

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ ГТД

Х. М. ОР-РАШИД<sup>1</sup>, А. С. ГИШВАРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> harun\_82@mail.ru, <sup>2</sup> kafedra.ad@mail.ru

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

**Аннотация.** проведено исследование влияния факторов, ограничивающих эффективность ускоренных испытаний агрегатов газотурбинного двигателя.

**Ключевые слова:** ускоренные испытания, эквивалентность испытаний, коэффициент ускорения испытаний, эффективность, агрегаты.

Известно, что научно обоснованные и хорошо организованные ускоренные испытания (УИ) являются залогом успеха и удовлетворения требованиям по надежности выпускаемых изделий при минимальных временных и материальных затратах. Проблема ускоренных испытаний с каждым годом становится все более важной и актуальной, так как одновременно с усложнением конструкций возрастают требования к их надежности. Преимущества, которые можно реализовать от внедрения ускоренных испытаний, настолько очевидны, что делают эту проблему едва ли не самой насущной на современном этапе развития теории и практики надежности сложных технических систем. Проблема УИ по-прежнему остается весьма сложной и требует решения целого ряда комплексных задач, исследование которых проводится в математическом, физическом и инженерно-техническом аспектах. Решение этих вопросов значительно осложнено тем, что эксплуатация современных сложных технических систем характеризуется большим разнообразием условий применения, широким диапазоном рабочих режимов, динамическими нагрузками на элементы, разнообразием условий окружающей среды и другими факторами, определяющими их надежность и ресурс. Существующие в настоящее время методы УИ, в силу различных причин (сложности реализации метода, несоответствия возможностей разработчика целям проводимого исследо-

вания, большой длительности испытаний, отсутствия исходных данных для реализации конкретного метода и др.) на практике не всегда оказываются эффективными. Очевидно, что чем шире перечень методов, тем эффективнее можно решать задачи по оценке надежности изделий методом ускоренных испытаний.

Возможности сокращения длительности испытаний во многом определяются числом элементов изделия ( $n$ ) и характеристик расходования ресурса ( $m$ ), с учетом которых формируется программа испытаний, числом параметров режима нагружения ( $s$ ), а также числом и видом налагаемых на область реализации параметров ограничений ( $\xi$ ) (рис. 1, 2, 3) [1].

С учетом граничного значения коэффициента ускорения  $K_{y.zp}$  (рис. 1), ниже которого проведение УИ экономически не целесообразно или невозможно, формирование программ ускоренных испытаний проводилось из условия

$$K_y = F(m, n, s, \xi) \geq K_{y.zp} \quad (1)$$

Увеличение  $m$  и  $n$ , ввиду неодинакового качественного и количественного влияния параметров режима на ресурс элементов изделия, затрудняет выполнение условия эквивалентности. Влияние  $s$  противоположно влиянию  $m$  и  $n$ , поскольку с увеличением числа параметров режима увеличивается число степеней свободы, за счет чего обеспечивается эквивалентность испытаний.

Исследование влияния различных факторов на эффективность УИ авиационного вспомогательного газотурбинного двигателя (ВГТД), авиационного гидроагрегата и генератора переменного тока показало, что увеличение числа элементов, учитываемых при выборе режима УИ, ведет к увеличению эффективности испытаний по критерию эквивалентности  $K_{\text{э}}$  (рис. 3, а, б) ( $K_{\text{э}}$  –

«невязка» по коэффициенту ускорения  $K_{\text{у}}$ , приходящаяся в среднем на один элемент изделия) и к уменьшению их эффективности, оцениваемому коэффициентом ускорения испытаний  $K_{\text{у}}$  (рис. 3, в, г; рис. 4, а). При этом эффективность УИ также зависит от сочетания элементов изделия, с учетом которых проводится выбор объема, режимов и длительности УИ (рис. 3, г; рис. 4, б).

