

УДК 621.01:629.7.01

В. У. ІГНАТКІН¹, О. В. ТОМАШЕВСЬКИЙ²

¹ Дніпродзержинський державний технічний університет, Україна

² Запорізький національний технічний університет, Україна

КОРЕКТУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ МІЖПОВІРОЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗА ЇХ ПОТОЧНИМ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

Запропоновано методичний апарат, який дозволяє на підставі введення операції контрольних перевірок (КП) на додаток до періодичних перевірок і калібрувань засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) збільшити метрологічну надійність ЗВТ. Визначено вимоги для знаходження оптимального значення міжповірочного інтервалу (МПІ). Одержано вирази, які дозволяють визначити значення коректувань МПІ в процесі експлуатації ЗВТ за їх поточним станом при певних значеннях ймовірності безвідмовної роботи ЗВТ по метрологічних відмовах та заданим значенням коефіцієнта готовності і за умови проведення додаткових КП.

Ключові слова: засоби вимірювальної техніки, міжповірочний інтервал, періодичні перевірки засобів вимірювальної техніки.

Вступ

При виготовленні авіаційних двигунів проводяться сотні вимірювальних операцій, якість проведення яких залежить від метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Одним із напрямків удосконалення метрологічного забезпечення ЗВТ є введення операції контрольних перевірок (КП) на додаток до періодичних перевірок і калібрувань ЗВТ у місцях їхньої установки [1]. Як показали дослідження [1], метод контрольних перевірок дозволяє збільшити метрологічну надійність ЗВТ завдяки одержуваній інформаційній надмірності та змінити параметри експлуатації, зокрема, такий найважливіший параметр, як міжповірочний інтервал (МПІ) за їх поточним технічним станом.

Подальший розвиток методу контрольних перевірок і його впровадження в систему метрологічного забезпечення ЗВТ багато в чому залежить від наявності методичного апарата, що задовольняє різним вимогам, пропонуваним до параметрів їхньої експлуатації. Параметри експлуатації ЗВТ мають відповідати одиничним і комплексним показникам ефективності за аналогією з будь-якими іншими технічними об'єктами [2-7].

В [1] розглянуто коректування МПІ, при умові проведення додаткових КП, за найважливішими одиничними (або частковими) показниками ефективності.

Мета даної роботи – створення методичного апарата для коректування параметрів експлуатації ЗВТ, при умові проведення додаткових КП, за різними комплексними показниками ефективності.

1. Вибір показників і критеріїв ефективності ЗВТ

При виборі показників і критеріїв ефективності ЗВТ складних технічних об'єктів (в т.ч. авіаційних двигунів) необхідно виходити з того, щоб кожен ЗВТ як можна більшу частину часу перебував в експлуатації (перша вимога) і при цьому значення ймовірності його безвідмовної роботи була б не менше заданого припустимого значення P_0 (друга вимога) [3].

Перша вимога характеризується коефіцієнтом готовності ЗВТ:

$$K_r(T) = T / (T + t_n) \geq K_{r0}, \quad (1)$$

де T - міжповірочний інтервал; t_n - час знаходження на метрологічному обслуговуванні, що включає чергову перевірку після закінчення МПІ, ремонт ЗВТ, якщо він необхідний, і перевірку відремонтованого приладу; K_{r0} - припустиме (необхідне) значення коефіцієнта готовності ЗВТ. Друга вимога має задовольняти обмеженню:

$$P(T) \geq P_0. \quad (2)$$

Варто помітити, що аналітичний вираз для ймовірності безвідмовної роботи невідомий, а відомі лише досить наближені його значення для окремих моментів часу. Дуже часто стосовно метрологічного обслуговування ЗВТ обмежуються лише вимогою (2), навіть не згадуючи про коефіцієнт готовності. Однак й у цьому випадку задаються «розумним» значенням P_0 , яке можна одержати при збереженні МПІ, а значить, і коефіцієнт готовності має бути досить великим [3].

Очевидно, оптимальне значення міжповірочного інтервалу T має забезпечувати максимальне значення комплексного показника ефективності експлуатації ЗВТ при виконанні вимог (1) і (2):

$$K_{\text{эф.1}} = K_{\Gamma}^{\Gamma}(T)P(T), \quad (3)$$

де Γ - параметр, який враховує вагу коефіцієнта готовності $K_{\Gamma}(T)$ у показнику ефективності.

