

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ГРУППОВЫХ МЕР В ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Безуглов Д.А., Поморцев П.М.

Ростовский военный институт ракетных войск
344027, Ростов-на-Дону, 27, РВИ РВ, кафедра метрологии

На современном этапе развития цифровых систем обработки и передачи измерительной информации внимание специалистов, руководителей и организаторов исследований в области цифровых измерительных систем направлено на оптимизацию временных и материальных затрат при эксплуатации средств измерений, входящих в их состав.

Одной из задач, решаемых в таком случае, является обеспечение метрологической автономности цифровых измерительных систем. Одним из подходов решения этой задачи может стать создание из исходных средств измерений системы групповой меры для данной физической величины, которая может быть использована для проведения поверки в период нарушения или прекращения функционирования штатной схемы передачи единицы физической величины [1,2,3]. В свою очередь, в период нормальной эксплуатации создание групповой меры может в значительной степени сократить экономические затраты на поверку отдельных средств измерений, входящих в групповую меру. Это обусловлено тем, что межповерочный интервал единичного средства измерения меньше, нежели межповерочный интервал групповой меры, при этом поверка может производиться через больший промежуток времени.

Приведённое утверждение обосновано тем, что систематические погрешности средств измерений, входящих в состав групповых мер, в своей совокупности рассматриваются как случайные величины [4], с увеличением совокупности которых уменьшается доверительный интервал, характеризующий степень воспроизводимости результатов измерений. С уменьшением доверительного интервала увеличивается доверительная вероятность P_0 , что при априорно заданном значении P_0 позволяет более достоверно хранить единицу физической величины на заданном интервале времени, и, как следствие, приводит к увеличению продолжительности времени хранения данной единицы при $P_0 = const$.

Следовательно, при использовании в составе групповой меры n средств измерений, межповерочный интервал их совокупности может быть большим межповерочного интервала отдельных средств измерений. Таким образом, задача строгой оценки максимально допустимого научно-обоснованного межповерочного интервала к настоящему времени является актуальной.

Цель работы. Разработка на базе математического аппарата марковских процессов методики оценки максимального межповерочного интервала групповой меры в условиях автономной эксплуатации цифровых измерительных систем.

Для решения поставленной задачи привлечем аппарат теории марковских процессов [5,6]. Предположим, что значения погрешности единиц физических величин Δ_i , $i=1, n$ являются марковскими, описываются гауссовской плотностью вероятностью и следующим дифференциальным уравнением

$$\dot{\Delta} = n(t).$$

Задачу по определению межповерочного интервала t_n для СИ, хранящих единицу физической величины в составе групповой меры, будем решать на основе уравнения Фокера-Планка-Колмогорова для случайных процессов. Прямое уравнение Колмогорова для n мер запишем в следующем виде

$$\frac{\partial W(\Delta_1, \dots, \Delta_n, t)}{\partial t} = \frac{K_{2n}}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 W(\Delta_1, \dots, \Delta_n, t)}{\partial \Delta_i^2},$$

где $W(\Delta_1, \dots, \Delta_n, t)$ - плотность вероятности попадания значений погрешности физической величины в доверительный интервал $(-\Delta_0; +\Delta_0)$; K_{2n} - коэффициент диффузии для групповой меры.

Решением этого уравнения является функция [5,6]

$$W(\Delta_1, \dots, \Delta_n, t) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi K_{21(i)} t}} \exp\left(-\frac{(\Delta_i)^2}{2K_{21(i)} t}\right) \right], \quad (1)$$

где $K_{21(i)} = \sigma_i^2$ - коэффициент диффузии i -того средства измерения групповой меры;

Для решения поставленной задачи необходимо найти плотность распределения действительного значения погрешности групповой меры λ , т.е. $W(\lambda, t)$.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}.$$

Выражение для $W(\lambda, t)$ может быть получено в результате интегрирования промежуточной функции

$$W(\tilde{\Delta}_1, \dots, \tilde{\Delta}_n, t) = 2^{\frac{n-2}{n}} |J| \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi K_{21(i)} t}} \exp\left(-\frac{1/2 (n\tilde{\Delta}_i)^2}{2K_{21(i)} t}\right) \right],$$

полученной путем замены переменных в уравнении (1), здесь

$$\tilde{\Delta}_1 = \frac{\Delta_1 + \sum_{i=2}^n (-\Delta_i)}{n}, \quad \tilde{\Delta}_2 = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \sum_{i=3}^n (-\Delta_i)}{n}, \quad \tilde{\Delta}_n = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} = \lambda,$$

