

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Поповой Татьяны Валерьевны
«Разработка методики проектирования, расчета и изготовления
теплообменного аппарата для малоразмерных ГТД с регенерацией тепла» на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации. Проблема повышения эффективности газотурбинных двигателей (ГТД) связана с фактом неуклонного роста требований к экономичности авиационных двигателей и энергетических установок. Особенно актуальна эта проблема для малоразмерных ГТД. Улучшение экономичности ГТД возможно за счет регенерации тепла.

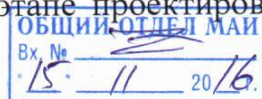
Одним из наиболее эффективных методов повышения экономичности и эффективности ГТД с регенерацией тепла является интенсификация процессов теплообмена. Данный метод позволяет снизить габариты теплообменного оборудования и, соответственно, его стоимость.

Несмотря на множество исследований, проведенных в данной области, остается открытым вопрос о совершенствовании методики проектирования, расчета и изготовления теплообменников при габаритных ограничениях, путем интеграции существующих знаний с учетом современных возможностей компьютерной техники и производства.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Научная новизна исследований диссертанта заключается в следующем: разработана методика, позволяющая сократить время на проектирование теплообменного аппарата для существующих схем малоразмерных ГТД; разработаны параметризованные геометрические модели пластины и оснастки теплообменного аппарата, а также теплоносителей; разработан алгоритм трехмерного численного расчета, позволяющий решить комплексную задачу газодинамики и теплопередачи для теплообменного аппарата; на основе трехмерного численного расчетного исследования получены критериальные зависимости для теплообменных поверхностей с различными углами скрещивания и высотами профиля гофра; разработана программа аналитического расчета для определения основных параметров теплообменного аппарата при задаваемых габаритных размерах пластины.

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. Данные результаты не противоречат опубликованным работам других авторов.

Практическое значение работы определяется тем, что методика расчета, разработанная автором, а также установленные им конструктивные и технологические параметры позволяют уже на этапе проектирования, до



изготовления опытных образцов прогнозировать высокую эффективность теплообменников, а также снизить материальные и временные затраты на их создание и отработку, повысить надежность ответственных изделий авиационной техники.

Результаты научного исследования могут быть использованы в АО «Авиадвигатель» (г.Пермь), ПАО «НПО Сатурн» (г.Рыбинск), на предприятиях нефтегазового сектора и энергетического машиностроения.

Апробация. Представление результатов диссертационной работы на международных и всероссийских научно-технических конференциях и их публикация в рецензируемых научных журналах позволяют говорить о проведении необходимой научной экспертизы полученных результатов.

Во введении формулируются актуальность, цель и задачи научного исследования, приводятся подразделы, отражающие научную новизну, практическую значимость и достоверность достигнутых научных результатов, показано личное участие автора.

В первой главе приводится обзор литературы, показана перспективность схемы ГТД с регенерацией тепла, позволяющая увеличить топливную эффективность до 36%. Автор указывает, что основным элементом такой схемы является теплообменник. С учетом специфики эксплуатации ГТД и особенно требования минимизации массогабаритных характеристик сделан выбор в пользу теплообменных аппаратов с теплопередающей поверхностью типа «набивки Френеля». Проведя анализ существующих исследований автор выявил, что при углах скрещивания пластин порядка 37 градусов наблюдается существенное возрастание числа Nu и коэффициента потерь давления по сравнению с гладким каналом. Автором выявлено, что методики проектирования с использованием трехмерных программ не приводятся, не рассмотрены вопросы технологии создания реальных пластин, конвертов и пакетов из них и штампов для их изготовления.

Во второй главе автор обработал экспериментальные данные других исследователей. Рассмотрены два варианта поверхностей теплообмена: набивка «Френеля» и поверхность с волнистыми гофрами. Выяснилось, что для удовлетворения эффективности и компактности необходимо соблюдать определенные размеры гофра и угла скрещивания.

В третьей главе рассматриваются вопросы, связанные с технологией изготовления теплообменника. Рассмотрены три технологии изготовления

теплообменников. По каждой технологии были изготовлены опытные образцы. Первой рассмотрена технология изготовления пластин теплообменника методом штамповки эластичной средой. Получена высота гофра пластины не более 1.4 мм, а требуется 2.5 мм. Затем рассмотрена технология методом штамповки на инструментальных штампах. Получена высота гофра пластины около 2.0 мм, что ближе к требуемой. Изготовлен теплообменник по аддитивной технологии. Испытания показали, что велики потери давления и технология SLS не обеспечивает требуемой точности. Сделан вывод о предпочтительности второй технологии. Для этой технологии обоснован выбор материала, типа сварки. Разработано приспособление-кондуктор для сварной операции и адаптирован техпроцесс роликовой шовной импульсной шаговой сварки для изготовления конвертов. Проведена адаптация режимов микроплазменной сварки для сборки тонкостенных жаростойких конвертов с матрицей теплообменника. Отработана технология лазерной резки деталей.