За аналогією можна прийняти й інші комплексні показники ефективності експлуатації, наприклад:

$$\text{а) } K_{\text{эф.2}} = P(t_0) / S^{\Gamma}(T), \quad (4)$$

де t_0 - момент часу, при якому ймовірність $P(t_0)$ досягає мінімально припустимого значення P_0 , тобто $P(t_0) = P_0$; S - кількість контрольних перевірок даного ЗВТ за інтервал часу T_i ;

$$\text{б) } K_{\text{эф.3}} = K_{\Gamma}(T) / S^{\Gamma}(T). \quad (5)$$

Використавши наведені вище коефіцієнти ефективності, розглянемо методики коректування параметрів експлуатації ЗВТ, звернувши особливу увагу на найважливіший з них – МПІ і його зміни в процесі експлуатації.

2. Визначення МПІ за заданою ймовірністю метрологічних відмов ЗВТ

Будемо враховувати тільки метрологічні відмови, припускаючи, що явні відмови виявляються відразу й дане ЗВТ виводиться з експлуатації. Скористаємося також тим, що метрологічні відмови прийнято описувати розподілом Вейбулла:

$$P_M(t) = \exp(-\lambda_M t^{\alpha}), \quad (6)$$

де P_M - ймовірність безвідмовної роботи групи ЗВТ по метрологічних відмовах за інтервал часу $(0, T)$; λ_M - інтенсивність метрологічних відмов ЗВТ; α - параметр закону розподілу Вейбулла, певний за той самий інтервал $(0, T)$.

Представимо (3), з урахуванням (1), у вигляді:

$$K_{\text{эф.1}}(T_K) = P_M^{\left(\frac{T_K}{T_0}\right)^{\alpha}} \left[\frac{T_K}{T_K + t_n} \right]^{\Gamma}, \quad (7)$$

де T_0 , T_K - початковий і знову встановлений (скоректований) МПІ.

Оптимальне скоректоване значення $T_{0,K}$ МПІ має забезпечувати максимальне значення показника ефективності $K_{\text{эф.1}}(T_K)$, тобто

$$\max K_{\text{эф.1}}(T_{0,K}) = \max P_M(T_{0,K}) K_{\Gamma}^{\Gamma}(T_{0,K}) \quad (8)$$

при обмеженнях $P(T_K) \geq P_0$, $K_{\Gamma}(T_K) \geq K_{\Gamma 0}$.

Використавши (7), визначимо оптимальне значення $T_{0,K}$, яке згідно (8) відповідає максимальному

значенню показника ефективності $K_{\text{эф.1}}(T_K) \Big|_{T_K=T_{0,K}}$.

Потім, з урахуванням рівняння (6), обчислимо похідну $dK_{\text{эф.1}}(T_K)/dT_K$ і прирівняємо її нулю. Після перетворень отримаємо рівняння:

$$\alpha \left(\frac{T_{0,K}^{\alpha}}{T_0^{\alpha}} \right) \ln P_M + r t_n / (T_{0,K} + t_n) = 0. \quad (9)$$

У загальному випадку дане рівняння можна розв'язати тільки приблизно. Тому розглянемо характерний окремий випадок, прийнявши природну умову, то $k \gg t_n$, при цьому

$$T_{0,K} = \left[r t_n T_0^{\alpha} / (\alpha \ln P_M) \right]^{1/(\alpha+1)}. \quad (10)$$

Ця формула дозволяє досить просто обчислити $T_{0,K}$. Зовні, в даній формулі не враховано такі важливі параметри, як наробіток на відмову ЗВТ, характеристики їхніх режимів роботи і т.д., але всі ці дані в остаточному підсумку реалізуються в значенні ймовірності безвідмовної роботи P_M , зумовленої результатами перевірки. Для прикладу в табл. 1 наведено результати розрахунку оптимальних значень $T_{0,K}$, скоректованого МПІ для різних за надійністю груп ЗВТ.

Таблиця 1

Результати розрахунку оптимальних значень скорегованого міжповірочного інтервалу $T_{0,K}$

P_M	$T_{0,K}$ (років) при Γ		
	1	2	3
0,9	0,95	1,32	1,57
0,95	1,31	1,83	2,22
0,98	2,05	2,85	3,45

При розрахунках були прийняті наступні вихідні дані: $T_0 = 1$ рік; $t_n = 0,1$ року; $\alpha = 1,1$.