J - якобиан преобразования

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial \Delta_1}{\partial \tilde{\Delta}_1} & \frac{\partial \Delta_{1B}}{\partial \tilde{\Delta}_2} & \dots & \frac{\partial \Delta_1}{\partial \tilde{\Delta}_n} \\ \frac{\partial \Delta_2}{\partial \tilde{\Delta}_1} & \frac{\partial \Delta_2}{\partial \tilde{\Delta}_2} & \dots & \frac{\partial \Delta_2}{\partial \tilde{\Delta}_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta_n}{\partial \tilde{\Delta}_1} & \frac{\partial \Delta_n}{\partial \tilde{\Delta}_2} & \dots & \frac{\partial \Delta_n}{\partial \tilde{\Delta}_n} \end{vmatrix}.$$

Общее уравнение для $W(\lambda, t)$ примет вид

$$W(\lambda, t) = \frac{1}{2/n \sqrt{\pi K_{2n} t_n}} \exp\left(-\frac{1/2 (n\lambda)^2}{2K_{2n} t_n}\right). \quad (2)$$

При заданном доверительном интервале $(-\Delta_{\lambda}; +\Delta_{\lambda})$ и доверительной вероятности $P(-\Delta_{\lambda}; +\Delta_{\lambda})$, учитывая выражение (2) и выражение для вероятности попадания значения случайной величины в какой-либо конечный интервал, можно записать

$$P(-\Delta_{\lambda}; +\Delta_{\lambda}) = \int_{-\Delta_{\lambda}}^{\Delta_{\lambda}} \frac{1}{2/n \sqrt{\pi K_{2n} t_n}} \exp\left(-\frac{1/2 (n\lambda)^2}{2K_{2n} t_n}\right) d\lambda. \quad (3)$$

Путем замены переменных, приводим подынтегральное выражение в формуле (3) к виду функции ошибок (функции Лапласа), значение которой сведены в таблицы

$$P(-\Delta_{\lambda}; +\Delta_{\lambda}) = \Phi\left[\left(\sqrt{\frac{n^2}{2K_{2n} t_n}}\right) \cdot \Delta_{\lambda}\right].$$

Общее решение уравнения для определения межповерочного интервала t_n для n средств измерений, входящих в групповую меру, в этом случае примет вид

$$t_n = \frac{n^2 \Delta_{\lambda}^2}{2 \cdot [\Phi^{-1}(P(-\Delta_{\lambda}, \Delta_{\lambda}))]^2 K_{2n}}, \quad (4)$$

где $\Phi^{-1}(P(-\Delta_{\lambda}, \Delta_{\lambda}))$ – функция, обратная $\Phi(P(-\Delta_{\lambda}, \Delta_{\lambda}))$.

Для определения искомого межповерочного интервала оценку коэффициента диффузии для n мер примем в виде неисключенной систематической погрешности согласно ГОСТ 8.207-76 в виде

$$K_{2n} = N \sqrt{\sum_{i=1}^n K_{21(i)}^2}, \quad (5)$$

где N – коэффициент, определяемый в зависимости от принятой доверительной вероятности и числа средств измерений, входящих в групповую меру по ГОСТ 8.207-76.

Таким образом, методика определения межповерочного интервала сводится к последовательности следующих операций.

1. Рассчитываем коэффициент диффузии для каждого средства измерения групповой меры по формуле

$$K_{21(i)} = \frac{\Delta_{\lambda i}^2}{[\Phi^{-1}(P(-\Delta_{\lambda}, \Delta_{\lambda}))]^2 t_{1(i)}}, \quad (6)$$

где Δ_{di} - основная погрешность данного средства измерения; $t_{1(i)}$ - межповерочный интервал данного СИ.

2. Рассчитываем совместный коэффициент диффузии для групповой меры в соответствии с выражением (5).

3. С учетом (4) новый межповерочный интервал для групповой меры, хранящей единицу физической величины с заданным значением допустимой погрешности Δ_δ , определяем по формуле

$$t_n = \frac{n^2 \Delta_\delta^2}{2 \cdot [\Phi^{-1}(P(-\Delta_\delta, \Delta_\delta))]^2 K_{2n}}. \quad (7)$$

Предложенная методика может быть реализована с помощью математического пакета Mathcad 2000, в котором имеется встроенная функция `qnorm`, позволяющая вычислять значения функции, обратной к функции ошибок $\Phi^{-1}(P(-\Delta_\delta, \Delta_\delta))$.

Пример расчета межповерочного интервала групповой меры электрического сопротивления.

Имеется групповая мера, в состав которой входят четыре катушки сопротивления P321 с номинальным значением сопротивления $R_n=10$ Ом и следующими действительными значениями абсолютной погрешности $\Delta_{\delta 1}=1 \cdot 10^{-3}$ Ом, $\Delta_{\delta 2}=1,24 \cdot 10^{-3}$ Ом, $\Delta_{\delta 3}=1,16 \cdot 10^{-3}$ Ом и $\Delta_{\delta 4}=1,34 \cdot 10^{-3}$ Ом соответственно.

