

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И ГРУППОВЫХ ПОВЕРОК РАЗНОТИПНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПАРАМЕТРА И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

© 2019 А. К. Франчук, Ю.Б. Самойлов

Филиал военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани

Статья поступила в редакцию 28.03.2019

Обеспечение метрологической надежности группы из разнотипных измерительных преобразователей (ИП), характерных для систем контроля бортового радиоэлектронного оборудования (СК БРЭО), требует высоких удельных затрат на метрологическое обслуживание (УЗМО). Предложена методика определения индивидуальных и групповых интервалов поверки ИП на основе критерия вероятности их исправного состояния, направленная на минимизацию УЗМО при нормальном законе распределения контролируемого параметра и погрешности измерения.

*Ключевые слова:* разнотипные измерительные преобразователи, вероятность исправного состояния, интервал поверки.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач метрологического обеспечения систем контроля (СК) бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) наряду с выбором номенклатуры контролируемых параметров и определением требуемых типов и точности измерительных преобразователей (ИП), является формирование требований к их метрологической надежности (МН) [1]. Для оценки и поддержания МН в период эксплуатации СК, как правило, используется минимально допустимый уровень вероятности отсутствия метрологических отказов или исправного состояния ИП за некоторый заданный интервал времени [1, 5].

Требования к системе метрологического обслуживания (МО) ИП по обеспечению метрологической надежности на требуемом уровне определяется через неравенство [2]

$$P_M(t \leq T_0) > P_{MD}, \quad (1)$$

где  $P_M(t \leq T_0)$  и  $P_{MD}$  – текущее и пороговое значения вероятности исправного состояния ИП соответственно;  $t$  и  $T_0$  – текущее и заданное время работы ИП соответственно (под  $T_0$  может пониматься гарантийный срок службы, межповерочный интервал и т.д.).

Постановка задачи определения  $P_{MD}$  рассмотрена в [4]:

$$P_{MD} = \max_{\bar{u} \in U^*} P_M(\bar{u}), \quad (2)$$

*Франчук Александр Карлович, доцент, доцент 5 кафедры  
Авиационного радиоэлектронного оборудования.*

*E-mail: afranchuk@yandex.ru*

*Самойлов Юрий Борисович, доцент, начальник 5 кафедры  
Авиационного радиоэлектронного оборудования.*

*E-mail: semsey@mail.ru*

где  $\bar{u}$  – вектор параметров плотности распределения погрешностей датчика, а  $U^*$  – область ограничений.

Решение поставленной задачи при определении межповерочных интервалов для наиболее часто встречающихся случаев распределения погрешностей ИП рассмотрено в [3].

Недостатком рассмотренных и других известных подходов к постановке и решению таких задач, является обеспечение метрологической надежности группы преобразователей, преимущественно ориентированное на однотипные преобразователи с одинаковым уровнем метрологической надежности или на ИП с наихудшей метрологической надежностью. Поскольку такие подходы характеризуются высокими значениями УЗМО, то поиск путей снижения УЗМО для групп из разнотипных ИП, характерных для СК БРЭО, сохраняет свою актуальность.

### ИНТЕРВАЛ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОВЕРКИ

Для большинства различных типов ИП функция  $P_M(\bar{u})$  является гладкой и монотонной. Область определения  $U^*$  выпуклая, а целевая функция имеет в ней один глобальный экстремум. В работе [3] рассмотрено решение задачи (2) методом неопределенных множителей Лагранжа для нормального закона распределения измеряемого параметра и погрешностей ИП. Полученный алгоритм позволяет исследовать зависимость  $P_{MD}$  от требований к вероятности ошибки контроля II рода  $\beta_d$  и точности используемого измерительного датчика. Результаты представлены в виде графиков, иллюстрирующих зависимость уровня от требований к  $\beta_d$  и коэффициента точности ИП ( $K = \Delta_x / \Delta_y$ ) (рис. 1).

Полученное решение позволяет выбирать ИП в составе АСК на этапах проектирования и создания СК БРЭО по заданному требованию к показателю достоверности контроля на основе данных об их точности и метрологической надежности.

Определение допустимого уровня метрологической надежности  $P_{MD}$  позволит принять решение о необходимости периодической поверки ИП и рассчитать МПИ датчиков на этапе эксплуатации СК БРЭО в соответствии с рекомендациями [5].

