

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, декана
аэрокосмического факультета ФГБОУ ВО ПНИПУ

Модорского Владимира Яковлевича

на диссертационную работу Аббаварам Ревант Редди

**«Конструктивные методы повышения интенсивности охлаждения и
снижения гидравлического сопротивления компактных воздухо-
воздушных теплообменников, устанавливаемых в наружном контуре
турбореактивных авиационных двигателей»**, представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
двигательных аппаратов

Актуальность темы

В настоящее время температуры газа на входе в турбины газогенератора в современных турбореактивных авиационных двигателях достигли максимально высоких величин, которые потребовали совершенствования и повышения эффективности охлаждения не только конструкции турбины, но и всей системы охлаждения в целом. Величины расходов охлаждающего воздуха, отбираемых на охлаждение деталей турбины стали в настоящее время составлять значительную величину, до 12...15 процентов только на одну ступень (ступени) турбины высокого давления (ТВД). Это приводит к существенному повышению её аэродинамической нагруженности и снижению КПД.

Наличие воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ), расположенного в наружном контуре ТРДД (ТРДДм), позволяет уменьшить температуру охлаждаемого воздуха, отбираемого от компрессора. Уровень снижения этой температуры зависит от эффективности ВВТ, которая определяется выбранными конструктивными параметрами, схемой расположения трубок в пучке, наличия или отсутствия интенсификаторов теплообмена, как внутри трубок, так и снаружи и т.д. В двухконтурных авиационных двигателях, где

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 05-04 2019 г.

ВВТ установлен в его наружном контуре, имеется ещё дополнительное требование по обеспечению минимального гидравлического сопротивления ВВТ, поскольку потери давления охлаждающего воздуха, возникающие при наружном обтекании ВВТ, снижают достигнутый уровень тяги двигателя. Это требование становится особенно актуальным, если в наружном контуре устанавливается два ВВТ, в которых охлаждается воздух, отбираемый из разных ступеней компрессора высокого давления (КВД).

Целью диссертационного исследования являлась разработка конструктивных методов повышения интенсивности охлаждения воздуха в трубчатых ВВТ, устанавливаемых в наружном контуре авиационных ТРДД, а также таких конструктивных схем компоновки ВВТ в наружном контуре ТРДД с малой степенью двухконтурности, которые позволяют обеспечить возможный минимум загромождения и потерь давления охлаждающего воздуха в этом контуре, при установке в нём ВВТ. Эта тема безусловно является значимой и актуальной при проектировании или модернизации современных и перспективных высокотемпературных ТВД.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Структура и содержание диссертации соответствуют поставленным задачам исследования.

Автором выявлены основные конструктивные параметры, влияющие на эффективность ВВТ. Общее число исследованных и сравниваемых автором диссертации вариантов проектирования ВВТ, отличающихся длиной малоразмерных трубок, их габаритными размерами, формой – цилиндрической или овальной (эллипсоидной), наличием или отсутствием интенсификаторов теплообмена в прямых или U-образных тонкостенных трубках, конструктивной схемой расположения трубок в пучке значительно, оно равно около шестидесяти. Для своих исследований автор использовал как традиционные методики расчёта по интегральным уравнениям, скорректированных эмпирическими коэффициентами, так и современные

программные средства — комплекс инженерного анализа ANSYS CFX - позволяющий одновременно получать данные по тепловой эффективности и гидравлическому сопротивлению трубчатой части ВВТ. Для моделирования конструктивного облика исследованных вариантов ВВТ использовался комплекс Simens NX.

Следует отметить большую трудоёмкость ряда расчётов с использованием комплекса ANSYS CFX. Число конечных элементов, с учётом их измельчения в пристеночном слое, для вариантов ВВТ с U-образными гладкими трубками, имеющими от трёх до пяти поворотных на 180° секций, составляет около 10-ти миллионов. При наличии интенсификаторов теплообмена, представляющих собой малоразмерные кольцевые выступы на внутренней поверхности трубок, их число возрастает до 40 миллионов, что требует использования специальных вычислительных средств, предназначенных для решения задач такого большого объёма исходных данных в приемлемое, для выполнения расчёта, время.

Новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выявлено изменение структуры потока охлаждаемого воздуха в поперечных сечениях U-образных трубок, зависящее от их длины и диаметра, наличия поворотов потока, изменения формы трубок (цилиндрическая или овальная), формы пучка и местоположения трубки в пучке.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность обусловлены верификацией с использованием экспериментальных данных, полученных с помощью стандартизованных методик и аттестованной аппаратуры. Для вычислительных экспериментов использовался программный комплекс ANSYS CFX хорошо зарекомендовавший себя при решении наукоемких инженерных задач.

