

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

М. А. Оглобличев<sup>1</sup>, А. С. Гишваров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ogloba@rambler.ru, <sup>2</sup>ad@mail.rb.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Рассматривается метод повышения эффективности периодических испытаний изделий авиационной техники на основе принципа атрибутивной выборки.

**Ключевые слова:** периодические испытания; повышение эффективности; авиационная техника; надежность; долговечность; расходование ресурса.

Периодические испытания (ПИ) – это контрольные испытания образцов выпускаемой продукции, проводимые через установленные промежутки времени или по мере изготовления определенного объема продукции с целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска.

Целями проведения ПИ являются:

- периодический контроль качества продукции;
- контроль стабильности технологического процесса в период между предшествующими и очередными испытаниями;
- подтверждение возможности продолжения изготовления продукции по действующей конструкторской (включая технические условия на изделие), технологической и нормативной документации и возможности ее приемки.

При получении положительных результатов ПИ качество продукции считается подтвержденным по показателям, проверяемым в процессе ПИ. Также считается подтвержденной возможность дальнейшего изготовления и приемки продукции до получения результатов очередных (последующих) ПИ.

Согласно действующей нормативной документации ПИ проводятся выборочно на одном экземпляре из партии изделий, изготовленных в определенный календарный период, или из партии определенного количества изделий.

Известно, что существующая практика проведения ПИ основана на принципе случайной выборки. При этом заказчик, как правило, из нескольких предъявленных изделий (но не всей партии, в зачет которой проводят ПИ) выбирает худшее по выходным параметрам изделие для проведения ПИ [1]. Успешное проведение испытания, выбранного таким образом, изделия позволяет считать всю партию, выпускаемую за определенный календарный период (или партию определенного количества изделий), годной к эксплуатации. Очевидно, что ввиду естественного разброса параметров, прямо или косвенно характеризующих надежность изделия (геометрические параметры, выходные параметры, качество исходного сырья, уровень культуры производства и т.д.), качество изделий отличается друг от друга. Следовательно, если на испытание попадает «лучшее» по качеству изделие, то успешное прохождение им ПИ не гарантирует безотказную эксплуатацию «худших» по качеству изделий. В этом плане такие испытания являются малоинформативными, поскольку не являются гарантом надежности всей выпускаемой партии.

Методом, позволяющим повысить эффективность ПИ, является проведение испытаний на основе принципа атрибутивной (преднамеренной) выборки, основная идея которого заключается в целенаправленной подготовке к ПИ изделия, являющегося в пределах требований технической докумен-

тации потенциально «худшим» по параметрам надежности [2].

Последовательность подготовки такого изделия к ПИ и проведения испытаний сводится к выполнению следующих основных этапов:

1. Выбор элементов узлов изделия, определяющих его надежность, на основе структурного анализа (логического и формализованных методов). Источником информации являются литературные данные, статистические данные эксплуатации изделий и их прототипов в различных условиях, результаты анализа размерных цепей, результаты прочностных расчетов, паспортные данные применяемых средств контроля и другие. При этом влияние параметров может быть известно с точностью до качественной или количественной оценки по уравнению расходования ресурса:

$$P_{ij} = f[P_0, R(\tau), \tau]; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}$$

$$P_0 \in G_p; \quad R = (R_1, R_2, \dots, R_e) \in G_R,$$

где  $P_{ij}$  – ресурс  $i$ -го элемента узла изделия с учетом  $j$ -й характеристики, расходуемый за время  $\tau$  в режиме  $R$ ;  $P_0$  – параметр, характеризующий исходное состояние элемента узла перед эксплуатацией (испытаниями);  $G_p, G_R$  – области реализации параметров  $P_0$  и  $R$ .

2. Формирование технологического процесса изготовления элементов узлов, обеспечивающего в пределах технических требований возможно «худшее» качество изготовления изделия.

3. Комплектация деталей и узлов изделия. При этом покупные узлы и агрегаты в первом приближении также выбираются «худшими» из располагаемой выборки (в пределе, эффективность ПИ по покупным агрегатам, а следовательно, и в целом по изделию можно также повысить за счет их целенаправленной подготовки на предприятиях-изготовителях).

4. Сборка изделия. При этом в пределах технических требований качество сборки должно соответствовать «худшему» случаю.

5. Проведение предъявительских и приемосдаточных испытаний. При этом параметры режима нагружения выдерживаются в пределах требований технических условий с ориентацией на худший случай. Примером является вибронгруженность изделия, которая в данном случае должна выдерживаться на верхнем предельно допустимом уровне).

