

Утверждаю

Проректор по научной деятельности
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет",
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Нуртгашиев Д.К.



« » июня 2018

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шабалина Алексея Сергеевича «Исследование влияния угла отклонения выходных кромок продольных ребер решеток на газодинамические характеристики реверсивного устройства ТРДД», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов»

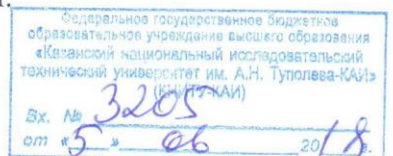
Одним из эффективных способов торможения самолёта является реверсирование тяги турбореактивного двигателя. Однако при включении устройства реверсирования тяги могут возникнуть определённые проблемы, обусловленные попаданием реверсивных потоков и посторонних предметов во входное устройство двигателя. Возможно попадание реверсивной струи в воздухозаборник как вследствие прилипания её к мотогондоле, так и отражения от взлётно-посадочной полосы. Это приводит к ограничению времени работы реверсивного устройства, что снижает эффективность торможения самолёта.

Диссертационная работа Шабалина Алексея Сергеевича посвящена актуальной тематике – повышению эффективности применения устройства реверсирования тяги перспективного двигателя за счёт отклонения выходных кромок продольных ребер решёток с целью уменьшения попадания во входное устройство отражённых от взлётно-посадочной полосы реверсивных потоков.

Целью диссертационной работы является исследование влияния угла отклонения выходных кромок продольных ребер решеток на газодинамические характеристики реверсивного устройства, направленное на оптимизацию существующих конструкций и выработку рекомендаций, необходимых при проектировании реверсивных устройств. Исследование проведено на основе численного моделирования и сравнения с экспериментальными данными.

Диссертация изложена на 123 страницах и состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения и списка использованных источников из 124 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, а также определены методы проведения исследования.



В **Первой главе** рассмотрены различные способы торможения самолёта, классификация устройств реверсирования тяги, а также дана оценка различным существующим расчётным и экспериментальным способам исследования реверсивных устройств. Выявлены основные тенденции развития в области проектирования устройств реверсирования тяги. На основании анализа существующих проблем выполнена постановка задач настоящего исследования.

Во **второй главе** выполнен аналитический обзор численных методов моделирования течения в устройствах реверсирования тяги, отмечены преимущества и недостатки рассмотренных методов. Определены условия получения наибольшей точности вычислений, целесообразность применения той или иной модели турбулентности для решения данного класса задач.

В **третьей главе** приведено описание экспериментальной установки, моделирующей реверсивное устройство перспективного двигателя, а также описание исследуемых решёток. Результаты измерений, полученные на этой установке, использовались для сопоставления с полученными расчётными результатами для верификации численной модели. Приведено описание контрольно-измерительной аппаратуры, представлена методика обработки экспериментальных данных.

В **четвертой главе** представлены результаты численного моделирования течения в устройстве реверсирования тяги решётчатого типа, расположенного во внешнем контуре ТРДД. В двумерной постановке исследованы вопросы сеточной независимости и влияния различных моделей турбулентности на результаты вычислений. Сопоставление проводилось по профилю скорости на выходе из решётки, измеренного в плоскости симметрии модельной решётки, с результатами численного моделирования. В препроцессоре были сгенерированы расчётные сетки различного качества, которое оценивалось по параметру y^+ . С помощью программного комплекса Fluent выполнены вычисления, на основе которых определены диапазоны сеточной независимости, а также выбрана модель турбулентности, позволяющая получать наилучшее совпадение измеренного профиля скорости на выходе из решётки с расчётным.

Определён диапазон качества сетки y^+ , которого следует избегать, и значения при которых сетка не оказывает существенного влияния на результаты расчета. По результатам верификации численной модели для следующих расчетов выбрана модель турбулентности $k-\omega$ SST.

Пятая глава посвящена трёхмерному численному моделированию течения в реверсивном устройстве, имеющем решётки с отклонением выходных кромок продольных ребер. Приведена методика расчёта основных параметров и оценка погрешности результатов исследования. Проведено исследование влияние режима работы реверсивного устройства, оцениваемого по степени уменьшения давления в решетке π_c и угла отклонения выходных кромок продольных ребер γ на газодинамические характеристики решёток: коэффициент расхода, коэффициент восстановления полного давления, коэффициент реверсирования и величину обратной тяги. Величина обратной тяги определялась интегрированием профиля скорости потока на выходе из решетки. Полученные закономерности изменения параметров описаны обобщающими зависимостями.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Наиболее значимые, новые результаты, полученные автором, заключаются в следующем.

