

Ученому секретарю
диссертационного совета 31.1.006.01
на базе ФАУ «ЦАГИ»,
доктору физико-математических наук,
доценту Брутяну М.А.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Запрягаева Валерия Ивановича
на диссертационную работу Матяша Ивана Сергеевича по теме «Влияние
адаптивной системы отсоса в криволинейном канале на аэродинамические
характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных
аппаратов

Актуальность избранной темы диссертации

Актуальность определяется необходимостью проектирования в РФ
летательных аппаратов нового поколения на основе адаптивных систем
регулирования двигателя, обладающих высокой топливной эффективностью, а
также высоким уровнем экологической безопасности. Это особенно важно при
работе с интегральными компоновками, где методы макрорегулирования теряют
свою эффективность.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка
сокращений, списка литературы и списка основных публикаций автора по теме
диссертации. Полный объем диссертации составляет 159 страниц, включая
111 рисунков и 20 таблиц. Список источников литературы содержит
101 наименование.

Во введении указаны актуальность и степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи работы, определены методы исследования, отмечена научная новизна, обоснованы достоверность и практическая значимость результатов. Кроме того, автором выделены положения, выносимые на защиту, указан личный вклад, отмечены основные публикации и выступления на конференциях по теме диссертации, выражена благодарность за содействие работе.

В первой главе проводится аналитический обзор источников литературы, обоснованы интерес к криволинейным каналам в рамках рассмотрения «неклассических» компоновок летающих аппаратов и актуальность использования методов управления отрывом применительно к указанным каналам. Рассматриваются основные численные методы решения указанного класса задач. Важно, что автор формулирует основные задачи и проблемы исследования на основе проведенного анализа источников литературы.

Во второй главе сформулирована математическая постановка методов RANS и IDDES, а также их замыканий в виде модели турбулентности SST и модели турбулентности SSG/LRR- ω класса DRSM. На двух тестовых примерах отрыва потока с гладкой поверхности обосновывается использование метода SST-RANS для стационарной постановки и SST-IDDES для нестационарной постановки задачи в дальнейшем исследовании. Следует отметить факт, что автор применяет собственные настройки модели турбулентности класса DRSM, что указывает на высокий уровень его квалификации.

В третьей главе рассмотрен отрыв потока в тестовом криволинейном канале воздухозаборника. Описана геометрия канала, математическая постановка задачи. Полученное решение сопоставлено с экспериментальными результатами и данными расчетов других авторов. Описана структура возникающего отрыва, основной особенностью которого является незамкнутость области возвратного течения. К полученному решению применен критерий Бам-Зеликовича, который позволил с высокой точностью выделить область возвратного течения.

В четвертой главе предлагается адаптивная система отсоса пограничного слоя, адаптивность которой заключается в расположении щели отсоса в соответствии с размером и положением отрыва. При помощи численных расчетов рассмотрены различные размеры и положения щелей отсоса, и показано, что предложенная адаптивная система позволяет получить наибольший выигрыш по коэффициенту восстановления полного давления и параметру окружной неравномерности, а также подавить отрыв потока. Указанный вывод подтвержден на различных режимах работы канала. Также показано, что предложенная система позволяет снизить уровень пульсаций полного давления в канале. Проведено сравнение с другими способами управления отрыва и показано, что предлагаемый способ работает не хуже, а во многих случаях лучше, чем описанные в способы управления отрывом.

В пятой главе описаны экспериментальные исследования, проведенные для подтверждения результатов численных расчетов. В процессе испытаний получены два режима течения, один из которых приводит к росту, а другой – к снижению характеристик потока в канале. Результаты испытаний в расчетном режиме подтверждают положительный эффект применения адаптивной системы отсоса, наблюдаемый в численных расчетах, с сопоставимым ростом основных характеристик потока. Визуализация картины течения на поверхности, выполненная с использованием сажемасляного покрытия подтверждает структуру отрывного течения, наблюдаемого в численных расчетах канала без системы отсоса, и отсутствие отрыва в канале при наличии системы отсоса.