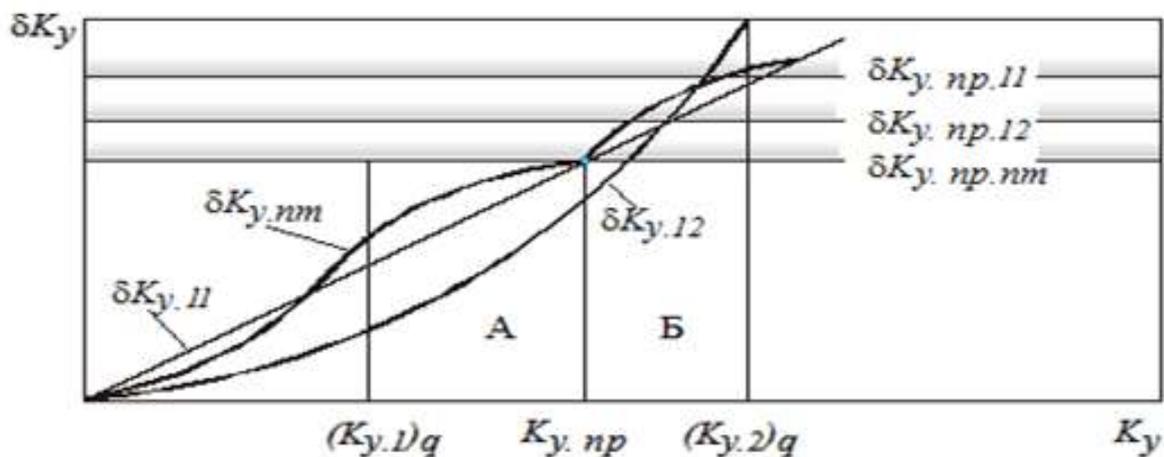


Рис. 1. Графическая иллюстрация влияния коэффициента УИ на «невязку»  $\delta K_{\text{у}.ij} = |K_{\text{у}} - K_{\text{у}.ij}|$ :  $(K_{\text{у}.1})_q$ ,  $(K_{\text{у}.2})_q$  – граничные значения  $K_{\text{у}}$ ;  $K_{\text{у}.np}$  – предельное значение  $K_{\text{у}}$ , при котором обеспечивается эквивалентность УИ; А – область, где испытания эквивалентны; Б – область, где испытания не эквивалентны

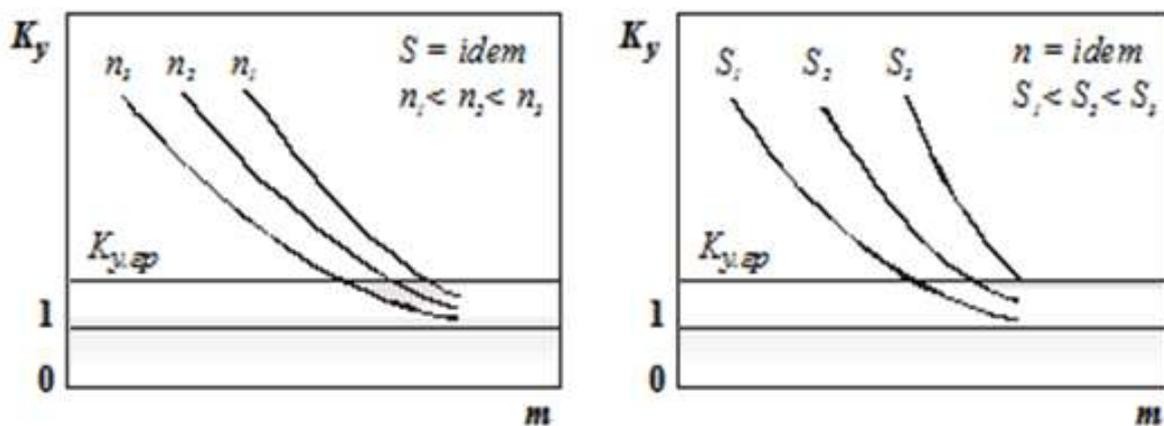


Рис. 2. Графическая иллюстрация влияния факторов  $m$ ,  $n$  и  $s$  на коэффициент ускорения испытаний:  $K_{\text{у}.\varphi}$  – нижняя граница  $K_{\text{у}}$