6. Проведение ПИ. Цикл нагружения в процессе ПИ должен соответствовать наиболее тяжелому эксплуатационному циклу нагружения в пределах требований технической документации. Это позволяет дополнительно уменьшить риск попадания в эксплуатацию ненадежных изделий.

7. Разборка и дефектация изделия, на основе результатов которых дается заключение о качестве изделий всей партии, в зачет которой проводились ПИ.

Успешно проведенные таким образом ПИ являются гарантом надежности всей партии.

Ввиду чрезвычайной сложности взаимосвязей элементов узлов изделия и процессов расходования ресурса, подготовить к испытаниям в полном объеме «худшее» по качеству в пределах требований технической документации изделие невозможно (можно лишь стремиться к этому), однако важно, что в любом случае таким образом проводимые ПИ уменьшают риск попадания в эксплуатацию ненадежных изделий по сравнению с существующей практикой проведения ПИ.

*Пример.* Гарантийный ресурс вспомогательного авиационного газотурбинного двигателя составляет 2000 часов. Основными элементами узлов, определяющих надежность изделия, являются:

- рабочие лопатки первой ступени турбины;
- кожух камеры сгорания;
- роликовый подшипник опоры ротора турбины;
- шестерня редуктора.

Вибрация изделия в пределах технических условий должна находиться в интервале 0...4,5 g.

Анализ техпроцесса изготовления показал, что целенаправленная подготовка к ПИ

«худшего» изделия возможна в пределах следующих допусков на геометрические параметры и параметры нагрузок (табл. 1).

Таблица 1

Наименование элемента узла, параметра	Интервал значений параметра в технической документации	
	серийного	опытного
Рабочая лопатка турбины: – ширина полки $\delta_1$ , мм – ширина полки $\delta_2$ , мм – деформация, мм – напряжение в контакте, $\text{кН/м}^2$ – долговечность $\tau^*$ , ч – повреждаемость, П	1,171...7,2 7,1...7,239 13,4...13,8 6,5...13 6000...3000 0,3...0,6	7,171...7,186 7,171...7,239 13,4...13,6 9...13 4500...3000 0,4...0,6
Кожух камеры сгорания: – толщина $\delta$ , мм – напряжение $\sigma$ , $\text{кН/м}^2$ – долговечность $\tau^*$ , ч – повреждаемость, П	0,19...0,2 54...49 6000...20000 0,3...0,1	0,19...0,195 54...51 6000...15000 0,3...0,13
Роликовый подшипник: – радиальный зазор $\delta$ , мм – перекос $\gamma$ – долговечность $\tau^*$ , ч – повреждаемость, П	0...22 0...10 57760...23104 0,03...0,08	18...22 0...10 28483...23104 0,037...0,08
Ведущая шестерня: – твердость, HRC – межцентровое расстояние $A$ , мм – ширина зуба $b$ , мм – динамическая нагрузка $U$ , $\text{кН/м}$ – контактное напряжение $\sigma_{\text{к}}$ , $\text{кН/м}^2$ – долговечность $\tau^*$ , ч – повреждаемость, П	30...37 109,4...109,9 12...16 1,799...1,8 545...727 1892...485 1,05...4,1	30...32 109,4...109,6 12...12,5 1,799...1,7995 545...547 485...1000 4,1...2

Верхний предел по виброн нагруженности изделия до ПИ обеспечивается введением искусственного дисбаланса на диске третьей ступени турбины, а значение температуры газа перед турбиной  $T_{\text{Г}}^*$  – повышением температуры на входе в двигатель  $T_{\text{вх}}$ , частота вращения ротора  $n$  – регулировкой топливного насоса.

Значения параметров нагружения изделия в режиме «номинал» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование параметра	$T_{\text{Г}}^*$ , °C	$T_{\text{Т}}^*$ , °C	$Kg$	$G_{\text{отб}}$ , кг/с	$P_{\text{отб}}$ , кг/см <sup>2</sup>	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_{\text{Г}}$ , кВт
По техническим условиям	<975	<550	0...4,5	1,35	4,9	23900+120	45
В серийных испытаниях	930	530	0...4,5	1,32	4,5	23900	42
В опытных испытаниях	975	550	4...4,5	1,35	4,9	23900	45

Примечание:  $T_{\text{Г}}^*$  – температура газа перед турбиной;  $T_{\text{Т}}^*$  – температура газа за турбиной;  $Kg$  – виброперегрузка;  $G_{\text{отб}}$  – количество отбираемого воздуха;  $P_{\text{отб}}$  – давление отбираемого воздуха;  $n$  – частота вращения ротора;  $N_{\text{Г}}$  – нагрузка генератора переменного тока.

