

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО ГТД С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА

Дадоян Р.Г., Михайлов А.Е., Ахмедзянов Д.А., Михайлова А.Б.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, razmik.ad@mail.ru

*Ключевые слова: МГТД, ТВаД с регенерацией тепла, рекуператор, SLM, CFD.*

В настоящее время одним из основных эффективных средств повышения топливной эффективности газотурбинных двигателей (ГТД) является применение сложного термодинамического цикла с регенерацией тепла и промежуточным охлаждением. Программа формирования опережающего научно-технического задела ЦИАМ «Разработка технологий перспективных МГТД и АПД» предполагает завершение работ по созданию малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД) «сложного» цикла с теплообменником уже к 2025 году. Малоразмерный турбовальный двигатель (ТВаД) с регенерацией тепла может широко применяться на различных легких летательных аппаратах (ЛА). В табл. 1 представлены удельные параметры МГТД без рекуператора и авиационного поршневого двигателя (АПД) [1]. Из таблицы следует, что традиционный МГТД имеет на 75% больший удельный расход топлива, чем АПД и в три раза меньшую удельную массу [1]. Разработка рекуператора для МГТД позволит снизить удельный расход топлива за счет незначительного повышения удельной массы двигателя. Из исследования ЦИАМ суммарной массы силовой установки (СУ) вместе с топливом для различных типов двигателей, устанавливаемых на один летательный аппарат, при разной длительности полета [1,2] следует, что применение регенерации тепла на МГТД позволяет выиграть у МГТД без рекуперации, а также бензинового и дизельного АПД на протяжении пяти часов полета.

Таблица 1 — Сравнение удельных параметров МГТД без рекуператора и АПД

	МГТД	АПД
$C_{уд}, \text{кг}/(\text{л.с.}\cdot\text{ч})$	0,35	0,2
$\gamma_m, \text{кг}/\text{л.с}$	0,25...0,3	0,75...0,9

В работе проводится исследование теплогидравлических характеристик петлевидного эвольвентного рекуператора для малоразмерного ТВаД, полученного конвертацией турбореактивного двигателя ТТ-100. Конвертация турбореактивного двигателя в турбовальный двигатель без регенератора позволяет получить мощность на валу 237,1 кВт при удельном расходе топлива 0,4891 кг/(кВт·ч). Применение регенерации тепла (степень регенерации 0,6) приводит к снижению мощности на валу на 13,8% (204,4 кВт) и снижению удельного расхода топлива на 25,4% (0,3647 кг/(кВт·ч)). Для достижения предыдущего уровня по мощности на валу необходимо увеличить температуру газов перед турбиной на 5,6% до 1260 К. Повышение температуры газов приводит к достижению мощности на валу 237,1 кВт и снижению удельного расхода топлива на 29,8% (0,3433 кг/(кВт·ч)).

Исследования различных компоновок, различных конструктивных решений и анализ технологических ограничений по изготовлению рекуператора привели к компоновке эвольвентного рекуператора с петлевой формой контура холодного воздуха и с направляющими элементами в горячем контуре (рис. 1, а). На рис. 1, б представлен изготовленный образец рекуператора из 10 секторов, изготовленных аддитивной технологией селективного лазерного плавления (SLM). В таком рекуператоре холодный воздух протекает слева направо по эвольвентным трубкам, разворачивается и движется против оси ротора также по эвольвентным трубкам. При этом горячий газ протекает по эвольвентным каналам снизу вверх, образованным эвольвентными трубками (рис. 1, а).

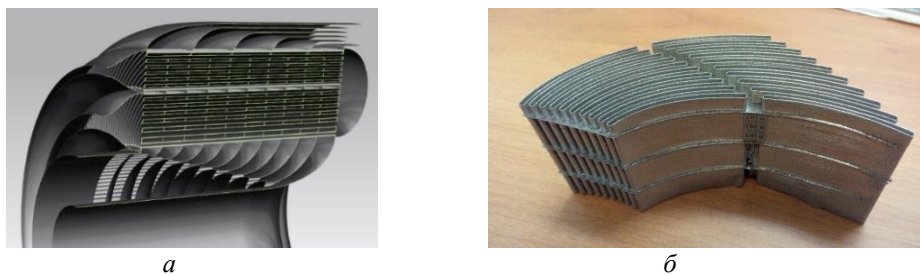


Рис. 1 – а) 3D–модель предлагаемого рекуператора; б) SLM–образец

Выполнено исследование по определению зависимостей теплогидравлических характеристик эвольвентного рекуператора от количества эвольвентных трубок, от радиальных размеров эвольвентных трубок, от толщины стенки, от высоты канала эвольвентной трубки. Исследованы зависимости теплогидравлических характеристик рекуператора от формы канала для горячего газа, угла наклона стенок и количества направляющих в горячем контуре. Все исследования представлены для разных режимов работы рекуператора, для разных чисел Рейнольдса.

Исследование позволит разработать рекомендации и методику по проектированию эвольвентного рекуператора для малоразмерного газотурбинного двигателя.

### Список литературы

1. Осипов И.В., Ломазов В.С. Разработка малоразмерных ГТД различного типа на базе унифицированного газогенератора // *Авиационные двигатели*. 2019. Т. 4, № 5. С. 11–18.
2. Светлаков А.Л., Вербанов И.С., Маслова Д.В., Гулимовский И.А., Шлякотин В.Е. Развитие методик расчета и проектирования теплообменных аппаратов авиационного назначения // *Авиационные двигатели*. 2019. Т. 4, № 5. С. 37–44.

### Сведения об авторах

Дадоян Размик Геворгович, аспирант. Область научных интересов: исследования в области аэродинамики компрессоров.

Михайлов Алексей Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: исследования в области рабочих процессов ГТД на установившихся и неуставившихся режимах работы.

Ахмедзянов Дмитрий Альбертович, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: исследования в области рабочих процессов в авиационных ГТД на установившихся и неуставившихся режимах, разработки математических моделей сложных технических объектов, САПР авиационных ГТД.

Михайлова Александра Борисовна, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: исследования в области имитационного и 3D-CAD/CAE-моделирования процессов в компрессорах авиационных ГТД.

## RESEARCH OF THERMOHYDRAULIC PERFORMANCES OF A RECUPERATOR OF SMALL-SIZE GAS TURBINE ENGINE

Dadoyan R.G., Mikhailov A.E., Akhmedzyanov D.A., Mikhailova A.B.  
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, razmik.ad@mail.ru

*Keywords: MGTE, turboprop engine with heat regeneration, recuperator, SLM, CFD.*

A study was carried out to determine the dependences of the thermohydraulic characteristics of the involute recuperator on the number of involute tubes, on the radial dimensions of the involute tubes, on the wall thickness, on the channel height, on the shape of the hot gas channel and the number of guides in the hot channel. All studies are presented for different operating modes.