


МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

К. Маркса ул., д. 10, Казань, 420111
Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32
E-mail: kai@kai.ru, <http://www.kai.ru>
ОКПО 02069616, ОГРН 1021602835275
ИНН/КПП 1654003114/165501001

12.04.2021 № 21-1240-315
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной и инновационной
деятельности Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»
д.т.н., профессор


С.А. Михайлов
« 5 » апреля 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ремчукова Святослава Сергеевича
«Применение компьютерного моделирования при совершенствовании конструкции и
технологии изготовления компактного теплообменника МГТД сложного цикла»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов»

Актуальность темы исследования

В настоящее время возрастает интерес отечественной авиационной промышленности к малоразмерным газотурбинным двигателям (МГТД). При этом, современные ГТД в малой размерности существенно проигрывают по топливной эффективности авиационным поршневым двигателям (АПД). Решение задачи повышения топливной эффективности МГТД, которому посвящена работа, позволит вывести удельный расход топлива на уровень, близкий к АПД, что сделает актуальным применение таких машин на современных беспилотных и пилотируемых летательных аппаратах малой размерности.

Одним из наиболее доступных способов повышения экономичности МГТД в работе является применение известного сложного цикла, - регенерации тепла. В таком случае на эффективность двигателя существенное влияние оказывают характеристики теплообменника, посредством которого и происходит возвращение в цикл части тепла отработавших газов. При этом, геометрия теплообменной поверхности, обеспечивающая наилучшие теплогидравлические характеристики, подбирается индивидуально для каждого конкретного случая.

Помимо проектирования теплообменников для МГТД сложного цикла актуальным является вопрос технологии изготовления. Изготовление теплообменников представляет собой сложную технологическую цепочку, предусматривающую работу с тонкостенными и разнотолщинными листами из жаропрочных сталей. Для успешного создания МГТД с регенерацией тепла необходимы исследования в области изготовления теплообменников с применением современных технологий.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

29.04 2021 г.

Таким образом, целесообразна разработка комплексной методики, которая бы позволяла оптимизировать геометрию теплообменной поверхности теплообменника применительно к характеристикам разрабатываемых двигателей с регенерацией тепла. Помимо этого, спроектированный теплообменник должен быть технологичен, что обуславливает необходимость тесной увязки стадий проектирования, расчета и технологической подготовки производства.

Все вышеперечисленное делает актуальной тему диссертационного исследования Ремчукова С.С.

Новизна результатов исследований

Научная новизна работы состоит в разработанной автором комплексной методике автоматизированного проектирования и расчета пластинчатых теплообменников для МГТД (МГТУ) сложного цикла, которая позволяет по заданным исходным данным получить теплообменник, обеспечивающий наилучшие тепловые и гидравлические характеристики в пределах заданных ограничений с минимальным участием проектанта.

Разработан оригинальный способ изготовления пластинчатого теплообменника с применением малоомощного лазерного станка с числовым программным управлением (ЧПУ).

Базируясь на разработанном способе изготовления выполнена тесная увязка стадии проектирования с технологией изготовления, что позволяет в автоматическом режиме получить комплект 3D моделей технологической оснастки, необходимой для создания теплообменника.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработке автором комплексной методики, которая позволяет получить и изготовить оптимальный по тепловым и гидравлическим характеристикам теплообменник при разработке МГТД сложного цикла.

Практическая значимость работы подтверждается актами о внедрении в учебный процесс ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)» и в тематические работы «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Разработанная автором комплексная методика автоматизированного проектирования, расчета и изготовления теплообменников применялась в «ЦИАМ им. П.И. Баранова» при разработке теплообменников системы регенерации тепла МГТД и МГТУ сложного цикла. Разработанная комплексная методика может применяться при разработке новых теплообменников на ведущих предприятиях аэрокосмической, нефтяной и газовой отраслей, занимающихся теплообменным оборудованием. Результаты применения технологии лазерной сварки и резки на станке с ЧПУ малой мощности могут быть использованы при изготовлении теплообменников на предприятиях опытного и серийного производства теплообменного оборудования.

Достоверность основных положений, результатов, выводов

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается высокой сходимостью результатов расчета, полученных по предлагаемой методике, с экспериментальными данными, содержащимися в известных литературных источниках.