Результаты реальных испытаний базового ВВТ, установленного в системе охлаждения экспериментального двигателя, полученные при измерении температуры охлаждающего воздуха на его входе и выходе, показали отличие температур расчётных и экспериментальных данных на режиме взлёта на 7,3% в сторону повышения его эффективности. Таким образом, полученные величины близки.

Научная и практическая значимость диссертационной работы

В рассматриваемой работе основные результаты исследований эффективности вариантов проектирования ВВТ представлены в виде изменения температуры охлаждаемого воздуха, а также эпюры линий тока и скоростей потока внутри малоразмерных трубок, от его входа до выхода из трубок, в зависимости от вида компоновки в пучках – рядно установленных по потоку или в перпендикулярном от этого направления движения охлаждающего воздуха, при различных геометрических размерах и формы их поперечных сечений, длины, прямых или U-образных, с гладкими внутренними стенками трубок или при наличии на них кольцевых интенсификаторов теплообмена и т. д.

Разработана новая конструктивная схема рядного трубчатого ВВТ, в котором, с целью снижения суммарного гидравлического сопротивления, в одном ряду одновременно охлаждается воздух, отбираемый за компрессором и его промежуточной ступени, которые на выходе из ВВТ поступают к узлам турбины ТРДД, требующим различную величину давления охлаждающего воздуха, на входе в эти узлы.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные автором результаты исследований по эффективности различных вариантов проектирования ВВТ позволяют, на этапе выполнения его аванпроекта, осуществлять оценку и оптимизацию его размеров, формы и всего конструктивного облика, при требуемом по условиям прочности и долговечности критичных деталей ТВД уровне снижения температуры,

отбираемого от компрессора охлаждаемого воздуха, обеспечивающего минимальный уровень гидравлического сопротивления ВВТ потоку охлаждающего воздуха.

Поскольку количество воздуха, отбираемого от компрессора на охлаждение деталей ТВД, от одного поколения ТРДД к другому возрастает, кроме того, увеличиваются требования к снижению массы и габаритов двигателей новых поколений, то представленные в диссертации результаты исследований имеют важное и актуальное значение для науки и практики создания высокоэффективных ВВТ, устанавливаемых в системах охлаждения турбин ТРДД.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Заявленные в диссертации цели работы выполнены в полном объеме. Результаты работы получены автором самостоятельно, опубликованы в 10-ти работах, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК по специальности 05.07.05, 3 статьи в других рецензируемых журналах и имеют научное значение.

Диссертация Аббаварам Ревант Редди представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой получены практически важные и новые научные результаты.

Достоинства и недостатки содержания и оформления диссертации, оценка научной работы соискателя в целом

Характерной особенностью и достоинством выполненной работы, с научной точки зрения, является рассмотрение и анализ физических процессов течения газа внутри трубок, определяющих уровень охлаждения горячего воздуха, протекающего внутри трубок: прямых и U-образных, цилиндрических и овальных, разных диаметральных размеров 4.0, 5.0 и 6.0 мм, собранных в рядные или шахматные пучки.

В результате выполненной работы получены зависимости, связывающие снижение температуры охлаждаемого воздуха с указанными выше

геометрическими параметрами ВВТ, $\Delta T = f(l, \emptyset)$, которые существенно сокращают время проектирования и оптимизации ВВТ, устанавливаемых в наружном контуре ТРДД с малой степенью двухконтурности. Автором сформулированы рекомендации по обеспечению оптимальной конфигурации и минимального гидравлического сопротивления такого назначения ВВТ.

Из недостатков работы можно отметить следующее:

1. При сравнении вариантов не учитываются массовые характеристики ВВТ.
 2. Не приводится математическая модель сопряженной аэротермоупругой задачи.
 3. Не показано, исключено ли влияние конечно-элементной сетки в каждом конкретном случае исследования, особенно при изменении (уменьшении) внутреннего диаметра исследованных малоразмерных трубок.
- Отмеченные недостатки не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Аббаварам Ревант Редди выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важной задачи актуального направления авиадвигателестроения. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа по содержанию, научной и практической значимости соответствует паспорту специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов и требованиям, изложенным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней...», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Аббаварам Ревант Редди заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент, декан
аэрокосмического факультета,

ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет»

Владимир
Яковлевич
Модорский

«27» марта 2019 года

Адрес: 614990, Российская Федерация, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29.

Рабочий телефон: 8 (342) 239-12-24

Адрес электронной почты: modorsky@pstu.ru

Подпись доктора технических наук, доцента, декана аэрокосмического факультета ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Модорского Владимира Яковлевича заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»
кандидат исторических наук, доцент



Владимир
Иванович
Макаревич