



**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086  
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36  
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru  
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,  
ИНН 6316000632, КПП 631601001

05 АПР 2021 № 008-4571

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв официального оппонента  
на диссертацию Ремчукова С.С.

Уважаемый Юрий Владимирович!

В ответ на Ваше письмо направляю в двух экземплярах отзыв официального оппонента проф. Кузьмичева В.С. на диссертацию Ремчукова Святослава Сергеевича «Применение компьютерного моделирования при совершенствовании конструкции и технологии изготовления компактного теплообменника МГТД сложного цикла», также согласие на оппонирование данной работы и сведения об официальном оппоненте.

Первый проректор- проректор  
по научно-исследовательской работе

А.Б. Прокофьев

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д. 4.  
ФГБОУ ВО «Московский авиацион-  
ный институт  
(национальный исследовательский  
университет)»

Ученому секретарю диссертационного  
совета Д 212.125.08  
д.т.н., профессору Зуеву Ю.В.

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Кузьмичева Венедикта Степановича  
на диссертационную работу Ремчукова Святослава Сергеевича

«Применение компьютерного моделирования при совершенствовании конструкции и технологии изготовления компактного теплообменника МГТД сложного цикла»,  
представленную в диссертационный совет Д 212.125.08 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### **Актуальность темы исследования**

Применение регенерации тепла в авиационных малоразмерных газотурбинных двигателях (МГТД) и наземных малоразмерных газотурбинных установках (МГТУ) является одним из наиболее доступных и эффективных способов повышения их эффективности. Очевидно, что на эффективность двигателя со сложным термодинамическим циклом существенное влияние оказывают тепловые, гидравлические и массогабаритные характеристики теплообменника. Наибольшее предпочтение для применения в авиации отводится компактным теплообменникам с пластинчатой матрицей.

В случае применения пластинчатого теплообменника в МГТД или МГТУ сложного цикла геометрия теплообменной поверхности, которая бы обеспечила наилучшие тепловые характеристики с минимальными гидравлическими потерями, индивидуальна для каждой задачи. Поэтому при создании пластинчатых теплообменников необходимо уметь находить оптимальную геометрию теплообменной поверхности, обеспечивающую требуемые по проекту тепло-гидравлические характеристики при приемлемых материально-временных затратах. Кроме того, важное значение имеет технология изготовления пластинчатых теплообменников.

Несмотря на значительное количество опубликованных работ, посвященных расчету, проектированию теплообменников, исследованию их эффективности и проблемам производства, остаются не решенными вопросы оптимизации их конструктивно-геометрических параметров на стадии проектирования и разработки наиболее рациональной технологии их производства.

В связи с этим тема диссертационного исследования Ремчукова С.С., посвященная созданию комплексной методики автоматизированного проектирования, расчета и изготовления пластинчатого теплообменника с оптимальными тепло-гидравлическими характеристиками является весьма актуальной.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа Ремчукова С.С. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 123 наименований, изложена на 158 страницах машинописного текста, включает 47 иллюстраций, 20 таблиц и 8 страниц приложений.

**Во введении** обосновывается актуальность исследования, дана общая характеристика работы: цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность исследования и представлена информация по апробации результатов.

**В первой главе** автором рассмотрены основные тенденции совершенствования малоразмерных двигателей. Рассмотрены работы авторов, посвященные исследованию теплообмена в целом, а также применению теплообменных аппаратов в авиационных газотурбинных двигателях и наземных установках.

Проведен анализ применяемых методик определения тепловых и гидравлических характеристик исследуемых поверхностей теплообмена, который показал целесообразность увязки всех стадий создания теплообменника в единую комплексную методику.

На основании проведенного обзора работ по повышению топливной эффективности МГТД с регенерацией тепла сформулированы цель и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена разработке комплексной методики автоматизированного проектирования, расчета и изготовления пластинчатого теплообменника для МГТД и МГТУ с регенерацией тепла.

Сформулированы требования, предъявляемые к методике автоматизированного расчета и проектирования. Проведен анализ математических методов оптимизации, выбран наиболее подходящий для решаемой задачи метод.