Разброс долговечности до разрушения элементов узлов изделия, изготовленного по серийной технологии, и изделия, целенаправленно подготовленного для проведения ПИ по предлагаемому методу, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Наименование элемента узла	Характеристика прочности	Долговечность до разрушения (ч) в программе испытаний		Эффективность по критерию Э		$\frac{\Delta_0}{\Delta_c}$
		серийного	опытного	серийного $\Delta_c$	опытного $\Delta_0$	
Рабочая лопатка турбины	Длительная малоцикловая прочность	3000...6000	3000...4500	50	67	1,3
Кожух камеры сгорания	Длительная малоцикловая прочность	6000...20000	6000...12000	30	50	1,7
Роликовый подшипник	Контактная прочность	8317...57760	8317...24000	14,4	34,7	2,4
Шестерня редуктора	Контактная прочность	3200...8600	3200...4300	37	74	2
В целом по изделию				32,85	56,43	1,72

В качестве меры близости качества элемента изделия к его «худшему» значению принято отношение:

$$\Theta_i = \frac{\tau_{\min,i}^*}{\tau_{\max,i}^*} \cdot 100 \%,$$

где  $\tau_{\min,i}^*$ ,  $\tau_{\max,i}^*$  – соответственно минимальная и максимальная долговечности  $i$ -го элемента изделия. Согласно данному отношению, чем «уже» интервал  $\tau_{\min,i}^* \dots \tau_{\max,i}^*$ , тем больше вероятность того, что на ПИ попадет «худшее» изделие. В предельном случае, когда  $\tau_{\min,i}^* = \tau_{\max,i}^*$ ,  $\Theta = 100 \%$ .

Для изделия в целом эффективность равна:

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \Theta_i / n$$

и характеризует меру близости изделия к своему «худшему» состоянию.

Сравнение эффективности периодических испытаний изделий, изготовленных по серийной и по опытной документации, показывает (табл. 3), что предлагаемый метод подготовки изделия позволяет повысить эффективность испытаний по рабочей лопатке турбины – в 1,3 раза, по кожуху камеры сгорания – в 1,7 раза, по роликовому подшипнику – в 2,4 раза, по шестерне редуктора – в 2 раза, а по изделию в целом – в 1,72 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что принцип атрибутивной выборки, заключающийся в целенаправленной подготовке к периодическим испытаниям изделия, являющегося в пределах требований технической документации потенциально «худшим» по параметрам надежности, позволяет значительно повысить эффективность испытаний, а, следовательно, снизить риск попадания в эксплуатацию ненадежных изделий. Дополнительно повысить эффективность периодических испытаний возможно за счет приведения цикла нагружения в процессе испытаний к наиболее тяжелому эксплуатационному циклу нагружения в пределах требований технической документации.

Для рассмотренного вспомогательного авиационного газотурбинного двигателя

применение данного метода позволяет повысить эффективность периодических испытаний:

- по рабочей лопатке турбины – в 1,3 раза;
- по кожуху камеры сгорания – в 1,7 раза;
- по роликовому подшипнику – в 2,4 раза;
- по шестерне редуктора – в 2 раза;
- по изделию в целом – в 1,72 раза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОТУ-2018. Двигатели авиационные серийные для воздушных судов. Изготовление, ремонт, приемка и поставка. Общие технические условия. [ «GTC-2018. Aviation serial engines for aircraft. Production, repair, acceptance and delivery. General technical conditions». ]
2. Гишваров А. С. Теория ускоренных ресурсных испытаний технических систем. Уфа: Гилем, 2000. – 338 с. [ A. S. Gishvarov, «Theory of accelerated resource tests of technical systems». Ufa. Gilem, pp. 338, 2000. ]

### ОБ АВТОРАХ

**ОГЛОБЛИЧЕВ Максим Алексеевич**, соискатель каф. АД.

**ГИШВАРОВ Анас Саидович**, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. АД.

### METADATA

**Title:** Improving the efficiency of periodic testing of aviation equipment products

**Authors:** M. A. Ogloblichev<sup>1</sup>, A. S. Gishvarov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>oglobla@rambler.ru, <sup>2</sup>ad@mail.rb.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 96-99, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The method of increasing the effectiveness of periodic testing of aviation equipment products based on the principle of attributive sampling is considered.

**Key words:** periodic testing; Improving the efficiency; aviation equipment; reliability; durability; expending of resource.

**About authors:**

**OGLOBLICHEV, Maksim Alekseevich.**, aspirant, Ufa state aviation technical University

**GISHVAROV, Anas Saidovich.**, doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department of aircraft engines, Ufa state aviation technical University