1) Получено совпадение расчетных и экспериментальных данных по потерям полного давления в решётке. Расчетные и экспериментальные зависимости коэффициента реверсирования от коэффициента восстановления полного давления решетки и коэффициента расхода от угла отклонения продольных ребер располагаются эквидистантно. Установлено, что коэффициент реверсирования не зависит от степени уменьшения давления в решетке и уменьшается при увеличении углов отклонения выходных кромок продольных ребер. Расхождение расчетных и экспериментальных данных, наиболее выраженное в зависимостях обратной тяги от степени уменьшения давления в решетке, объясняется отличиями заданных в расчете граничных условий от имевших место при проведении измерений. В целом численная модель адекватно описывает качественную картину течения в устройстве реверсирования тяги.

2) Проведено численное исследование влияние внешнего набегающего потока на параметры течения на выходе их решёток. Получены зависимости изменения газодинамических характеристик решёток от гидродинамического параметра q , представляющего собой отношение скоростных напоров набегающего потока и реверсивной струи.

3) Установлено, что с увеличением скорости внешнего потока коэффициент восстановления полного давления не изменяется, а обратная тяга, коэффициенты реверсирования и расхода уменьшаются. Однако в диапазоне режимов работы натурного реверсивного устройства перспективного двигателя их изменение не значительно и им можно пренебречь.

4) Исследована деформация профиля скорости на выходе из решётки под действием внешнего набегающего потока. Показана взаимосвязь изменения газодинамических характеристик с деформацией профиля скорости.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы на этапе проектирования устройств реверсирования тяги для сравнительной оценки характеристик решёток, различающихся геометрией отклоняющих элементов, и оптимизации конструкции решёток с целью повышения эффективности реверсивного устройства.

Достоверность полученных в диссертации результатов исследования обеспечивается корректным применением методов численного моделирования течений и подтверждается достаточной близостью теоретических результатов с экспериментальными данными.

Основные результаты диссертации изложены в 15 научных публикациях, в том числе: 3 статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи, опубликованы в изданиях, индексируемых в базе цитирования SCOPUS.

Автореферат в достаточной степени полно отражает содержание диссертации.

По диссертации имеются следующие **замечания**.

1. В диссертации имеются ошибочные формулы. Например, формула (1.3). Набрано $R_{\text{обр}} = R \cdot \bar{R}_{\text{рев.}} + G_{\text{в}} \cdot V_{\text{п}}$. Видимо, должно быть $R_{\text{обр}} = \bar{R}_{\text{рев.}} \cdot (R + G_{\text{в}} \cdot V_{\text{п}})$. В формуле (2.9) непонятно, что означают двойные штрихи в левой части равенства, а также что такое k в правой части. По смыслу k – это удельная кинетическая энергия турбулентности, но ранее через k обозначался показатель адиабаты.

2. Отсутствуют ссылки на рис. 2.5, непонятно откуда этот рисунок взят и что такое ψ на этом рисунке.

3. Страницы 87-89 диссертации имеют лирико-философский характер. Здесь автор довольно пространно рассуждает о том, какие ошибки могут быть допущены при проведении числовых расчетов. Например, он пишет: «Помимо погрешностей, возникающих в результате построения численной модели, источником погрешностей может стать и исследователь!» (Восклицательный знак мой). В результате подобных рассуждений он приходит к выводу, что оценивать достоверность численных методов лучше всего, сравнивая результаты с экспериментом. Мне кажется, что подобная лирика неуместна, тем более, что расчеты автора не всегда совпадают с экспериментом.

4. Это замечание носит характер пожелания. При проведении расчетов автор основное внимание уделяет анализу распределения скоростей на выходе из решетки. Не менее интересным является и распределение скоростей и углов натекания потока перед решеткой. Имея эту информацию, путем профилирования, видимо, можно добиться режима безударного входа для большинства лопастей решетки и снизить тем самым коэффициент потерь полного давления.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают положительной оценки работы Шабалина А.С. В целом, диссертационная работа является законченным научным исследованием, развивающим представление о методах исследования и способах усовершенствования реверсивных устройств.

Диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор Шабалин Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов».

Отзыв на диссертационную работу «Исследование влияния угла отклонения выходных кромок продольных ребер решеток на газодинамические характеристики реверсивного устройства ТРДД» заслушан и утвержден на заседании кафедры аэрогидромеханики (протокол № 10 от 25 мая 2018 года).

Профессор кафедры аэрогидромеханики
Казанского (Приволжского)
федерального университета, дфмн, проф.

Д.В. Маклаков

Адрес: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35

Телефон: +7 (843) 233-71-60

E-mail: dmaklak@kpfu.ru