Проведенный натурный эксперимент по оценке тепло-гидравлических характеристик экспериментального теплообменника показал удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных. Результаты не противоречат опубликованным данным других авторов.

Общие сведения о диссертационной работе

Диссертация оформлена в соответствии со всеми требованиями ВАК РФ, предъявляемыми к кандидатским диссертациям, и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников (123 наименования), изложена на 158 страницах машинописного текста, включает 47 иллюстраций, 20 таблиц и 8 страниц приложений.

Во введении проведено обоснование актуальности проводимых исследований. Приведена и обоснована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Приведена структура работы и ее краткая характеристика.

В первой главе работы рассмотрены основные тенденции совершенствования малоразмерных двигателей. В качестве одного из перспективных направлений выбрано повышение топливной эффективности МГТД. Рассмотрены основные способы повышения топливной эффективности, обоснован переход к схеме МГТД сложного цикла с регенерацией тепла. Проведен анализ конструкций современных теплообменников, применяемых на МГТД и МГТУ.

Проведен анализ существующих методик определения тепло-гидравлических характеристик исследуемых поверхностей теплообмена. Установлено, что существующие методики не в полной мере позволяют определить оптимальную геометрию теплообменной поверхности для условий конкретной задачи.

На основании проведенного анализа по направлению повышения топливной эффективности МГТД сложного цикла сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе описана разработанная автором методика автоматизированного проектирования и расчета пластинчатого теплообменника для МГТД сложного цикла, позволяющая достигать оптимальных тепло-гидравлических характеристик.

Приведены результаты проведенной верификации методики автоматизированного проектирования и расчета теплообменника по известным литературным источникам. По расчетным и экспериментальным данным получены тепловые и гидравлические характеристики различных теплообменных поверхностей типа «набивки Френкеля», волновая, микрохолмистая.

Рассмотрены альтернативы применения разработанной автором комплексной методики для решения задачи оптимизации теплообменной поверхности системы охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин. Представлены результаты проведенной верификации предлагаемой методики применительно к передней полости лопатки ТВД методом калориметрирования в жидкометаллическом термостате.

В третьей главе изложены результаты проведенного анализа технологии изготовления пластинчатых теплообменников. Сформированы требования к современным теплообменникам МГТД (МГТУ) сложного цикла.

Разработан оригинальный способ изготовления пластинчатого теплообменника с применением лазерных технологий. Применительно к разработанному способу изготовления проведена интеграция технологической составляющей в методику

автоматизированного проектирования и расчета, что позволяет получать весь комплект требуемой технологической оснастки по модели пластины теплообменника.

В четвертой главе представлен процесс создания по предложенной комплексной методике экспериментального теплообменника для наземной малоразмерной газотурбинной установки сложного цикла (ГТУсц-4).

Проектирование и расчет, проведенные по предложенной автором методике, в автоматическом режиме позволили получить конфигурацию пластины, обеспечивающую наилучшие тепловые и гидравлические характеристики для условий рассматриваемой задачи. Также, по представленной методике спроектирован весь комплект оснастки, необходимой для изготовления теплообменника.

Рассмотрен процесс создания экспериментального теплообменника с применением лазерных технологий на маломощном станке с ЧПУ. Приведены особенности применения лазерной сварки при создании теплообменников МГТД (МГТУ) сложного цикла.

Представлены результаты экспериментальных исследований по подтверждению прочности и герметичности соединения. Подтверждена работоспособность и герметичность сварных швов до давлений 4 атм.

В пятой главе изложены результаты экспериментальных исследований тепловых и гидравлических характеристик теплообменника, созданного по предложенной методике.

Представлена программа эксперимента, по которому проводилась оценка тепловых и гидравлических характеристик теплообменника путем продувки потоками горячего и холодного воздуха. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследований тепло-гидравлических характеристик теплообменников.

Представлены результаты испытаний, проведенных на испытательном стенде ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Результаты получены для различных режимов продувок.

Результаты испытаний, проведенных на испытательном стенде, обработаны и представлены в виде критериальных зависимостей. Установлена близкая сходимость результатов расчета с экспериментальными данными. Рассогласование данных на высоких числах Рейнольдса не превышает 5 %.