Определены критерии оптимизации: степень регенерации и гидравлические сопротивления в воздушном и газовом потоках теплообменника. Описан алгоритм методики автоматизированного проектирования и расчета пластинчатого теплообменника с учетом этапа оптимизации.

Представлены результаты верификации методики автоматизированного проектирования и расчета теплообменника, проведенной по экспериментальным данным, содержащимся в опубликованных источниках.

Рассмотрен альтернативный вариант применения разработанной автором комплексной методики для решения задачи оптимизации параметров системы охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин.

**Третья глава** посвящена разработке технологии изготовления пластинчатого теплообменника. Сформулированы требования к современным теплообменникам МГТД и МГТУ. Представлены результаты анализа технологий изготовления теплообменников, в результате которого предложен наиболее рациональный технологический процесс. Определен комплект технологической оснастки, требуемый для изготовления теплообменника и приведены их 3D модели.

Описан алгоритм технологического этапа разработанной комплексной методики.

**В четвертой главе** описан процесс создания по предложенной комплексной методике экспериментального теплообменника для наземной малоразмерной газотурбинной установки сложного цикла (ГТУсц) мощностью до 4 кВт.

С применением комплексной методики выполнено автоматизированное проектирование теплообменника, что позволило получить конфигурацию теплопередающей пластины, обеспечивающую наилучшие тепловые и гидравлические характеристики для условий рассматриваемой задачи. По разработанной методике спроектирован и изготовлен весь комплект технологической оснастки. В результате изготовлен экспериментальный теплообменник.

Выявлены особенности применения лазерной сварки при создании компактных пластинчатых теплообменников. Путем натуральных экспериментов подтверждена работоспособность и герметичность сварных швов до давлений 4 атм.

Представлены фотографии образцов комплекта технологической оснастки и экспериментального теплообменника.

**Пятая глава** посвящена верификации разработанной комплексной методики проектирования и изготовления теплообменника на основе экспериментальных исследований созданного образца теплообменника.

Представлена программа эксперимента, по оценке тепловых и гидравлических характеристик теплообменника. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследований тепло-гидравлических характеристик теплообменников. Представлены результаты испытаний для различных режимов течения горячего и холодного теплоносителей. Результаты, полученные по расчетной методике и в результате натуральных экспериментов, показаны в виде критериальных зависимостей. Установлено близкое совпадение результатов расчета с экспериментальными данными, расхождение на малых числах Рейнольдса составило не более 5 %.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы, которые демонстрируют успешное решение поставленных задач для достижения цели исследования.

### **Научная новизна полученных результатов исследований**

Научная новизна проведенного автором исследования заключается в том, что впервые разработана комплексная методика автоматизированного проектирования, расчета и изготовления пластинчатых теплообменников для газотурбинных двигателей авиационного и наземного применения с регенерацией тепла, которая позволяет по заданным исходным данным на основе оптимизации конструктивно-геометрических параметров получить теплообменник, обеспечивающий наилучшие тепловые и гидравлические характеристики в пределах заданных ограничений.

Разработан новый способ изготовления пластинчатых теплообменников с применением лазерных технологий. Применительно к способу изготовления разработан алгоритм, обеспечивающий тесную увязку стадии проектирования с технологией изготовления, что позволяет получить комплект трехмерных моделей технологической оснастки, необходимой для изготовления теплообменника.

## **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории и методов оптимального проектирования и производства компактных пластинчатых теплообменников для ГТД с регенерацией тепла.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что разработанная комплексная автоматизированная методика позволяет спроектировать и изготовить теплообменник с наилучшими для конкретной задачи тепло-гидравлическими характеристиками и сократить временные затраты.

Разработанный способ изготовления с применением лазерной сварки на станке с ЧПУ малой мощности может быть использован на предприятиях, занимающихся производством теплообменного оборудования.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждается актами о внедрении в работу «Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова» и в учебный процесс Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

## **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается хорошей сходимостью расчетных и экспериментальных данных, полученных на аттестованном стенде с оценкой погрешностей измерений по стандартизованным методикам. При проектировании теплообменника применялись открытые, сертифицированные, верифицированные программные продукты. Кроме того, результаты диссертационного исследования согласуются с данными, полученными и опубликованными другими авторами.

