

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СОПРОТИВЛЕНИИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ И ВЛИЯНИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Пахоменков А.В.¹, Букатый С.А.^{1,2}

¹ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, aleksandr.pakhomenkov@uec-saturn.ru

² ФГБУВО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва», г. Рыбинск

Ключевые слова: ресурс, малоцикловая усталость, коэффициенты запаса прочности, аналитические и эксплуатационные факторы

Метод основан на использовании следующей зависимости [1]:

$$N_K = N_{\text{расч}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (1)$$

где $N_{\text{расч}}$ – расчётное количество циклов до разрушения детали; K_1, K_2 – коэффициенты запаса по циклической долговечности, определяемые расчётно-экспериментальным способом с учётом опыта эксплуатации двигателей.

Расчётное количество циклов до разрушения предлагается определять на основе эквивалентных испытаний образцов с концентратором напряжений [2], моделирующим НДС в наиболее опасном месте детали – в одном из концентраторов напряжений детали.

В качестве *аналитических факторов* используются: условия эксплуатации ГТД ($K_{УЭ}$); тепловое состояние отдельных деталей и модулей двигателя ($K_{ТС}$); напряжённо-деформированное состояние основных деталей ($K_{НДС}$); свойства используемых материалов ($K_{СМ}$); расчётная циклическая долговечность ($K_{ЦД}$).

В качестве *эксплуатационных факторов* используются: стендовые заводские испытания ($K_{СИ}$); эксплуатация имеющегося авиационного парка ($K_{Э}$).

Степень влияния каждого из данных факторов на соответствующий коэффициент запаса прочности характеризуется достоверностью и объёмом имеющейся информации, характеризующей каждый фактор. Для каждого из вышеперечисленных факторов проводится количественная оценка, включающая в себя подробный анализ всех характеристик, описывающих каждый из факторов. Для проведения количественной оценки каждого фактора используется балльная система, имеющая строгий численный диапазон для каждой характеристики фактора. После проведения количественной оценки каждого из факторов определяются показатели *аналитического* ($K_{АП}$) и *эксплуатационного* ($K_{ЭА}$) анализов, являющиеся функциями соответствующих факторов.

Применение данного метода оценки циклического ресурса рассмотрено на примере диска первой ступени КНД двигателя АЛ-55И. Показано определение безопасной циклической долговечности с определением аналитического коэффициента долговечности (АКД) и полного аналитического показателя (ПАП), который, в свою очередь, зависит от следующих факторов: условия эксплуатации (УЭ), теплового анализа (ТА), анализа напряжений (АН), анализа долговечности (АД) и свойств материалов (СМ):

$$\text{ПАП} = (\text{УЭ} \cdot \text{ТА} \cdot \text{АН} \cdot \text{СМ} \cdot \text{АД})^{0,2}. \quad (2)$$

$$\text{АКД} = 1 - 3,2644 \cdot (1 - \text{ПАП}/100)^{3,1}. \quad (3)$$

Анализ безопасной циклической долговечности проводится для каждой критической зоны диска с применением коэффициента АКД, который является коэффициентом запаса:

$$N_{ЦД} = \text{АКД} \cdot N_{\text{расч}}, \quad (4)$$

где $N_{ЦД}$ – безопасная циклическая долговечность; $N_{\text{расч}}$ – расчётная долговечность.

Для сравнения в табл. 1 приведены результаты расчёта безопасной расчётной циклической долговечности $N_{\text{расч}}$ по утверждённой методике в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, где нормированный коэффициент запаса прочности

$K = 5$. Показано, что в соответствии с действующей нормативно-технической документацией коэффициенты запаса прочности более чем в 4 раза занижают значения расчётной циклической долговечности, что приводит к проектированию ответственных деталей с большими массово-габаритными характеристиками или применению материалов с более высокими физико-механическими показателями конструкционной прочности.

Таблица 1 – Сравнение безопасной расчётной циклической долговечности критических зон диска первой ступени КНД двигателя АЛ-55И

Критическая зона	Предлагаемая методика				Действующая НТД		$\Delta = \frac{N_{\text{ИД}}}{N}$
	$N_{\text{расч}}$ циклы	ПАП	АКД	$N_{\text{ИД}}$ циклы	Нормир. коэфф-т запаса прочности K	N циклы	
Корневое сечение	$1 \cdot 10^6$	60,492	0,817	816544	5	$2 \cdot 10^5$	4,08
Отверстия под балансировочные грузики	272340	60,492	0,817	222378	5	54468	4,08
Отверстия для сброса масла	99609	60,492	0,817	81335	5	19922	4,08
Болтовые отверстия	114708	59,716	0,805	2357	5	22942	4,03
Косые отверстия в ступице	571737	60,492	0,817	466849	5	114347	4,08

Список литературы

1. Расчётное определение ресурса основных деталей газотурбинных двигателей при малоцикловом нагружении / А.В. Пахоменков, Р.А. Азимов, С.А. Букатый // Известия вузов. Авиационная техника // Казань, 2017. №3. С.3-8.

2. Букатый С.А. Прогнозирование малоциклового долговечности деталей газотурбинного двигателя методом эквивалентных испытаний образцов с концентратором напряжений при растяжении-сжатии / С.А. Букатый, А.В. Пахоменков, Г.А. Солнцев, А.С. Букатый // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. Самара. 2018. Том 17. № 2. С. 37-46.

Сведения об авторах

Пахоменков Александр Владимирович, главный конструктор по ПД-35 и изд.156, Область научных интересов: прочность деталей и узлов газотурбинных двигателей.

Букатый Станислав Алексеевич, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: механика разрушения и малоцикловая усталость, остаточные напряжения и деформации.

LIFE ANALYSIS METHOD FOR CRITICAL GTE PARTS BASED ON LOW-CYCLE FATIGUE RESISTANCE DATA AND THE IMPACT OF ANALYTICAL AND OPERATIONAL FACTORS

Pakhomenkov A.V.¹, Bukatyi S.A.²

¹ PJSC 'UEC-Saturn', Rybinsk, aleksandr.pakhomenkov@uec-saturn.ru

² FSBEI 'RSATU named after P.A. Soloviev, Rybinsk

Keywords: life, low-cycle fatigue, strength factors, analytical and operational factors.

This paper considers a life analysis method applying to GTE parts and based on low-cycle fatigue endurance of parts with due account for analytical and operational factors. Using life analysis for the AL-55I LPC stage 1 disk as an example it is shown that the current strength factors underestimate calculated cyclic lives over 4 times.