

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАДИАЛЬНЫЕ ЗАОРЫ В ТУРБИНАХ ГТД

Самойленко Н.А.^{1,2}

¹АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, nikta5am@yandex.ru

²ПНИПУ, г. Пермь

Ключевые слова: турбина, радиальные зазоры.

В радиальном зазоре (РЗ) утечки газа теряют свой потенциал по давлению и сохраняют свою энергию, не превращая ее в полезную работу турбины [1]. Так, например, в работе [2] приводятся данные о том, что для турбовентиляторного двигателя с большой степенью двухконтурности изменение радиального зазора на 10 тысячных дюйма ($\approx 0,25\%$ высоты лопатки) соответствует изменению КПД турбины примерно на 1% и изменению температуры газа за турбиной на 10° . Исходя из вышесказанного, минимизация отклонений РЗ от расчетных значений является важной задачей в обеспечении параметров турбины.

В данной работе рассмотрены конструктивные факторы, которые оказывают наибольшее влияние на РЗ и приводят к отклонениям от расчетных значений.

1. Точность изготовления и сборки. После сборки выполнено измерение монтажных РЗ в турбине высокого давления (ТВД) в 8 точках по окружности для 1 и 2 ступеней. На рис. 1 представлено отклонение локальных величин монтажных РЗ ТВД от среднего значения после сборки (измерено в горизонтальном положении).

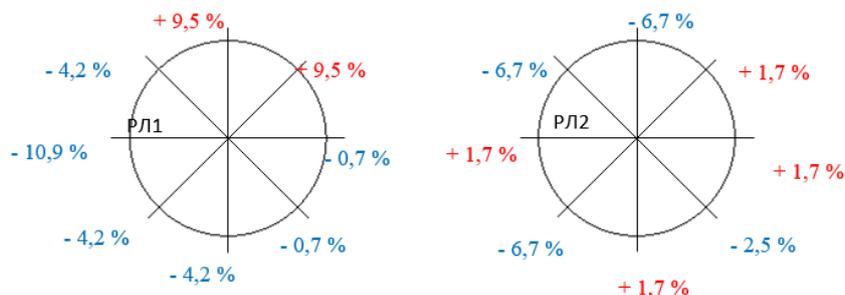


Рисунок 1 – Локальные отклонения монтажных РЗ 1 и 2 ступени ТВД от средних значений (измерено в горизонтальном положении после сборки), где РЛ – рабочая лопатка

Наибольшее локальное отклонение монтажных РЗ от среднего значения для РЛ1 составляет -10,9%, для РЛ2 - 6,7%.

2. Влияние сопряженных с корпусом турбины деталей. Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) корпуса турбины по типовому полетному циклу (ТПЦ) на основании верифицированной модели теплового состояния. Определено, что на крейсерском режиме осевая неравномерность РЗ 1 ступени (отличие РЗ по входной кромке лопатки от РЗ по выходной кромке) составляет 19% от величины среднего монтажного РЗ. Это обусловлено тем, что более горячий корпус камеры сгорания (КС) препятствует уменьшению перемещений передней части корпуса турбины при включении системы активного управления радиальными зазорами (САУРЗ). Для исключения данного фактора необходимо чтобы коллектор САУРЗ покрывал фланцы соединения корпуса турбины с корпусами КС и переходного канала (ПК), тем самым температуры фланцевых соединений будут сопоставимы с температурой корпуса турбины.

3. Постановка секторных деталей враспор. На внешнем кольцевом корпусе турбины закреплены секторные детали: сопловые лопатки (при их верхнем закреплении), сектора (надроторные вставки) и обода. Между секторными деталями имеются окружные монтажные зазоры. В процессе работы двигателя имеется 2 механизма изменения окружных зазоров (ОЗ) между секторными деталями: увеличение ОЗ при тепловом расширении наружного корпуса (увеличение длины окружности), уменьшение ОЗ при тепловом расширении секторных

деталей. Если происходит выборка окружных зазоров – секторные детали начинают воспринимать нагрузку не как стержневые элементы, а как кольцевой элемент, в результате чего происходит рассогласование в тепловых перемещениях с внешним корпусом что препятствует работе САУРЗ. В результате расчета НДС по ТПЦ (по верифицированной тепловой модели), определено, что исключение постановки секторных деталей враспор на крейсерском режиме позволяет снизить РЗ 1 ступени ТВД на 28% от величины среднего монтажного РЗ.

4. Окружная неравномерность температур корпуса турбины. Окружное поле температур корпуса в одном сечении по осевой координате зависит от окружной неравномерности температуры потока внутри корпуса (неравномерность поля температур за камерой сгорания) и в большей степени от неравномерности расходов воздуха, выходящего из коллектора САУРЗ. Выполнен анализ результатов термометрирования корпуса турбины на полноразмерном двигателе. Температура корпуса над РЛ 1 измерена в 8 сечениях по окружности, разница между максимальной и минимальной температурой на взлетном режиме с включением САУРЗ составляет 70% от средней температуры корпуса над РЛ1. По экспериментальному полю температур определены деформации корпуса, окружная неравномерность составляет 68% от средней величины монтажного РЗ, в местах с наименьшим расчетным РЗ по окружности наблюдались касания ротора о статор при дефектации и разборке двигателя. Подобная неравномерность предположительно обусловлена препарированием корпуса, так как минимумы температур наблюдаются в местах вывода препарирования в коллекторе САУРЗ, в данных местах локально нет обдува корпуса. Описанный фактор актуален только при термометрировании корпуса ТВД и выводе термометрирования через коллектор САУРЗ, однако подтверждено, что окружное поле температур корпуса очень чувствительно к изменению коэффициентов теплоотдачи на его наружной поверхности, следовательно, любые деформации коллектора САУРЗ или отклонения при изготовлении могут стать причиной окружной неравномерности температур корпуса и РЗ.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. М.: Машиностроение, 2008. (Газотурбинные двигатели). Т. 2. 368 с.
2. Active turbine tip clearance control trade space analysis of an advanced geared turbofan engine / J.L. Kratz // 2018 joint propulsion conference, 11 July. – 2018. DOI: 10.2514/6.2018-4822.

Сведения об авторах

Самойленко Н.А., инженер-конструктор-расчетчик отдела расчетно-экспериментальных работ по турбинам АО «ОДК-Авиадвигатель», аспирант кафедры «Авиационные двигатели» ПНИПУ. Область научных интересов: общие вопросы проектирования турбин ГТД, термомеханические модели деталей турбин, управление радиальными зазорами в турбинах.

DESIGN FACTORS AFFECTING TIP CLEARANCES IN GTE TURBINES

Samoylenko N.A.^{1,2}

¹JSC “UEC-Aviadvigatel”, Perm, Russia, nikita5am@yandex.ru

²PNRPU, Perm

Keywords: turbine, tip clearances.

The following factors affecting the tip clearances (TC) in the turbine are determined: the accuracy of manufacturing and assembly causes local deviations of the TC up to 10.9% from the average value of the mounting TC, the influence of mating parts - axial unevenness of the TC up to 19%, setting sector parts by thrust - an increase in TC by 28%, circumferential unevenness of body temperatures - uneven TC up to 68 %.