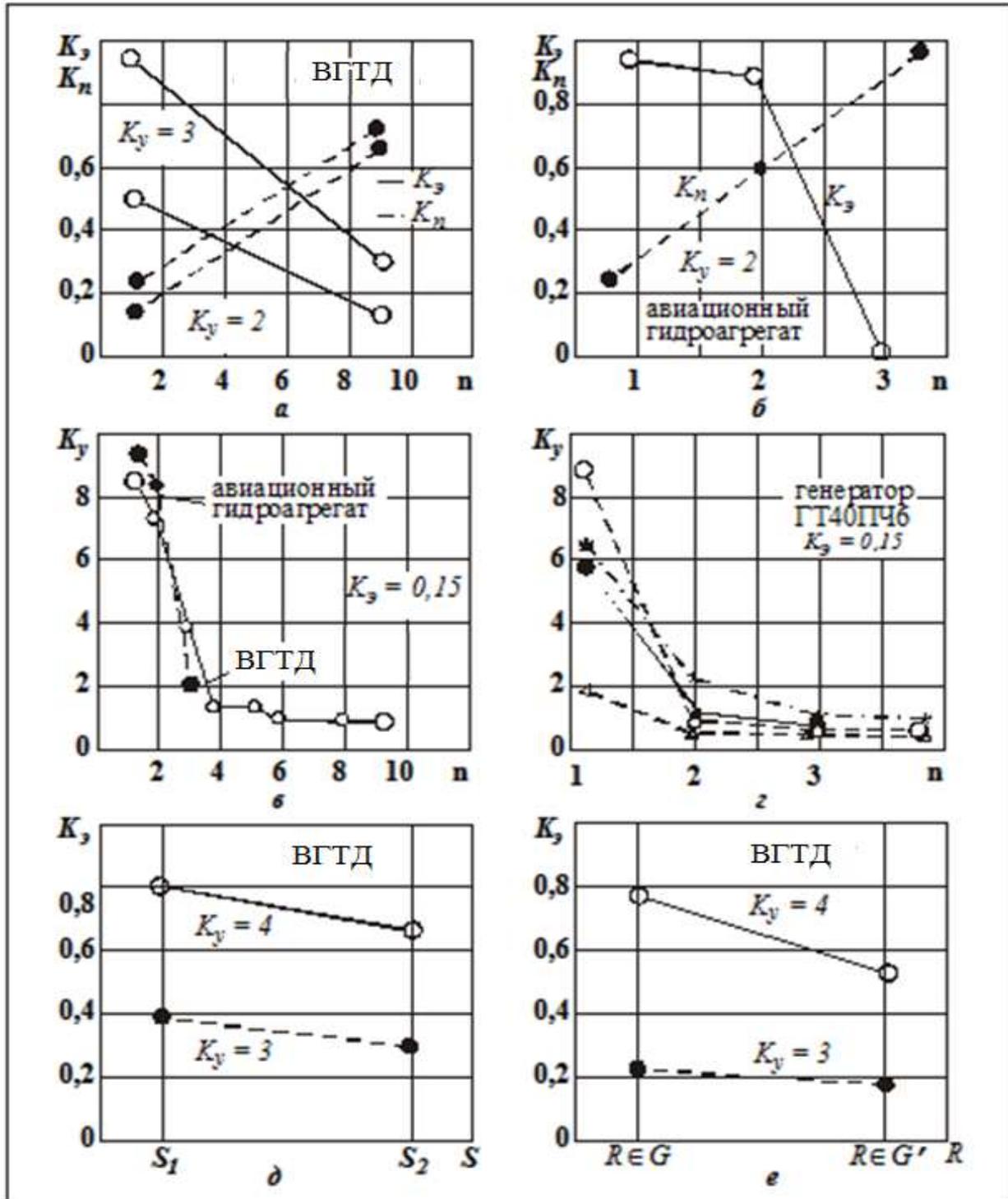
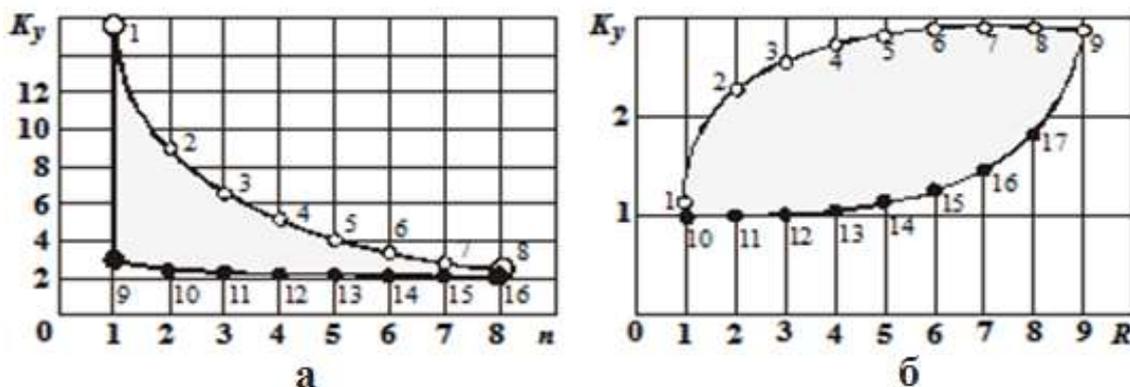