Согласно выражению (6) найдем значения коэффициентов диффузии каждой катушки при следующих начальных условиях: $P(-\Delta_\delta, \Delta_\delta) = 0,997$, межповерочный интервал для каждой катушки равен одному году. $K_{21(1)}=1,1 \cdot 10^{-7}$ [Ом²/год]; $K_{21(2)}=1,7 \cdot 10^{-7}$ [Ом²/год]; $K_{21(3)}=1,5 \cdot 10^{-7}$ [Ом²/год]; $K_{21(4)}=2,0 \cdot 10^{-7}$ [Ом²/год].

Из выражения (5) находим значение совместного коэффициента диффузии для четырех катушек: $K_{24}=4,5 \cdot 10^{-7}$ [Ом²/год].

После подстановки K в выражение (7) определим значение межповерочного интервала данной групповой меры: $t_4=1,98$ года.

Аналогичным образом можно вычислить значение межповерочного интервала для любого числа средств измерений цифровой измерительной системы, входящих в групповую меру.

Выводы

Результаты, полученные в ходе решения поставленной задачи с помощью математического аппарата марковских процессов, доказали целесообразность создания и использования в составе цифровых измерительных систем обработки и передачи измерительной информации групповых мер для повышения надежности хранения единицы физической величины в условиях метрологической автономности и уменьшения экономических затрат на поверку отдельных средств измерений системы. При использовании предложенной методики возможно научно-обоснованное увеличение межповерочного интервала средств измерений.

Литература

1. Ермашин С.М. Теоретические основы создания групповых средств измерений// Измерительная техника 2000. № 2. с.11 -15.
2. Ермашин С.М. Контроль метрологических характеристик измерительных средств на основе групповой меры // Измерительная техника 1995. - № 4. с. 7 - 10.
3. Кудряшова Ж.Ф. Способ повышения качества функционирования объекта оснащённого средствами измерений // Измерительная техника 1995. - № 4 с. 5 7.
4. Артемьев Б.Г., Голубев С.Н. Справочное пособие для работников метрологических служб. - М.: Изд-во стандартов, 1990. – 687с.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1966.–460с.
6. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. - М.: Сов. радио, 1973. – 236с.



TECHNIQUE OF A RATING BETWEEN VERIFYING INTERVALS OF GROUP MEASURES IN DIGITAL MEASURING SYSTEMS

Bezuglov D.A., Pomortsev P.M.

The Rostov military institute of rocket armies
344027, Rostov-on-Don, 27, RMI RA, faculty metrology

At the present stage of development of digital systems of processing and transfer of the measuring information of one of urgent tasks is the maintenance metrology of autonomy of digital measuring systems. The decision of this task can become creation from initial means of measurements of system of a group measure for the given physical size, which can be used for realization of check during infringement or termination (discontinuance) of functioning of the regular circuit of transfer of unit of physical size [1,2,3]. In turn, during normal operation the creation of a group measure can substantially reduce economic expenses to check of separate means of measurements which are included in a group measure. It is caused by that between a verifying interval of an individual means of measurement it is less, rather than between a verifying interval of a group measure, thus the check can be made through the greater interval of time [4]. The purpose of work. Development on the basis of the mathematical device Markov of processes of a technique of a rating maximal between a verifying interval of a group measure in conditions of independent operation of digital measuring systems [5,6]. The results received during the decision of a put task with the help of the mathematical device Markov of processes, have proved expediency of creation and use in structure of digital measuring systems of processing and transfer of the measuring information of group measures for increase of reliability of a storage of unit of physical size in conditions metrology of autonomy and reduction of economic expenses by check of separate means of measurements of system. At use of the offered technique the increase between a verifying interval of means of measurements is possible scientifically - is proved.

The literature

1. Ermichin S.M. Theoretical bases of creation of group means of measurements // Measuring engineering 2000. № 2. p.11 -15.
2. Ermichin S.M. The control metrology the characteristics of measuring means on the basis of a group measure // Measuring engineering 1995. - № 4. p. 7 - 10.
3. Kudrjachova G.F. A way of increase of quality of functioning of object equipped by means of measurements // Measuring engineering 1995. - №4 p. 5 7.
4. Artemiev B.G., Golubev S.N. The help grant(manual) for the workers metrology of services. - M.: Publishing house of the standards, 1990. – 687p.
5. Tikhonov A.N., Samarski A.A. The equations of mathematical physics. - M.: Science, 1966.-460p.
6. Kazakov V.A. Introduction in the theory Markov of processes and some radio engineering tasks. - M.: Sov. Radio, 1973. – 236p.