

Отзыв

на автореферат диссертации Ло Цзюньцзе
«Метод проектирования спиральных пластинчато-ребристых
теплообменников-регенераторов авиационного ГТД», представленной на
соискание учёной степени кандидата технических наук по научной
специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов» в диссертационный совет
24.2.379.10, созданный на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Самарский
национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва»

Развитие современной авиационной техники, особенно в сегменте беспилотных летательных аппаратов большой продолжительности полёта и гибридных силовых установок, требует радикального повышения топливной эффективности газотурбинных двигателей при жёстких ограничениях по массе и габаритам. Одним из наиболее эффективных способов решения этой задачи является регенерация теплоты выхлопных газов с использованием теплообменников-регенераторов. Однако широкому внедрению таких систем препятствует значительный рост массы и объёма теплообменной аппаратуры, который в традиционных конструкциях может достигать 30–40 % от массы двигателя. В связи с этим разработка новых сверхкомпактных пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ), в частности со спиральными и двуспиральными структурами оребрения, а также создание современных методов их проектирования с использованием численного моделирования и алгоритмов искусственного интеллекта является актуальной и практически значимой задачей.

Автором была поставлена цель: повышение эффективности авиационных ГТД с регенерацией теплоты за счёт применения спиральных пластинчато-ребристых теплообменников-регенераторов, разработанных на основе численного моделирования и интеллектуальных методов оптимизации.

В ходе работы автором были:

1. Разработан комплексный метод проектирования сверхкомпактных теплообменников-регенераторов для авиационных МГТД, интегрирующий CFD-моделирование, экспериментальные данные, машинное обучение и многокритериальную оптимизацию, что позволяет сократить временные и вычислительные затраты на 2–3 порядка по сравнению с традиционным итерационным методом.
2. Установлены закономерности интенсификации теплообмена в каналах со спиральным и двуспиральным оребрением, выявлены механизмы

формирования вторичных вихревых структур, разрушающих тепловой пограничный слой.

3. Разработана методика определения теплогидравлических характеристик (факторов Колберна j и Фаннинга f) с использованием физико-ориентированного обучения нейронных сетей, обеспечивающая высокую точность прогнозирования ($R^2 > 0,996$, $MAPE < 1 \%$).
4. Разработана методика комплексной оценки эффективности МГТД, устанавливающая взаимосвязь между геометрией оребрения на микроуровне и интегральными термодинамическими показателями цикла двигателя.

Полученные экспериментальные данные и разработанные методики позволяют на ранних этапах проектирования с высокой точностью прогнозировать характеристики ПРТ и выполнять их многокритериальную оптимизацию.

Проведённые исследования спиральных и двуспиральных структур оребрения в широком диапазоне режимов течения, а также применение гибридных нейросетевых моделей с физическими ограничениями являются, безусловно, новыми и обладают научной ценностью.

Практическая значимость работы заключается, прежде всего, в разработанном интеллектуальном программно-методологическом комплексе, позволяющем инженерам ускорить расчёт и оптимизацию теплообменных аппаратов на 2–3 порядка. Внедрение оптимизированных двуспиральных теплообменников, как показано в работе, обеспечивает снижение объёма матрицы на 32,2 %, массы регенератора на 18,6 % и повышение тепловой эффективности до 87,8 %, что соответствует росту эффективного КПД силовой установки на 1,5–1,9 %.

Исходя из положений, сформулированных в автореферате, можно сделать вывод, что структура работы выстроена последовательно. Автореферат диссертации содержит все необходимые разделы и характеризуется чёткостью формулировок.

К диссертационной работе на основании данных, представленных в автореферате, можно отнести следующие замечания и вопросы, требующие разъяснений:

1. На стр. 9–10 и в заключении автореферата автор утверждает, что спиральная конфигурация оребрения ПРТ по сравнению с волнообразным оребрением обеспечивает рост фактора теплоотдачи j на 42,33 % и комплексного показателя JF на 34,03 % (при $Re = 5000$). Однако из представленного материала неочевидно, какая именно конфигурация спирального канала сравнивалась с какой конфигурацией волнообразного канала. Остаётся неясным, являлись ли параметры

волнообразного оребрения (шаг, высота, угол, длина) предварительно оптимизированными для данной задачи. Поскольку теплообменные и гидравлические характеристики существенно зависят от геометрии, сравнение с заведомо неоптимальной конструкцией может исказить вывод о преимуществе спиральной формы. Более корректным было бы проведение многокритериальной оптимизации волнообразного канала по тем же критериям (минимизация массы/объёма и потерь давления, максимизация эффективности) и последующее сравнение полученных фронтов Парето для обеих геометрий.

2. В разделе, посвящённом методике проектирования (стр. 14–15, блок-схема на Рис. 13), автор указывает, что полученные Парето-оптимальные решения направляются на обязательную контрольную верификацию в программе AnsysFluent с допустимой погрешностью менее 5 %. Однако, результаты этой верификации в автореферате не приведены. Не представлены сравнительные таблицы и графики, показывающие расхождение между прогнозными характеристиками и контрольным CFD-расчётом для финальных оптимальных решений. Это затрудняет оценку достоверности и качества прогноза теплогидравлических характеристик теплообменника на заключительном этапе проектирования.

Указанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы. В целом необходимо отметить высокий научный уровень выполненной работы, её результаты имеют законченный характер и большое практическое значение для авиационного двигателестроения.

Работа «Метод проектирования спиральных пластинчато-ребристых теплообменников-регенераторов авиационного ГТД» имеет большое практическое значение для науки и техники и полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ло Цзюньцзе, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

к.т.н., Главный конструктор
по серийным изделиям
АО «Металлист-Самара»

Тюлькин Д.Д.

Подпись Д.Д. Тюлькина заверяю:
Директор по производству
АО «Металлист-Самара»

Пахмутов А.Н.