3. Коректування МПІ при заданому мінімально припустимому значенні ймовірності безвідмовної роботи P_0 і кількості S контрольних перевірок ЗВТ

Відомо, що інтенсивність відмов $\lambda(t)$ ЗВТ із часом монотонно зростає, і досить розповсюдженим є припущення про зміну $\lambda(t)$ за лінійним законом:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \beta_1 t \quad \text{при } \beta_1 > 0,$$

де λ_0 - початкове значення параметра потоку відмов ЗВТ; β_1 - приріст параметра потоку відмов за час t .

Момент часу t_0 , коли очікується виконання рівності $P(t_0) = P_0$ при початковій умові $P(0) = 1$, визначимо з рішення рівняння:

$$P_0 = \exp(-\lambda_0 t_0 - \beta t_0^2), \quad (11)$$

де $\beta = \beta_1 / 2$.

Для позитивного розв'язку (9) отримаємо:

$$t_0 = -\left[\frac{\lambda_0}{2\beta}\right] \left[1 - \left(1 - 4\beta\lambda_0^{-2} \ln P_0\right)^{1/2}\right]. \quad (12)$$

Оскільки $4\beta\lambda_0^{-2} \ln P_0 < 1$, розкладемо вираз

$$\left(1 - 4\beta\lambda_0^{-2} \ln P_0\right)^{1/2}$$

у статистичний ряд до квадратичного члена, тоді:

$$t_0 = -\lambda_0^{-1} \ln P_0 \left(1 + \beta\lambda_0^{-2} \ln P_0\right). \quad (13)$$

Після першої контрольної перевірки, яка проводиться в момент часу $t_{n1} = t_0$, вірогідність безвідмовної роботи ЗВТ, що перевіряється, зростає до значення $P_1(t_0) = 1 - [1 - P(t)]^2$, а при $t > t_0$ зменшується відповідно до виразу:

$$\begin{aligned} P_2(t) &= P_2(t_0 + \Delta t) = \\ &= P_1(t_0) \exp[-\lambda_0 \Delta t - 2\beta t_0 \Delta t - \beta(\Delta t)^2]. \end{aligned} \quad (14)$$

Для визначення початку другої КП необхідно, аналогічно попередньому, вирішити рівняння $P_2(t) = P_0$, яке можна записати так:

$$\beta(\Delta t)^2 + (\lambda_0 \Delta t + 2\beta t_0) \Delta t + \ln \left[\frac{P_0}{P_1(t_0)} \right] = 0, \quad (15)$$

вирішуючи це рівняння, одержуємо

$$\begin{aligned} \Delta t &= -\frac{1}{\lambda_0 + 2\beta t_0} \ln \frac{P_0}{P_1(t_0)} \left[1 + \right. \\ &\left. + \frac{\beta}{(\lambda_0 + 2\beta t_0)^2} \ln \frac{P_0}{P_1(t_0)} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

З порівняння (16) з (13) знаходимо, що $\Delta t < t_0$, тобто час проведення другої КП менше $2t_0$.

Узагальнюючи рішення (11) на інтервал часу $\Delta t_{i,i+1}$ між i -ю й $(i+1)$ контрольними перевірками, запишемо:

$$\begin{aligned} \Delta t_{i,i+1} &= -\frac{1}{\lambda_0 + 2\beta t_i} \times \\ &\times \ln \frac{P_0}{P_1(t_i)} \left[1 + \frac{\beta}{(\lambda_0 + 2\beta t_i)^2} \ln \frac{P_0}{P_1(t_i)} \right], \end{aligned} \quad (17)$$

де t_i - час проведення $(i+1)$ перевірки.

Аналізуючи (17), дійдемо висновку, що із збільшенням i ($i = \overline{1, S}$) інтервал $\Delta t_{i,i+1}$ між контрольними перевірками зменшується, що відповідає фізичній суті метрологічної надійності ЗВТ. Обчисливши послідовно всі інтервали $\Delta t_{i,i+1}$, скоригуємо МПІ за формулою:

$$T = t_0 + \sum_{i=1}^S \Delta t_{i,i+1}. \quad (18)$$

При необхідності можна визначити коефіцієнт готовності ЗВТ за виразом (1).