Рис. 3. Влияние факторов  $n$ ,  $s$ ,  $G$  и сочетания элементов изделия на эффективность УИ:  $z$  – (o, •, \*, Δ) – элементы генератора ГТ40ПЧ6;  $d$ ,  $e$  – влияние числа параметров режима ( $S_2 = S_1 + 1$ ) и границ области их реализации ( $G < G'$ );  $K_y = \Sigma / K_{yij} - K_y / n$ ;  $K_n = n / n_{max}$ ,  $n_{max}$  – максимальное число учитываемых элементов изделия



**Рис. 4.** Влияние числа элементов  $n$ , параметров режима  $R$  и длительности испытаний  $\tau$  на эффективность УИ турбонасосной установки ТНУА:  $\circ$ ,  $\bullet$  – соответственно минимальные и максимальные значения  $K_y$  для заданных  $n$  и  $s$ ;  $R = (T_{вх}, T_{см}, \tau_1, \tau_2, b_{ш}, V_{см}, Q_1, Q_2, Q_3)$ : (1) – температура воздуха на входе в турбину установки ( $T_{вх}$ ); (2) – температура смазки в редукторе ( $T_{см}$ ); (3), (4) – длительность работы на первом ( $\tau_1$ ) и втором ( $\tau_2$ ) участках нагружения; (5) – ширина контактной линии шестерни ( $b_{ш}$ ); (8), (9), (6) – расход рабочей жидкости через насос на участках нагружения 1, 2 и 3 ( $Q_1, Q_2, Q_3$ ); (7) – объем смазки редуктора ( $V_{см}$ )

На рис. 4, а приняты следующие обозначения: 1 – (8); 2 – (7, 8); 3 – (5, 7, 8); 4 – (5...8); 5 – (2, 5...8); 6 – (1,2,5...8); 7 – (1...3, 5...8); 8 – (1...8); 9 – (1); 10 – (1, 4); 11 – (1, 4, 5); 12 – (1, 4...6); 13 – (1, 3...6); 14 – (1...6); 15 – (1...7); 16 – (1...8);

(1) – неподвижные уплотнения турбонасосной установки; (2) – торцевое уплотнение турбины; (3) – шлицевое соединение привода гидронасоса; (4) – зубчатое зацепление в редукторе; (5) – радиально-упорный подшипник турбины; (6), (7) – радиальные подшипники турбины и привода гидронасоса; (8) – роликовый подшипник привода гидронасоса.