В четвертой главе автор предлагает методику трехмерного проектирования и расчета теплообменников малоразмерных ГДТ. Особенностью методики является ее оперативность при решении уточненной задачи проектирования с использованием 3D программ. Обычно для реализации оптимального с точки зрения габаритов и эффективности конструктивного решения требуется перебор целого ряда твердотельных 3D моделей, построение которых является очень трудоемким. Автор, предлагает на первом этапе сузить диапазон перебора путем предварительного упрощенного расчета. А на втором этапе, 3D расчеты предлагается проводить на так называемых параметризованных моделях, которые легко потом изменять, хотя построить чуть сложнее, чем обычные. Таким образом автор решил главную по трудоемкости проблему, стоящую перед исследователем, оперирующим 3D расчетами — изматывающее построение модели с отладкой на этапе разбиения ее сеткой перед запуском на расчет. В предложенном варианте один раз успешно построенная и разбитая на сетку модель может подвергаться безболезненной трансформации размеров для новых поисковых экспериментов. Я вижу здесь аналогию с групповыми чертежами: не надо перечерчивать весь комплект, достаточно внести изменения в готовый чертеж. Но вместе с тем, напрашивается следующий шаг — оптимизация конструкции параметризованного теплообменника с использованием специализированных пакетов (такими, например, как отечественный пакет IOSO PM), работающим с 3D пакетами инженерного

анализа (такими, например, как ANSYS). К сожалению, это пока в данной методике не реализовано. Автор анализирует структурированные и неструктурированные сетки. Можно признать, что автор является специалистом высокого уровня в 3D расчетах и отметить опыт работы автора в таком «серьезном» сеткопостроителе, как ICEM CFD. Делается вывод в пользу неструктурированных сеток, хотя, на мой взгляд, он не бесспорный. Автор затрагивает довольно болезненную для научного сообщества тему моделей турбулентности, но только с позиций использования этих моделей в своих расчетах в ANSYS.

Особо хотел отметить реализацию автором критериального подхода, основанного на 3D расчетах. Это позволяет отойти от использования дорогостоящих пакетов и оперативно получать достаточно точные решения. Разработанная методика использована для проектирования малоразмерного ГДТ, на который получен патент.

В выводах автор сжато излагает полученные результаты.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по работе

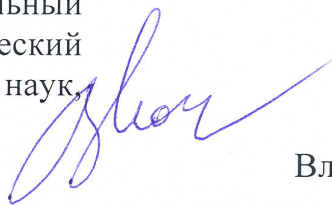
1. В главе 3 рассматривается аддитивная технология изготовления теплообменника, но делается вывод в пользу штамповки на инструментальных штампах. При этом рассмотрен только один метод спекания - SLS. Позволит ли применение других способов спекания показать преимущество аддитивных технологий?
2. Использование параметризованных моделей упрощает применение компьютерных программ оптимизации, но в работе об этом не упоминается.
3. В работе не упоминается необходимый при использовании 3D расчетов этап анализа сходимости решений на сгущающихся сетках.
4. В работе делается вывод о предпочтении неструктурированных сеток, но решение с их использованием бывает невозможно получить из-за «плохих ячеек».

В тексте диссертации есть неточности оформительского характера и опечатки, например на стр. 8 (в слове технологии), 12 (в слове замена), 37 (в слове размеров), 53 (двойная подпись к Рис. 21), 55 (в слове недостаточным), 64 (подпись к рисунку 28), 67 (в слове угловых), 75 (нет фото), 87 (в слове технологий изготовления), 115 (в слове зависит), 120 (в слове наряду) и др.

Хочу отметить, что отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

На основании изложенного, можно заключить, что по актуальности и новизне полученных результатов, выводов и рекомендаций, по их значимости для науки и решения практических задач, диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Диссертация соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, которым должны отвечать диссертации на соискании ученой степени кандидата наук, а ее автор, Попова Татьяна Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электродвигатели и энергостановки летательных аппаратов».

Почетный работник высшего профессионального образования РФ, зам. декана аэрокосмического факультета, профессор кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций», научный руководитель Центра высокопроизводительных вычислительных систем ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доктор технических наук, профессор



Модорский
Владимир Яковлевич

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

Рабочий телефон: 8 (342) 239-12-24

Адрес электронной почты: modorsky@pstu.ru

Подпись Почетного работника высшего профессионального образования РФ, зам. декана аэрокосмического факультета, профессора кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций», научного руководителя Центра высокопроизводительных вычислительных систем ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доктора технических наук, профессора Модорского Владимира Яковлевича заверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
к. ист. наук, доцент



Макаревич
Владимир Иванович