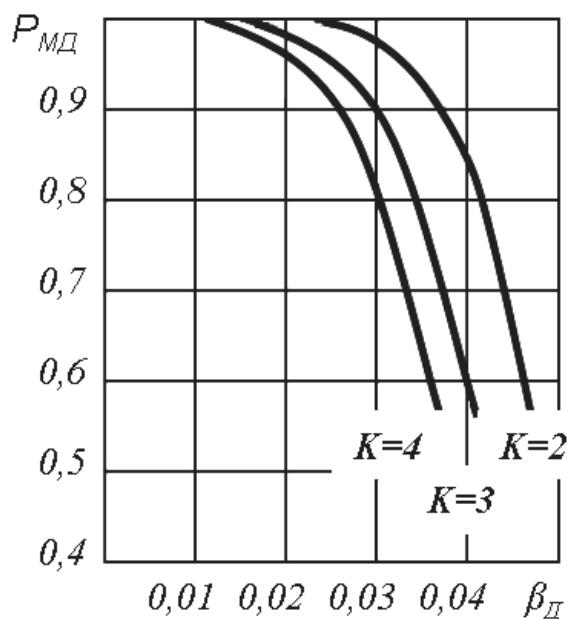


Рис. 1. Графики зависимости метрологической надежности от допустимой вероятности ошибки II рода и коэффициента точности ИП

Задача определения индивидуальных МПИ для совокупности однотипных ИП формулируется следующим образом. Состояние каждого из ИП в любой момент времени  $t$  однозначно определяется значением  $n$ -мерного вектора параметров  $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)\}$ . Для значений этого вектора определена допусковая область  $U_0$ , для которой выполнение условия

$$\vec{u}(t) \in U_0 \quad (3)$$

определяет отсутствие метрологического отказа ИП.

Изменения значений вектора параметров во времени образует случайный процесс  $\vec{u}(t)$ , вероятностные характеристики которого предполагаются известными.

Функция

$$P\{T > t\} = P\{\vec{u}(s) \in U_0, 0 \leq s \leq t\} \quad (4)$$

определяет метрологическую надежность ИП, т.е. вероятность отсутствия метрологических отказов ИП на интервале  $(0, t)$ .

По выбранному критерию эффективности МО определен минимально допустимый уровень  $P_{MD}$  метрологической надежности ИП [3, с.133]. Тогда, если в некоторый момент  $t_i$  проведена поверка, то к метрологической надежности ИП, поверенных и допущенных к эксплуатации, предъявляется основное требование

$$P(t/t_i) \geq P_{MD} \quad t_i \leq t \leq t_{i+1}, \quad (5)$$

где  $P(t/t_i)$  – условная функция метрологической надежности, определяемая при условии, что в момент  $t_i$  была проведена поверка ИП.

Выполнение условия (5) означает, что случайно выбранное из допущенных к эксплуатации ИП не откажет до момента  $t$  с вероятностью  $P(t/t_i)$ .

С использованием (5) задача формулируется как определение такого наибольшего интервала между поверками  $\bar{\theta} = t_{i+1} - t_i$ , при котором условие (3) еще выполняется.

Приведенная постановка задачи связана с определением некоторого среднего МПИ, справедливого для всей совокупности ИП. Его определение базируется на знании функции метрологической надежности ИП.

При наличии этой информации методика определения МПИ заключается в следующем. В момент начала эксплуатации ИП работоспособны и не имеют метрологических отказов. Поэтому вероятность их безотказной работы описывается функцией  $P(t)$  и, следовательно, первый межповерочный интервал  $\bar{\theta}_1$  определяется как решение уравнения:

$$P(t) - P_{MD} = 0. \quad (6)$$

Второй межповерочный для ИП, признанных работоспособными в момент поверки определяется по условной функции надежности:

$$P_1(t) = P(t/t_1) = \frac{P(t)}{P_1(t_1)} \quad t > t_1, \quad (7)$$

$$P_1(t) - P_{MD} = 0. \quad (8)$$

Рекуррентный характер проводимых преобразований позволяет определить  $k$ -й межповерочный интервала для ИП, признанного работоспособным в момент  $k$ -ой поверки  $t_k$ . По условной функции надежности

$$P_k(t) = P(t/t_k) = \frac{P(t)}{P_k(t_k)} \quad t > t_k, \quad (9)$$

как решение уравнения

$$P_k(t) - P_{MD} = 0. \quad (10)$$

Для экспоненциальной функции метрологической надежности задача вырождается, МПИ определяются однократно и будут одинаковыми для всего срока эксплуатации ИП.

## ИНТЕРВАЛ ПОВЕРКИ ГРУППЫ РАЗНОТИПНЫХ ИП

Для разнотипных ИП с различной метрологической надежностью данная методика предполагает определение МПИ по наименее надежному ИП, либо определение усредненного МПИ. В первом случае для некоторых ИП будет преждевременной и сопровождается ростом удельных средних затрат на поверку. Во втором случае для некоторых ИП поверка будет проводиться слишком поздно, а уровень метрологической надежности ИП будет ниже допустимого.

В этом случае целесообразен переход от усредненных характеристик к назначению индивидуальных МПИ для каждого ИП с учетом его фактического состояния на момент поверки. Эта задача может быть решена с использованием предложенной в работе [1] методики индивидуального прогнозирования технического состояния.

Вариант решения задачи для случая, когда метрологическая характеристика ИП представлена в виде одномерного случайного процесса  $u(t)$ , приведен в статье [2]. Результаты проверок позволяют оценить такие характеристики процесса, как его математическое ожидание  $m(i)$ ,  $i = \overline{1, I}$  и корреляционную функцию  $K(i, j)$ ,  $i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ . Далее рассчитываются координатные функции  $\varphi_\nu(i)$ ,  $\nu = \overline{1, I}; i = \overline{1, I}$ .