В шестой главе рассматриваются криволинейные каналы с различными соотношениями основных геометрических параметров. Построена суррогатная модель, позволяющая с хорошей точностью предсказать наличие отрыва и характеристики течения по геометрическим параметрам канала и расходу газа на входе в канал. Для вариантов каналов с возникающим отрывом применена предложенная адаптивная система отсоса. Результаты численных расчетов подтверждают положительный эффект применения системы для широкого диапазона геометрических параметров канала.

В седьмой главе приведены теоретические оценки влияния системы на дальность полета, показывающие возможный положительный эффект. Также предложено несколько концепций для реализации предлагаемой адаптивной системы отсоса пограничного слоя.

В заключении обобщаются основные результаты работы.

Список сокращений составлен с выполнением требований ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Список источников литературы оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 и включает необходимый перечень источников.

Новизна исследования

Впервые показано, что адаптация щели отсоса пограничного слоя к размерам отрывной зоны в криволинейном канале воздухозаборника позволяет получить больший выигрыш по характеристикам течения, чем применение щелей, не учитывающих размер и положение отрыва. Получен уникальный опыт по расчету нестационарного отрывного течения в криволинейном канале воздухозаборника численным методом IDDES с применением механизмов «синтетической» турбулентности и «форсинга» для улучшения описания пограничного слоя. Экспериментально показано, что в криволинейном канале с отсосом пограничного слоя вследствие гистерезиса возможна реализация двух режимов течения, один из которых приводит к улучшению характеристик воздухозаборника, а другой – к ухудшению.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в том, что показана принципиальная невозможность объяснить физические особенности трёхмерного отрывного течения в криволинейном канале, исходя только из двумерных представлений об отрыве потока, так как ключевую роль приобретают «боковые» вихри, через которые газ уходит из отрывной зоны.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе предложенного адаптивного метода отсоса пограничного слоя в криволинейном канале можно разработать способ регулирования воздухозаборника перспективного гражданского самолета с учетом локальных особенностей потока

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации

В заключении к диссертации сделано 8 выводов. Это позволяет проанализировать их шаг за шагом.

1. Вывод 1 не вызывает сомнений. В диссертации «показано, что адаптация геометрии щели в системе отсоса к размерам отрыва в криволинейном канале позволяет получить больший выигрыш по характеристикам течения, чем применение щели без учета геометрии отрыва. Для базовой геометрии канала на основном режиме было достигнуто снижение абсолютной величины потерь полного давления на 1% и абсолютной величины параметра окружной неравномерности на 56%». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (разделы 4.3, 4.4).
2. Вывод 2 гласит, что «при помощи вихреразрешающего расчёта показано, что применение адаптивной системы управления пограничным слоем снижает амплитуду пульсаций полного давления в канале на 39%». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 4.5).
3. Вывод 3 гласит, что «показано, что предложенная система позволяет улучшить характеристики течения в широком диапазоне значений расхода воздуха через криволинейный канал ($q(\lambda) = 0.53 \div 0.72$)». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 4.4).

4. Вывод 4 гласит, что «показано, что предложенная система работает в широком диапазоне геометрических параметров канала, позволяя получить выигрыш по абсолютной величине потерь полного давления до 3% и по абсолютной величине параметра окружной неравномерности до 67%». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 6.3).
5. Вывод 5 гласит, что «в рамках экспериментальных исследований показано, что при применении системы отсоса пограничного слоя в криволинейном канале могут реализовываться два режима течения, один из которых улучшает характеристики потока на входе в двигатель, а второй – ухудшает». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 5.4).
6. Вывод 6 гласит, что «в рамках экспериментальных исследований подтвержден положительный эффект применения предложенной системы отсоса, позволяющий получить выигрыш по абсолютной величине потерь полного давления 1%, по абсолютной величине параметра окружной неравномерности – 48% и снизить амплитуду пульсаций полного давления на 57%». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 5.4).
7. Вывод 7 гласит, что «в рамках экспериментальных исследований подтверждена схема течения в канале, полученная в рамках численных расчетов». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 5.4).
8. Вывод 8 гласит, что «получены теоретические оценки влияния расхода воздуха через щель системы управления пограничным слоем и величины коэффициента восстановления полного давления в канале воздухозаборника на дальность полета летательного аппарата. Показано, что при применении адаптивной системы управления пограничным слоем к основному варианту криволинейного канала, рассматриваемого в диссертации, можно увеличить дальность полета летательного аппарата

