

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ В ТУРБИНЕ АВИАЦИОННОГО ГТД

Фалалеев С.В., Тисарев А.Ю., Матвеев А.А., Мошков Д.Р.  
Самарский университет, г. Самара, kipdla@ssau.ru

*Ключевые слова: турбина, радиальные зазоры, система регулирования радиальных зазоров.*

При проектировании газотурбинного двигателя (ГТД) необходимо обеспечить требуемые тепловое состояние конструкции и величины радиальных зазоров в заданных пределах. Для этого используется воздух, отбираемый из проточной части двигателя. Большинство воздушных систем двигателя взаимосвязаны между собой и образуют единую систему внутренних воздушных потоков. Проектирование такой системы, гарантирующей выполнение всех функций составляющих её подсистем при минимальном отборе воздуха из тракта, является трудоёмкой задачей. Необходимо рассчитать параметры рабочего тела во внутренних полостях, температурное состояние элементов двигателя, а также величины перемещений роторных и корпусных деталей в процессе работы двигателя. Решение данной задачи требует разработки расчётных методик, позволяющих в приемлемое время получить качественные результаты.

За время цикла работы ГТД происходят динамические изменения его параметров, которые приводят к изменению радиальных зазоров между лопатками ротора и статором в компрессоре и турбине, что в конечном итоге существенно влияет на эффективность газотурбинного двигателя. Уменьшение зазора происходит в основном при останове двигателя, а также за время повторной приемистости. В этих случаях зазор достигает минимальных значений и возможно «врезание» ротора в статор. Зазор увеличивается на взлетном и крейсерском режимах работы, что отрицательно влияет на характеристики двигателя, а также повышает расход топлива.

Для оптимизации величин зазоров в ГТД используется система активного управления радиальными зазорами – САУРЗ. Существует множество концепций систем активного и пассивного регулирования зазора. Нами рассматривается активное тепловое регулирование. В конструкции такой системы для регулирования радиального зазора используется воздух из компрессора или вентилятора для нагрева (с целью расширения), либо охлаждения (с целью сужения) силовых элементов статора. Использование САУРЗ позволяет обеспечить оптимальные величины радиальных зазоров, при которых перетекание воздуха через зазоры незначительно, что в итоге увеличивает КПД турбокомпрессора. Однако воздух, отбираемый, например, для охлаждения статора турбины, не участвует в процессе создания тяги. Поэтому необходимо наиболее оптимально подобрать параметры САУРЗ, чтобы достигнуть максимальной эффективности.

Целью данной работы является создание виртуальной модели системы регулирования радиальных зазоров, позволяющей на этапе проектирования двигателя выбрать ее оптимальные газодинамические и геометрические параметры, а также проводить моделирование работы этой системы по циклу работы ГТД.

В начале расчет величин радиальных зазоров в турбокомпрессоре производится без использования САУРЗ. Используется итерационный метод и совместный гидравлический, тепловой и структурный расчет конструкции двигателя. Выбираются режимы работы, на которых необходимо регулировать радиальные зазоры, а также величины необходимого изменения величин зазоров на этих режимах. Затем производится расчет САУРЗ, представляющей из себя кольцевые коллекторы с отверстиями для выхода воздуха для обдува наружной поверхности статора. В итоге выбираются потребный расход охлаждающего воздуха

и рациональные геометрические параметры такой системы: диаметры коллекторов, расстояние от коллектора до статора, диаметр отверстий подвода воздуха и расстояние между ними.

Был проведен расчет изменения радиальных зазоров от параметра теплоотдачи от воздуха к статору. Значение этого коэффициента зависит от параметров потока, поэтому при определении оптимального коэффициента теплоотдачи возможно определить необходимые параметры охлаждающего газового потока – скорость потока, его плотность и т.д.

Решение задачи определения тепловых граничных условий на стенке корпуса и его радиальных перемещений разделено на три этапа:

- расчёт перепада давления на подводящих отверстиях путём моделирования всей системы управления радиальными зазорами в программе гидравлического анализа;

- определение температуры корпуса в теплогидравлическом анализе с использованием программ вычислительной газодинамики;

- определение радиальных перемещений в расчёте напряжённо-деформированного состояния корпуса, при передаче нагрузок с использованием интерфейса FSI.

С помощью параметрической модели исследовалось влияние диаметра отверстий, отношения расстояния между отверстием и корпусом к диаметру отверстий и шага между отверстиями к их диаметру на интегральную величину коэффициента теплоотдачи по поверхности, температурное состояние статора и радиальные перемещения корпуса турбины.

Результаты сопряжённого теплогидравлического расчёта, полученные в программе CFX, передавались через модуль FSI в среду структурного анализа ANSYS. Этот расчёт позволил получить значения величин радиальных перемещений статора.

Также было проанализировано наличие дополнительного потока воздуха в подкапотном пространстве, взаимодействующего со струями охладителя. Выявлено, что это серьёзно усложняет процесс определения граничных условий для теплового анализа и приложения их на тепловую модель. Поэтому данный расчёт целесообразно проводить в сопряжённой постановке решения теплогидравлической задачи. Истечение из отверстия при разных скоростях сносящего потока может быть как в обе стороны, так и в одну сторону.

Сведения об авторах

Фалалеев Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой. Область научных интересов: моделирование сопряженных процессов в конструкции двигателей.

Тисарев Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: тепловые процессы в конструкции двигателей.

Матвеев Андрей Александрович, студент. Область научных интересов: проектирование системы регулирования радиальных зазоров в турбинах.

Машков Дмитрий Русланович, студент. Область научных интересов: проектирование системы регулирования радиальных зазоров в турбинах.

## **SIMULATION OF THE RADIAL CLEARANCE CONTROL SYSTEM IN THE TURBINE OF AN AVIATION GAS TURBINE ENGINE**

Falaleev S.V., Tisarev A.Yu., Matveev A.A., Moshkov D.R.  
Samara National Research University, Samara, kipdla@ssau.ru

*Keywords: turbine, radial clearances, radial clearances control system.*

The efficiency of a gas turbine engine depends on the values of the radial clearances. A model of the control system for radial clearances in a turbine is created.