На рис. 4, б приняты следующие обозначения: 1 – (3); 2 – (1,3); 3 – (1, 3, 4); 4 – (1...4); 5 – (1...4, 7); 6 – (1...6); 7 – (1...6, 9); 8 – (1...6, 8, 9); 9 – (1...9); 10 – (1 или 2); 11 – (1,2); 12 – (7...9); 13 – (5, 6, 8, 9); 14 – (5...9); 15 – (4...9); 16 – (1, 4...9); 17 – (1, 2, 4...9).

Исследование оптимальной области ускоренных испытаний авиационного двигателя ТА-6А показало, что причиной снижения коэффициента ускорения являются:

– ограничения на параметры режима (при «расширении» области реализации режима, как видно из рис. 3, д и 3, е и рис. 4, б, эффективность УИ возрастает);

– наличие элементов, скорость выработки ресурса которых слабо зависит от параметров режима нагружения;

– наличие параметров режима, качественно по разному влияющих на скорость расходования ресурса элементов изделия;

– наличие функциональной связи между параметрами режима, а также их качественно различное влияние на ресурс одного и того же элемента изделия.

Поэтому, для повышения эффективности УИ актуальным является разработка новых методов сокращения длительности ресурсных испытаний. Очевидно, что чем шире перечень методов УИ, тем эффективнее можно решать различные задачи по повышению надежности и ресурса изделий. В случае, когда УИ не обеспечивают эквивалентность по какому либо элементу или узлу изделия, и их влиянием на процессы расходования ресурса других элементов можно пренебречь, то рациональным является проведение «поэлементных» и (или) «поузловых» УИ на отдельных установках и стендах вне системы изделия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гишваров А.С., Тимашев С.А., Теоретические основы ускоренной оценки и прогнозирования надежности техни-

ческих систем. Екатеринбург: УрО РАН, 2012 - 184 с.[A.S. Gishvarov, S.A. Timashev, Theoretical Foundations of Accelerated Assessment and Prediction of the Reliability of Technical Systems. Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2012 - 184 p.]

#### ОБ АВТОРАХ

**ОР-РАШИД Харун Мохаммад**, асп. каф. авиационных двигателей. Дипл инженер по тех. экпл. ЛА и АД (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. ускоренных испытаний авиационных ГТД.

**ГИШВАРОВ Анас Саидович**, проф, зав. каф. авиац. двигателей Дипл. инж.-мех. по авиац. двиг. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по тепл. двигателям лета-тельных аппаратов (УАИ, 1993). Иссл. в обл. надежности, ресурса, испытаний и прогнозирования состояния технических систем.

#### METADATA

**Title:** Study of the influence of factors restricting the efficiency of accelerated tests of GTE

**Author:** H. M. Or-Rashid <sup>1</sup>, A. S. Gishvarov <sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

**E-mail:** <sup>1</sup> harun\_82@mail.ru, <sup>2</sup> kafedra.ad@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 114-118, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** An experimental substantiation of methods for reducing the duration of life tests on an aircraft engine TA-6A was carried out.

**Key words:** accelerated tests, equivalence of tests, coefficient of acceleration tests

**About authors:**

**OR-RASHID, Harun Mohammad**, Postgrad. (PhD) student, Dept. of Aircraft engines. Dipl. Engineer Technical Maintenance of Aircraft and Aircraft Engines (USATU, 2011). Research in the domain of accelerated testing of aircraft GTE.

**GISHVAROV, Anas Saidovich**, prof. cafe Aviation Engine Dipl. engineer-fur. by aviation engine (UAI, 1973). Doctor tech. sciences in heat. engines of flying vehicles (UAI, 1993). Research in the region reliability, resource, testing and prediction of the state of technical systems.