на 1%». Подтверждение обоснованности указанного вывода находится в тексте диссертации (раздел 7.1).

Таким образом, можно сделать заключение о том, что основные положения, результаты и выводы диссертации являются обоснованными и достоверными.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению

Содержание диссертации полностью соответствует цели работы и сформулированным задачам. Диссертация является цельным и завершенным исследованием с четкой структурой:

1. Выбрана, верифицирована и валидирована методология исследования;
2. Разработана методология подавления отрыва пограничного слоя в криволинейном канале воздухозаборника;
3. Проведено экспериментальное исследование модели криволинейного канала с возможностью отбора пограничного слоя;
4. Проведена оценка влияния адаптивного отсоса пограничного слоя на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата.

Тем не менее, следует указать на недочеты при оформлении диссертации:

1. В главе 2 «Обоснование выбора расчетного метода для решения задачи расчета отрыва турбулентного потока вязкого газа от стенок гладкого криволинейного канала» автор значительное внимание уделяет исследованию модели турбулентности DRSM, хотя в реальной работе он эту модель не использует.

Дискуссионные положения и замечания по диссертации

При общей положительной оценке диссертации Матяша И.С. следует отметить ряд дискуссионных вопросов и замечаний:

1. В работе исследован изолированный канал. Остается открытым вопрос, как интерференция с фюзеляжем самолета при верхней компоновке изменит сделанные выводы?
2. В работе нет описания алгоритма работы адаптивной системы отсоса. В частности, неясен принцип работы «улавливателя» отрывной зоны и «оценщика» ее размеров.
3. В эксперименте обнаружен эффект бифуркации, когда возможны два режима течения в канале, которые принципиально отличаются друг от друга. Получен или нет указанный эффект в расчете?
4. При проведении параметрических расчетов выбраны диапазоны варьирования параметров потока. Где гарантия того, что охвачен весь диапазон и важный режим не оказался пропущенным?
5. Непонятно, почему простой критерий Бам-Зельдовича дает приемлемые результаты. Ведь коэффициент в этом критерии получен в совершенно других условиях?
6. Пульсации потока имеют важное значение при определении границ устойчивой работы двигателя. Почему автор подробно исследует неравномерности и только фрагментарно пульсации?

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертация Матяша Ивана Сергеевича на тему «Влияние адаптивной системы отсоса в криволинейном канале на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата» является самостоятельной законченной научно-исследовательской работой. Обоснованность и достоверность выводов, основных научных положений и практических рекомендаций диссертации не вызывает сомнений. Работа содержит теоретические и практические решения, касающиеся организации системы адаптивного отсоса пограничного слоя в криволинейном канале гипотетического воздухозаборника. В рамках диссертационного исследования

автором впервые показано, что в криволинейном канале с отсосом пограничного слоя вследствие гистерезиса возможна реализация двух режимов течения, один из которых приводит к улучшению характеристик воздухозаборника, а другой – к ухудшению. Область диссертационного исследования соответствует паспорту научных специальностей ВАК Минобрнауки России, а именно специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов в следующих пунктах:

- 1) пункт 1 – Теоретические, расчетные и экспериментальные исследования обтекания летательных аппаратов, объектов авиационной и ракетно-космической техники и их частей установившимися и неустановившимися потоками газовых сред;
- 2) пункт 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;
- 3) пункт 6 – Аэродинамика двигательной установки (воздухозаборники, сопла, их согласование с двигателем.

