

Отзыв официального оппонента на диссертацию
Поповой Татьяны Валерьевны
**«РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
РАСЧЕТА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА
ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов»

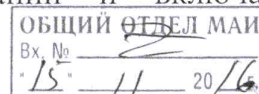
Актуальность работы. Эффективность газотурбинных двигателей (ГТД) можно увеличить за счет регенерации тепла в них. При этом ГТД оснащается теплообменным аппаратом. Однако данные меры ведут к увеличению размеров и массы ГТД. В связи с этим конструирование теплообменных аппаратов и определение их параметров являются важными задачами, так как, именно, от них зависят регенерация тепла, суммарные потери давления, а также стоимость двигателя.

Повысить эффективность газотурбинных установок с регенерацией тепла можно за счет интенсификация теплообмена в теплообменном аппарате. При выборе типа и схемы теплообменного аппарата основной целью является увеличение теплопередачи при минимально растущих гидравлических потерях. Проектированию, расчету и изготовлению теплообменных аппаратов посвящено значительное количество исследований, выполненных в России и за рубежом. Несмотря на имеющиеся исследования, остается нерешенным вопрос о модернизации методики проектирования, расчета и изготовления с учетом современных возможностей компьютерной техники и производства.

Существующие методы разработки теплообменных аппаратов требуют много времени на их реализацию. Эти затраты времени можно сократить с помощью трехмерных программ расчета и проектирования, позволяющих учесть большее количество факторов и визуализировать поля скоростей, температур, давлений.

Целью диссертационной работы является разработка методики расчета, проектирования и технологии изготовления пластинчатых теплообменных аппаратов для газотурбинных установок с регенерацией тепла.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 155 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 104 наименований и включает 69 иллюстраций и 9 таблиц.



В первой главе, рассмотрены основные преимущества и недостатки ГТД с регенерацией тепла и опыт их применения. Приводится классификация типов теплообменных аппаратов, которые делятся на две основные группы – трубчатые и пластинчатые. Принимая во внимание, что основным элементом, определяющим эффективность регенерации тепла в ГТД, является теплообменный аппарат, автор рассмотрела предъявляемые к конструкции требования. Далее, исходя из оценки технологии изготовления и стоимости заготовок для теплообменного аппарата, автор сделала вывод о преимуществе пластинчатого теплообменника над кожухотрубным, в котором не используется интенсификация теплообмена. Опираясь на исследования, представленные в литературе, автор пришла к мнению, что для рассмотренной задачи лучше всего подходят пластинчатые теплообменные аппараты с теплопередающей поверхностью типа «набивки Френкеля». Эта поверхность образована гофрированными листами, у которых гофры на смежных пластинах направлены под некоторым углом друг к другу. Представлено также сравнение данной поверхности с каналами без гофр, подтверждающее усиление интенсификации теплообмена при использовании «набивки Френкеля». Анализируя интенсивность теплообмена в канале с «набивкой Френкеля», автор использовала закономерность, что увеличение угла скрещивания пластин ведет к возрастанию числа Нуссельта по сравнению с каналом без гофр.

Во второй главе автор обосновала выбор характеристик гофра для достижения максимальной эффективности и компактности на основе экспериментальных данных, имеющихся в литературе. С этой целью в работе рассмотрены две поверхности теплообмена: поверхность типа «набивки Френкеля» и поверхность с непрерывными волнистыми гофрами. Приведены результаты анализа геометрических параметров гофра пластины теплообменного аппарата, в том числе: высота гофра, угол скрещивания гофр, шаг гофра. В данной главе определен диапазон параметров, удовлетворяющих требованиям эффективности и компактности теплообменного аппарата.

В третьей главе автор рассмотрела различные технологии изготовления теплообменного аппарата. В числе рассмотренных: штамповка упругой средой, штамповка инструментальными штампами и метод послойного спекания. Изготовлены экспериментальные образцы с применением каждой из рассмотренных технологий. Для апробирования технологии изготовления по методу лазерного спекания проведены эксперименты, в которых определены теплогидравлические характеристики теплообменного аппарата. Результаты экспериментов

показали, что данная технология, несмотря на ее перспективность, требует доработки. Определен диапазон технологических ограничений геометрических параметров для гофра пластины теплообменного аппарата.