Для обработки информации о случайном процессе  $x(t)$  могут быть использованы методики, рекомендованные [5]. Накопленные по результатам предшествующих проверок ИП данные о математическом ожидании процесса и его координатных функциях могут быть использованы для решения задач индивидуального прогнозирования состояния конкретного ИП. Как показано в работе [1] наиболее вероятное будущее значение характеристики ИП определяется рекуррентной формулой

$$\begin{aligned} m^{(0)}(i) &= m(i), \quad i = \overline{1, I} \\ m^{(k)}(i) &= m^{(k-1)}(i) + [x^{(k)} + m^{(k-1)}(k)]\varphi_k(i), \quad i = \overline{k, I}. \end{aligned} \quad (12)$$

Результатом является кривая  $m^{(k)}(i)$ ,  $i = \overline{k, I}$ , определяющая наиболее вероятностное поведение поверяемой метрологической характеристики ИП после последней поверки в момент  $t_k$ . Интервал до следующей поверки определяется по моменту пересечения кривой прогнозируемой характеристики  $m^{(k)}(i)$  с границей допуска  $[a, b]$  из уравнений:

$$\begin{aligned} m^{(k)}(i) - a &= 0 \\ m^{(k)}(i) - b &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Интервал между поверками рассчитывается по фактической надежности и становится инди-

видуальным для каждого ИП, что позволяет существенно увеличить вероятность безотказной работы и сократить средние удельные затраты, связанные с поверками.

Для  $n$ -мерного вектора независимых параметров ИП  $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)\}$  задача решается  $n$  – раз для каждого параметра, а в качестве МПИ выбирается наименьший из определенных  $n$  частных МПИ. Точность решения задачи в предположении о независимости параметров в большинстве случаев оказывается вполне удовлетворительной. В тех случаях, когда зависимостью между параметрами пренебречь нельзя, задача должна решаться для векторного случайного процесса  $\vec{u}(t)$  по общей методике, описанной в работе [1, с.184].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность решения задачи определения интервалов поверки однотипных ИП по заданному показателю достоверности контроля заключается в возможности оптимизации выбора ИП для СК БРЭО по критериям точности и надежности. Применение прогностических моделей оценки метрологической надежности ИП позволит определить индивидуальные интервалы поверки для групп разнотипных ИП и оптимизировать УЗМО в процессе эксплуатации СК по мере накопления данных об изменении метрологических характеристик ИП и корректировки интервалов поверки.

Анализ существующих и предложенных моделей МО СК БРЭО на различных этапах их жизненного цикла подтверждает многофакторный характер задачи и перспективность дальнейших исследований по совершенствованию методик оценки и оптимизации эффективности МО. Задача оптимизации УЗМО при создании измерительных модулей для СК БРЭО по критериям точности и надежности ИП может быть решена путем построения модели, где целевой функцией являются показатели УЗМО, а ограничениями - показатели достоверности контроля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрицкий В.Д., Сеница М.А., Чинаев П.А. Автоматизация контроля РЭА. М.: Сов. Радио, 1977. 256 с.
2. Франчук А.К., Самойлов Ю.Б. Математическая модель оценки метрологического обеспечения средств контроля БРЭО // Проблемы и современные направления развития образования в области аэронавигации: материалы Всероссийской педагогической научной конференции (Сызрань, 19 апреля, 2018 г.). Сызрань: Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА» в г. Сызрани, 2018. С. 64-66.
3. Франчук А.К. Определение требований к метрологической надежности измерительных датчиков

- систем контроля бортового РЭО // Современное состояние и перспективы развития авиационных систем и комплексов радионавигации и радиосвязи: Сборник научных статей по материалам II Всероссийской науч.-практ. конф. «Академические Жуковские чтения». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. Т.2. С.133-135.
4. Франчук А.К. Метрологическая оценка измерительных датчиков в устройствах допускового контроля // Научно исследовательские разработки и высокие технологии двойного применения: Материалы 1-й Поволжской научно-технической конференции. Самара: Российская академия наук. Самарский научный центр. Секция прикладных проблем при президиуме российской академии наук, 1995. Часть 2. С.120.
5. РМГ 74-2004. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. М.: Стандартинформ, 2006. 21 с.

**DETERMINATION OF INTERVALS OF INDIVIDUAL AND GROUP TESTING OF MULTI-TYPE MEASURING TRANSFORMERS UNDER NORMAL LAW OF DISTRIBUTION OF THE CONTROLLED PARAMETER AND MEASUREMENT ERROR**

© 2019 A.K. Franchuk, Yu.B. Samoilov

Branch of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force  
“Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin” in Syzran

Ensuring the metrological reliability of a group of various types of measuring transducers (MT) characteristic of onboard electronic equipment control systems (OECS) requires high unit costs for metrological service (UCMS). A method is proposed for determining individual and group intervals of MT verification on the basis of the criterion of the probability of their serviceable state, aimed at minimizing UCMS with the normal distribution of the monitored parameter and measurement error.

*Keywords:* different types of transducers, the probability of the healthy state, the calibration interval.