Положения диссертационного исследования Матяша Ивана Сергеевича, выносимые на защиту, отражены в 5 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации. Предложенные автором методики прошли успешную апробацию на ряде научно-практических конференций. Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационного исследования. По объему полученных данных, новизне поставленных и решенных задач, научному и практическому значению полученных результатов, диссертационная работа Матяша Ивана Сергеевича соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842 (ред. от 25.01.2024)), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени

кандидата наук, а её автор Матяш Иван Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник,
доктор технических наук, профессор

 В.И. Запрягаев

Адрес: ИТПМ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1
тел.: +7-913-929-12-80
e-mail: zapr@itam.nsc.ru

Подпись главного научного сотрудника Валерия Ивановича Запрягаева заверяю


(должность)

 
(подпись) (Ф.И.О.)

Дата 21.01.2025



ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Матяша Ивана Сергеевича на тему

«Влияние адаптивной системы отсоса в криволинейном канале на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. - «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Представленная на защиту работа посвящена одной из наиболее **сложных** и остающейся **актуальной** проблеме управления течением в диффузорных каналах, решение которой может существенно улучшить тягово-экономические характеристики силовых установок традиционных схем и открыть путь к созданию новых. Принятый автором интересный и конструктивный подход к решению упомянутой проблемы заключается в использовании **адаптивной** системы управления течением в диффузорных криволинейных каналах, включающей физически адекватную математическую модель течения, позволяющую установить взаимосвязь между его критическими параметрами (положением отрывной зоны, уровень пульсаций, градиент давления и т.п.) и параметрами системы воздействия на поток (местоположением отбора воздуха, его уровнем, интенсивностью и т.п.).

Конкретизируя вышесказанное, **целью** диссертационной работы Матяша И. С. является разработка метода подавления отрыва пограничного слоя в криволинейном канале воздухозаборника путем организации системы адаптивного отсоса с учетом локальных размеров отрывной зоны.

Задачи, решаемые автором в процессе реализации поставленной цели, включают:

- выбор, верификация и валидация математической модели течения;
- разработка методики подавления отрыва пограничного слоя в криволинейном канале воздухозаборника;
- экспериментальное исследование модели криволинейного канала с возможностью отбора пограничного слоя;
- оценка влияния адаптивного отсоса пограничного слоя на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата.

В соответствии с указанным перечнем задач **на защиту выносятся:**

- методика построения адаптивной системы отсоса в криволинейном канале воздухозаборника силовой установки летательного аппарата;
- результаты анализа физических особенностей отрывного течения в криволинейном канале воздухозаборника на основе результатов численного моделирования;
- результаты экспериментального исследования модели криволинейного канала с системой отсоса пограничного слоя;
- результаты оценки влияния разработанного метода на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата.

Соответствие паспорту специальности. Содержание диссертации полностью соответствует задаче, указанной в паспорте специальности 2.5.12. в следующих пунктах:

- теоретические, расчетные и экспериментальные исследования обтекания летательных аппаратов, объектов авиационной и ракетно-космической техники и их частей установившимися и неустановившимися потоками газовых сред;
- расчетные и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов, разработка методов расчета этих характеристик, включая алгоритмы и программное обеспечение САПР летательных аппаратов;
- аэродинамика двигательной установки (воздухозаборники, сопла, их согласование с двигателем).

Научная новизна работы состоит в том, что:

- впервые показано, что адаптация щели отсоса пограничного слоя к размерам отрывной зоны в криволинейном канале воздухозаборника позволяет получить больший выигрыш по характеристикам течения, чем применение щелей, не учитывающих размер и положение отрыва;
- получен уникальный опыт по расчету нестационарного отрывного течения в криволинейном канале воздухозаборника численным методом IDDES с применением механизмов «синтетической» турбулентности и «форсинга» для улучшения описания пограничного слоя;
- показано, что в криволинейном канале с отсосом пограничного слоя вследствие гистерезиса при организации необходимого расхода газа возможна реализация двух режимов течения, один из которых приводит к улучшению характеристик воздухозаборника, а другой – к ухудшению.