## **Апробация результатов**

Основные положения работы докладывались на 19 международных и всероссийских научно-технических конференциях.

## **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 8 статей.

## **Соответствие автореферата и диссертации**

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

## **Соответствие паспорту специальности**

Содержание диссертации соответствует специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов по пунктам: 1. «Теория и рабочий процесс тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, а также, энергетических установок, узлов и систем, включая элементы силовой установки, сопряженные с двигателем. Оптимизация схем и параметров двигателей; 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.

### **Замечания по работе**

1. Исходя из содержания работы следует, что целью работы является «улучшение тепловых и гидравлически характеристик теплообменников на основе разработки комплексной методики автоматизированного проектирования и изготовления пластинчатых теплообменников для МГТД сложного цикла». Сформулированная на стр. 7 цель работы не совсем корректна, она больше подходит к работам по САПР (специальность 05.13.12).

2. На стр. 23 приведена неудачная схема двигателя (рис.1.1). Из неё не видно, что это турбовальный ГТД, в котором не нужна тяга за счет реактивной струи. Надо было бы привести схему двигателя со свободной турбиной, о которой идет речь.

3. На страницах 33 и 34 утверждается, что «расчетными исследованиями было доказано, что, несмотря на необходимость использования высоконапорных компрессоров в перспективных ГТД возможно создание модификаций этих двигателей с теплообменником. В этом случае необходимо обеспечить обоснованный выбор параметров теплообменника, оптимизировав их применительно к реальным показателям рабочего процесса базового двигателя без регенерации тепла. ....параметры рабочего процесса должны быть оптимизированы для использования в схеме с регенерацией тепла, так и без нее». Спорное утверждение. Для двигателей с регенерацией тепла нужны совсем другие параметры их рабочего процесса.

4. В разделе 2.3 (стр. 55...57) желательно было бы привести математическую постановку задачи многокритериальной оптимизации. Вербальное описание есть, но его недостаточно. В данной задаче применительно к авиадвигателям важнейшую роль будут играть заданные ограничения (ограничения по массе, габаритам и др.). Без них максимизация степени регенерации не имеет смысла. Кроме того, не видно, сколько и какие параметры оптимизируются, как выбирается окончательное проектное решение при многокритериальной оптимизации.

5. Имеются редакционные неточности, неудачные формулировки, в некоторых местах не хватает ссылок на источники информации.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, не уменьшают научной и практической ценности проведенного исследования.

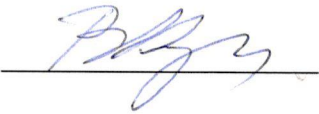
### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней**

Диссертация Ремчукова С.С. является законченной и выполненной самостоятельно на высоком уровне научно-квалификационной работой, содержащей новые решения в области проектирования и производства компактных пластинчатых теплообменников для применения в авиационных и наземных ГТД. Результаты работы имеют практическую значимость для авиа двигателестроения.

Диссертация Ремчукова С.С. соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденного Постановлением Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, 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».

Доктор технических наук, профессор,  
ФГАОУ ВО  
«Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»,  
ученый секретарь университета,  
профессор кафедры теории двигателей  
летательных аппаратов имени В.П. Лукачёва

«5» 04 2021 г.  Кузьмичев Венедикт Степанович

Почтовый адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34  
Телефон: 8(927) 260-21-61; 8(846) 267-43-09  
E-mail: [kuzm@ssau.ru](mailto:kuzm@ssau.ru)

Подпись доктора технических наук, профессора, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», ученого секретаря университета, профессора кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева Кузьмичева Венедикта Степановича заверяю:

Начальник отдела  
сопровождения деятельности  
учёных советов университета, к.т.н.



И.П. Васильева

С отзывом ознакомлен.  
29.04.21 Prof. / Ремчуков С.С. /