Автор установила, что технология штамповки на инструментальных штампах позволяет получить высоты профиля гофра, соответствующие геометрическим параметрам, определенным во второй главе.

В четвертой главе описаны этапы методики расчета, проектирования, изготовления теплообменного аппарата на основании определённого ранее диапазона геометрических параметров, удовлетворяющих требованиям эффективности, компактности и технологичности. Приводится описание каждого этапа данной методики. Автором разработаны геометрические модели пластины и штампов с использованием методов параметризации и программы трехмерного проектирования. Разработана и верифицирована методика трёхмерного численного расчета. Разработанная расчетная трёхмерная методика, базирующаяся на модели турбулентности SST (модель Ментера), позволяет получить качественные оценки полей температуры, скорости и давления и определить застойные зоны, а также места возможного перегрева. Автор провела расчётное исследование с помощью разработанной методики и установила зависимости, необходимые для аналитического расчета. Предложенная аналитическая методика расчета позволила оценить основные параметры теплообменной поверхности. Таким образом было проведено апробирование методики при разработке малоразмерного ГТД с регенерацией тепла, на конструкцию которого получен патент.

Научная новизна работы заключается в том, что для теплообменного аппарата малоразмерных ГТД разработана методика проектирования, которая обладает большей эффективностью. Благодаря тому, что используются методы параметризации, геометрические модели пластины и оснастки теплообменного аппарата формируются с учетом технологических ограничений и при изменении их размеров автоматически обновляются. В результате сокращено время для подготовки моделей для изготовления штампов на станке ЧПУ.

С помощью разработанной методики трехмерного численного расчета решены одновременно задачи газодинамики и теплопередачи в теплообменном аппарате. Получены расчетные зависимости для теплообменных поверхностей с различными углами скрещивания и высотами профиля гофра.

Результаты работы позволили прогнозировать оптимальные характеристики пластинчатого теплообменного аппарата для

различных схем ГТД с регенерацией тепла.

Применение на практике. Полученные результаты нашли применение в «Московском авиационном институте (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Технология проектирования и производство двигателей летательных аппаратов», а также используются на предприятии ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Выполненная Поповой Т.В. работа имеет практическую значимость для развития перспективного направления повышения эффективности ГТД за счет регенерации тепла.

Достоверность результатов. Результаты работы верифицированы на экспериментах, которые выполнены с помощью стандартизированных методик и аттестованной аппаратуры, а также согласуются с данными других авторов.

Замечания по работе:

1. При выборе типа теплообменного аппарата автор отдала предпочтение пластинчатым теплообменникам с теплопередающей поверхностью типа «набивки Френкеля». Однако, необходимы дополнительные исследования для обоснования этого выбора. Действительно, как показано в ряде работ, в случае плотной упаковки труб с накаткой в кожухотрубном аппарате достигается большая теплопередача, чем пластинчатом. Кроме того, если в кожухотрубном аппарате использовать плотный пучок витых труб с облунением, то его превосходство будет еще более заметным.

2. При верификации трехмерной методики расчета в работе не указана шероховатость испытываемого образца пластины, и ее влияние не анализируется.

3. Проведенный в работе эксперимент не был использован при верификации трехмерной методики расчета.

4. Если применять разработанную методику при рассмотрении других поверхностей теплообмена, то необходима корректировка программы оценочного расчета, технологии изготовления и параметризованных моделей геометрии теплообменного аппарата.

Заключение. Сделанные замечания не влияют на общую оценку работы. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы, также как их достоверность и новизна. Работа завершена, основные результаты опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК, и представлялись на российских и международных конференциях, содержание автореферата соответствует идеям и выводам диссертации.

Диссертация Поповой Т.В. является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ», кафедры
Инженерной теплофизики, лауреат
премии Правительства РФ
Тел.: +7(495) 362-76-74
e-mail: Kuzma-KichtaYA@mpei.ru
111250, Россия, г. Москва,
Красноказарменная ул., 14.

**Кузма-Кичта Юрий
Альфредович**

Подпись д.т.н., профессора Кузма-Кичты Юрия Альфредовича
удостоверяю:

Учёный секретарь федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования
«Национального исследовательского
университета «МЭИ»
к.т.н., доцент



Кузовлев И.В.