Апробация работы. Результаты работы прошли апробацию на 9 – ти отраслевых, всероссийских и международных конференциях: Европейский

конгресс по численным методам в прикладных науках и технике (ECCOMAS, онлайн-конференция, 2021); XXVIII Всероссийская конференция с международным участием «Высокоэнергетические процессы в механике сплошной среды» (Новосибирск, 2021); XXVI Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям (Санкт-Петербург, 2022); Всероссийская конференция «Вычислительный эксперимент в аэроакустике, СЕАА» (Светлогорск, 2022); XXXIV научно-техническая конференция по аэродинамике (п. Володарского, 2024) XXII Международная конференция по методам аэрофизических исследований (ICMAR, Новосибирск, 2024).

Личный вклад. Изложенные в диссертации результаты получены либо лично автором, либо с его определяющим участием в постановке задач, выборе методов их решения и анализе результатов.

Публикации. Основные результаты работы по теме диссертации изложены в 15 научных публикациях, 5 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Scopus, и 7 публикаций в сборниках материалов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав и Заключения. Полный объем диссертации составляет 159 страниц, включая 111 рисунков и 20 таблиц. Список использованных источников литературы содержит 101 наименование.

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель и задачи работы, излагаются научная новизна, теоретическая и практическая значимость представляемой работы и основные положения, выносимые на защиту.

Ключевой темой **первой главы** является обоснование выбора объекта исследования, в качестве которого рассматривается дозвуковой диффузор входного устройства маршевой силовой установки дозвукового гражданского самолета типа «летающее крыло», частично или полностью «погруженной» в фюзеляж. Предлагаемый для исследования диффузор представляет собой «агрессивный» (предельно малой длины из-за габаритных ограничений) S-образный криволинейный канал, течение в котором характеризуется высокой пространственной неоднородностью и пульсациями параметров потока на входе в двигатель. На основе анализа существующих численных методов для дальнейшего исследования автором выбран ряд методов, включающих метод RANS-SST как наиболее используемый из этого класса на данный момент, метод DRSM с замыканием в виде модели турбулентности SSG/LRR- ω и перспективный метод

вихреразрешающий метод IDDES-SST, позволяющий получить наиболее достоверное решение задачи рассматриваемого типа.

Во **второй главе** автор демонстрирует компетенцию владения перечисленными выше численными методами, входящими в состав программного пакета EWT-ЦАГИ (модули ZEUS и zFlare), на примерах достаточно сложных тестовых задач «Периодические холмы» и «Дозвуковой отрыв в гладком канале с расширением», что позволило автору решить ряд методических вопросов по выбору параметров расчетных методов и оценить влияние необходимого объема вычислительных и временных ресурсов на достоверность результатов, получаемых этими методами.

В **третьей главе** автором была продолжена подготовительная работа к решению расчетной составляющей основной задачи диссертации – исследованию течения в криволинейном диффузоре входного устройства с адаптивным отсосом пограничного слоя. В качестве объекта рассматривался тестовый криволинейный канал M2129, исследованный Европейской исследовательской группой GARTEUR (Group for Aeronautical Research and Technology in EUROpe) в 2012 году. Полученные автором результаты, демонстрируют сходимость решения как по итерациям, так и по вложенным сеткам. Сравнение параметров измерительном сечении канала с результатами расчетов различными моделями турбулентности позволило оценить интервал разброса результатов используемого подхода. Также было проведено сравнение результатов с экспериментальными данными, которое продемонстрировало ошибку порядка 1% по измеряемым в измерительном сечении величинам полного и статического давления, что было сочтено удовлетворительным. Следует отметить, что полученные результаты подтвердили применимость разработанного ранее в ЦИАМ (Г.М. Бам-Зеликович) критерия отрыва пространственного пограничного слоя, что позволило в дальнейшем использовать этот критерий для практического анализа.