В заключении диссертации представлены основные выводы по работе.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы к использованию на ведущих предприятиях, занимающихся разработкой теплообменников для малоразмерных двигателей и установок сложного цикла, таких как АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Разработанный способ изготовления может применяться на предприятиях, занимающихся изготовлением опытных и серийных теплообменников, таких как НПО «Наука», ПАО «ОДК-Сатурн», Опытно-конструкторское бюро им. А. Люльки – филиал ОДК-Уфимского моторостроительного производственного объединения.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

(технические науки) по пунктам 6 «Методы конструирования тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, их узлов и систем, включая методы автоматизированного проектирования двигателей с помощью ЭВМ», 9 «Теоретические основы и технологические процессы изготовления деталей двигателей и агрегатов летательных аппаратов, включая технологическую подготовку производства, в том числе автоматизированные системы проектирования и управления, технологические процессы и специальное оборудование для формообразования и обработки деталей двигателей, их защита» и 13 «Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, методы их проектирования и конструирования применительно к системам автоматизированного проектирования. Математическое моделирование этапов жизненного цикла (создания, производства и эксплуатации двигателей и установок)» Паспорта этой специальности.

Замечания по диссертационной работе

1. Расчетная модель численного исследования параметров теплообменного аппарата МГТД описана недостаточно. Не раскрыты особенности типа расчетной сетки, значения пристенной функции, не обоснован выбор модели турбулентности и шага сетки, не показаны базовые уравнения расчетной методики. Это не позволяет оценить полноту работы по математическому моделированию теплообмена и гидродинамики в теплообменной матрице.

2. В качестве критериев оптимизации автором предложены степень регенерации и суммарные гидравлические потери. Однако, для авиационных МГТД одним из ключевых критериев также является масса теплообменной матрицы, что не учитывается в методике.

3. При испытаниях теплообменника не приведена оценка неопределенности полученных экспериментальных данных, согласно ГОСТ 34100.3-2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».

4. Автор работы постоянно говорит о новизне подхода автоматизированного проектирования и изготовления теплообменника МГТД. Однако в работе отсутствует упоминание об охранных документах интеллектуальной собственности на способы изготовления, программное обеспечение расчета и оптимизации.

5. Обычно работа содержит рекомендации для использования результатов работы в научных и технологических разработках. В работе нет раздела по рекомендациям, как параметрам технологического оборудования для производства, так и по результатам исследования теплообменного аппарата, включая конструкции, места установки, материалы, параметры и т.д. Без этого работа выглядит как компиляция известных конструкций, методов производства, методик расчета и оптимизации.

6. Задачи исследования и заключение слишком конкретизированы по составным частям работы – «провести анализ существующих методов и технологий» – это литературно-патентный обзор, это не оригинальная задача научного исследования, а неотъемлемая составная, «стандартная» часть методологии НИР. В то же время заключение по работе не содержит ни одной количественной характеристики успешности решения научных и технологических задач, конкретных рекомендаций, несмотря на большое количество пунктов.

Следует отметить, что выявленные недостатки не снижают ценности полученных автором научных результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в положении о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Ремчукова С.С. посвящена разработке комплексной методики автоматизированного проектирования, расчета и изготовления пластинчатого теплообменника МГТД и МГТУ сложного цикла и соответствует специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация Ремчукова С.С. является законченной и самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, результаты которой представляют собой решение научной задачи, полностью соответствует всем требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук", а ее автор Ремчуков Святослав Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв обсужден на заседании кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, протокол № 9 от 30 марта 2021 г.

Заведующий кафедрой теплотехники
и энергетического машиностроения,
д.т.н., профессор,
академик АН РТ



Гортышов Ю.Ф.

Д.т.н., профессор кафедры теплотехники
и энергетического машиностроения,
член-корреспондент АН РТ



Попов И.А.

31 марта 2021 года

Подпись *Гортышов Ю.Ф., Попов И.А.*
заверяю. Начальник управления
делами КНИТУ-КАИ

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Телефон: +7 (843)-231-01-09

E-mail: kai@kai.ru

Адрес официального сайта в сети интернет: <https://kai.ru>

*С отзывом ознакомлен.
29.04.21. Проф. Ремчуков С.С.*