ для различных типов закрылков (см. стр. 10), что вносит некоторую неясность.

4) **Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук.** Отзыв составил старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук Мороков Е.С. Отзыв положительный, содержит три замечания:

1. Нечеткость при формулировании ряда положений, выносимых на защиту.

2. Отсутствие разъяснения ряда буквенных обозначений, встречающихся в тексте.

3. Отсутствие нумерации формул.

5) **«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».** Отзыв подготовили начальник кафедры аэродинамики и безопасности полета Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук, доцент Головнев А.В., доцент кафедры аэродинамики и безопасности полета Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук Энкин А.А. Отзыв обсужден на заседании кафедры аэродинамики и безопасности полета. Отзыв положительный, содержит три замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, исследовались ли моментные характеристики крыла при использовании предлагаемых вариантов взлетно-посадочной механизации.

2. Из автореферата не совсем понятно, почему экспериментальные исследования механизации задней кромки крыла проводились при неотклоненном предкрылке, в то время как расчетные характеристики получены для варианта с отклоненным предкрылком.

3. В главе 3 для экспериментальных и расчетных исследований использовалась разная компоновка моделей, однако в тексте автореферата нет пояснения причин этих различий.

6) **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации».** Отзыв подготовили заведующий кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», доктор технических наук, профессор Киселев М.А., ученый секретарь кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов», кандидат технических наук, доцент Ефимова М.Г. Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов». Отзыв положительный, содержит два замечания:

1. Отсутствие в автореферате материалов в части оценки погрешности используемых автором численных методов расчета аэродинамических характеристик.

2. Отсутствие в автореферате материалов в части оценки влияния предлагаемой механизации на изменение аэродинамического качества, связанное с потерями на балансировку.

Диссертант предоставил акт о внедрении результатов диссертационной работы в отделе аэродинамического проектирования конструкторского бюро инженерного центра ПАО «Яковлев». Акт утвердил начальник отдела аэродинамического проектирования Матросов А.А.

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:

разработана компоновка взлетно-посадочной механизации ламинарного крыла перспективного регионального самолета, уровень несущих свойств которой соответствует взлетно-посадочной механизации самолетов традиционной схемы с турбулентным крылом;

предложены способы повышения эффективности механизации передней кромки для устранения отрыва в корне стреловидного крыла на взлетно-посадочных режимах;

доказана эффективность упрощенной механизации задней кромки крыла с поворотным закрылком и отклоняемым вниз интерцептором в сравнении с выдвигным закрылком;

получены рациональные сочетания углов отклонения закрылка и отклоняемого вниз интерцептора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлено, что адаптивная механизация задней кромки крыла магистрального

самолета с поворотным закрылком и отклоняемым интерцептором имеет большую эффективность по сравнению с выдвижным закрылком; определены рациональные сочетания углов отклонения закрылка и интерцептора;

показано, что потери несущих свойств щитка Крюгера и обычного предкрылка обусловлены явлением отрыва в прикорневых сечениях крыла;

предложена и исследована новая конфигурация взлетно-посадочной механизации ламинарного крыла перспективного магистрального самолета со щитком Крюгера;

расчетным путем **изучено** влияние выдува струи воздуха из торца щитка Крюгера при использовании на самолете воздушно-тепловой ПОС на отрыв потока в корне крыла.

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

показаны возможности увеличения эффективности механизации передней кромки крыла за счет уменьшения размера щелей и использования вихрегенераторов;

предложена компоновка взлетно-посадочной механизации ламинарного крыла перспективного регионального самолета, уровень несущих свойств которой соответствует взлетно-посадочной механизации самолетов традиционной схемы с турбулентным крылом;

полученные результаты по упрощенной механизации задней кромки крыла с поворотным закрылком и отклоняемым интерцептором планируется использовать при разработке крыла перспективного магистрального самолета в ПАО «Яковлев».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность **обеспечивается** систематическим сравнением результатов расчета с экспериментальными данными, полученными в аттестованных аэродинамических трубах ЦАГИ с использованием отработанных методов экспериментального исследования, применением сертифицированных программных комплексов обработки данных;

подтверждение повторяемости результатов, полученных в опытах в разное время.

Апробация работы проходила на российских конференциях;

результаты диссертации **опубликованы** в ведущих российских журналах по тематике исследования.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

Все результаты, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Все экспериментальные исследования проведены и подготовлены при участии или лично автором. Постановка задачи и обработка результатов расчетов выполнялись автором. Обработка результатов и их анализ по каждой главе выполнены автором лично. Совместно полученные результаты представлены с согласия соавторов.

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 неуставившимися потоками газовых сред), п. 2 (Расчетные и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов, разработка методов расчета этих характеристик, включая алгоритмы и программное обеспечение САПР летательных аппаратов), п. 4 (Управление процессами обтекания летательных аппаратов).

Соискатель Курилов В.Б. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, а также согласился с некоторыми замечаниями.

На заседании 26 ноября 2024 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых 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 повышения эффективности