В ключевой для расчетных исследований **четвертой главе** формулируется предлагаемый адаптивный способ управления отрывным течением и решаются задачи по определению геометрических параметров различных вариантов системы отбора. Было показано, что в широком диапазоне расходов применение системы отсоса позволяет снизить потери полного давления и величину параметра окружной неравномерности, причем имеет место оптимальный расход, при котором это снижение достигает максимума.

Пятая глава посвящена результатам экспериментального исследования модели криволинейного канала с возможностью отбора пограничного слоя и сопоставлению с результатами численных расчетов. Исследуемая

экспериментальной модели являлась масштабированной версией канала, рассмотренного в главах 3 и 4, с регулируемой (посредством вставок) щелью отбора пограничного слоя, расположенной поверхности канала до начала предполагаемого отрыва. Была обнаружена зависимость режима течения от предыстории, связанная с последовательностью установления расход через канал и через щель слива. Найденное объяснение этому явлению позволило отработать методику проведения эксперимента, при котором реализовалось предсказанное расчетом поведение интегральных характеристик течения и провести их количественное сравнение.

Шестая глава посвящена двум задачам: расчетному предсказанию характеристик потока по основным геометрическим параметрам канала (создание суррогатной модели) и проверке работы адаптивной системы отсоса в различных каналах. В процессе обширных расчетных исследований варьировались четыре геометрических параметра (выходной диаметр канала, длина канала, отклонение средней линии и длина области нарастания пограничного слоя перед каналом) и расход воздуха на входе, в качестве выходных – коэффициент восстановления полного давления, параметр окружной неравномерности и наличие/отсутствие отрыва. Специально отобранные отрывные режимы течения моделировались экспериментально с использованием предлагаемой адаптивной системы отсоса пограничного слоя для проверки ее эффективности в каналах с различными соотношениями геометрических параметров.

Седьмая глава посвящена возможным реализациям предложенной адаптивной системы отсоса. Предложена, в частности, модифицированная с учетом расхода газа через щель отсоса формула влияния коэффициента восстановления полного давления на дальность полета типового летательного аппарата с ТРДД большой степени двухконтурности. Кроме того, предложено несколько схем реализации адаптивной системы отсоса, в которой единая щель отсоса заменяется рядом отверстий и упрощается процесс регулировки системы по измеряемым специальными датчиками параметрам течения или по закону регулирования, зависящему от параметров двигателя и условий полета, который, например, можно построить по результатам предварительных численных расчетов.

В заключении сформулированы основные результаты выполненных в диссертационной работе исследований, показывающие что:

- адаптация геометрии щели в системе отсоса к размерам отрыва в криволинейном канале позволяет получить больший выигрыш по характеристикам течения, чем применение щели без учета геометрии отрыва. Для базовой геометрии канала на основном режиме было достигнуто снижение абсолютной величины

потерь полного давления на 1% и абсолютной величины параметра окружной неравномерности на 56%;

- применение адаптивной системы управления пограничным слоем снижает амплитуду пульсаций полного давления в канале на 39%;

- предложенная система позволяет улучшить характеристики течения в широком диапазоне значений расхода воздуха через криволинейный канал;

- предложенная система работает в широком диапазоне геометрических параметров канала, позволяя получить выигрыш по абсолютной величине потерь полного давления до 3% и по абсолютной величине параметра окружной неравномерности до 67%;

- при применении предложенной системы отсоса пограничного слоя в экспериментальном криволинейном канале могут реализовываться два режима течения, один из которых улучшает характеристики потока на входе в двигатель, а второй – ухудшает;

- применение предложенной системы отсоса в экспериментальном канале, позволяет получить выигрыш по абсолютной величине потерь полного давления 1%, по абсолютной величине параметра окружной неравномерности – 48% и снизить амплитуду пульсаций полного давления на 57%;