За заданим значенням коефіцієнта готовності можна визначити МПІ. З (1) отримаємо:

$$T = \frac{t_n K_\Gamma}{(1 - K_\Gamma)}. \quad (18)$$

Потім із (13) знайдемо час проведення першої КП, а за допомогою (17) послідовно обчислимо інтервали часу $\Delta t_{i,i+1}$ між черговими контрольними перевірками. Значення S , при якому вперше виконується нерівність

$$t_0 + \sum_{i=1}^S \Delta t_{i,i+1} > T$$

визначає кількість цих перевірок.

Висновки

Визначено комплексні показники ефективності експлуатації ЗВТ і їх зв'язок з міжпівірочним інтервалом.

Розроблено апарат для контрольних перевірок ЗВТ, який дозволяє проводити коректування МПІ в процесі експлуатації ЗВТ за їх поточним станом.

Одержано вирази для коректування МПІ в залежності від ймовірності безвідмовної роботи ЗВТ і кількості контрольних перевірок та заданим значенням коефіцієнта готовності.

Запропоновано методику для визначення кількості контрольних перевірок.

Література

1. Кагановский, С. А. Модель эксплуатации средств измерений [Текст] / С. А. Кагановский, В. Н. Чинков // Измерительная техника. – 1990. – № 8. – С. 5-8.
2. Чумаков, В. М. Оценка эффективности сложных технических устройств [Текст] / В. М. Чумаков, В. И. Серебряный. – М. : Сов. радио, 1980. – 192 с.
3. Ігнаткін, В. У. Визначення міжпівірочних інтервалів засобів вимірів по конкретним статистичним даним процесу перевірок [Текст] / В. У. Ігнаткін // Динаміка систем і пристроїв автоматичного керування : зб. науч. праць Дніпропетровського

Держ. ун-ту. – Дніпропетровськ, 1975. – С. 155-161.

4. Игнаткин, В. У. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия [Текст] / В. У. Игнаткин. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 208 с.

5. Игнаткин, В. У. Оценка, контроль и прогнозирование метрологической надежности средств измерений [Текст] / В. У. Игнаткин. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 190 с.

6. Определение и анализ зависимостей пока-

зателей надежности средств измерений [Текст] / В. У. Игнаткин [и др.] // Измерительная техника. – 1988. – № 7. – С. 11-13.

7. Обґрунтування концепції оптимізації метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки, оцінки його параметрів і показників функціонування [Текст] / В. У. Ігнаткін [та ін.] // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 3(15). – С. 94-103.

Надійшла до редакції 25.05.2015, розглянута на редколегії 19.06.2015

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф., зав. каф. В. В. Погосов, Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя.

КОРРЕКТИРОВКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО ИХ ТЕКУЩЕМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

В. У. Игнаткин, А. В. Томашевский

Предложен методический аппарат, который позволяет на основании введения операции контрольных проверок (КП) в дополнение к периодическим проверкам и калибровкам средств измерительной техники (СИТ) увеличить метрологическую надежность СИТ. Определены требования для нахождения оптимального значения межповерочного интервала (МПИ). Получены выражения, которые позволяют определить значения корректировки МПИ в процессе эксплуатации ЗСТ по их текущему состоянию при определенных значениях вероятности безотказной работы ЗСТ по метрологическим отказам и заданным значением коэффициента готовности при условии проведения дополнительных КП.

Ключевые слова: конкурентоспособность, система сертификации, авиационное предприятие, интегральный показатель конкурентоспособности, авиадвигатель.

CORRECTION FOR CALIBRATION INTERVAL OF MEASURING EQUIPMENT AT THEIR CURRENT TECHNICAL STATES

V. U. Ignatkin, A. V. Tomashevskyi

It is proposed the methodological apparatus, allowing the introduction of transactions on the basis of control checks (CC) in addition to the periodic inspection and calibration of measuring equipment (ME) to increase the metrological reliability of ME. Detected the requirements for finding the optimal value Calibration interval (CI). The obtained expressions that allow us to determine the value adjustments CI during operation ME by their state to in-line for certain values of reliabilities the ME on the metrological failures and the set value of the coefficient of readiness upon condition to the additional CC.

Keywords: measuring equipment, calibration interval, periodic verification of measuring instruments.

Ігнаткін Валерій Устинович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. апаратури радіозв'язку, радіомовлення і телебачення, Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна.

Томашевський Олександр Володимирович – канд. техн. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, Україна, e-mail: tmsh@mail.ru.