- картина течения в экспериментальном канале воздухозаборника с адаптивной системой отсоса пограничного слоя и картина течения в канале с аналогичной системой, полученная в рамках численных расчетов, находятся в удовлетворительном соответствии;

- применение полученных теоретически оценок влияния расхода воздуха через щель системы адаптивного управления пограничным слоем на величины коэффициента восстановления полного давления в основном варианте криволинейного канала воздухозаборника, рассматриваемого в диссертации, может при оптимальном управлении увеличить дальность полета типового летательного аппарата на 1%.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что показана принципиальная невозможность объяснить физические особенности трёхмерного отрывного течения в криволинейном канале, исходя только из двумерных представлений об отрыве потока, так как ключевую роль приобретают «боковые» вихри, через которые газ уходит из отрывной зоны.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе предложенного адаптивного метода отсоса пограничного слоя в криволинейном канале можно разработать способ регулирования воздухозаборника перспективного гражданского самолета с учетом локальных особенностей потока.

Методология и методы исследования базируются на опыте теоретических работ ЦАГИ и заключаются в проведении расчётов с помощью методов вычислительной аэродинамики с последующей валидацией полученных результатов.

Достоверность результатов обосновывается путём привлечения экспериментальных данных к созданию предлагаемых моделей и сопоставлением численных и аналитических результатов.

Содержание диссертации соответствует названию. Основные положения и результаты работы в достаточной мере опубликованы в статьях, представлены в патентах и доложены на научно-технических конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и даёт представление о научной новизне и практической значимости работы, и о личном вкладе автора.

Основываясь на анализе содержания диссертации, хотелось бы высказать ряд замечаний:

- возможность достоверного предсказания вязкого течения при заметных расходах ($q(\lambda) \approx 0,7$) в реальных криволинейных диффузорных каналах силовых установок, являющегося нестационарным по природе и подверженного влиянию многих факторов (зачастую трудно описываемых), находится на грани возможностей современных численных методов;

- с учетом вышесказанного, несмотря на энтузиазм автора, решение научной части поставленной задачи – построение достоверной математической модели упомянутого течения в сколь-нибудь широком диапазоне определяющих параметров – на основе только численных методов является маловероятным (кстати, один важных критических параметров влияющий на исследуемое течение – число Рейнольдса – в работе даже не упоминается);

- другим слабым местом работы является неопределенность схемы летательного аппарата (ЛА) для повышения лётно-технических характеристик которого может быть в полной мере использована предлагаемая адаптивная схема управления течением в криволинейном диффузорном канале;

- естественное применение предлагаемой технологии управления течением в переходных диффузорных каналах в тракте ТРДД (между каскадами компрессора) в работе не упоминается.

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертации, выполненной на актуальную тему и имеющей научную и практическую ценность.

В целом диссертация Матяша Ивана Сергеевича на тему **«Влияние адаптивной системы отсоса в криволинейном канале на аэродинамические характеристики воздухозаборника силовой установки летательного аппарата»** представляет собой законченную научно-квалификационную работу, результаты которой являются полезным вкладом в решение актуальной и практически важной задачи эффективного управления течением в диффузорных каналах, решение которой может существенно улучшить тягово-экономические характеристики силовых установок традиционных схем и открыть путь к созданию новых. Работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения ВАК РФ «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор – Матяш Иван Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник,

начальник отдела «Технологии моделирования авиационных ГТД и силовых установок и системы информационной поддержки проектирования» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»

Макаров Владимир Евгеньевич

24 января 2025 года

Подпись руки Макарова В. Е. заверяю,

Ученый секретарь

ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова»,



Джамай Екатерина Викторовна

Федеральное автономное учреждение

«Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова»

Адрес: 111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2,

Телефон +7(495) 362-40-25

Адрес электронной почты: vmakarov@ciam.ru