

## МЕТОД ДВУХЭТАПНОГО ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Каревик, Н.А. Марченко  
( представил д.т.н., проф. В.М. Бильчук)

Рассматривается возможность применения метода прогнозирования изменений метрологических характеристик средств измерительной техники, контролирующих параметры радиотехнических систем, который основан на двухэтапном экспертном оценивании числовых значений их точностных параметров.

Принятие решений о правильности контроля основных параметров радиотехнических систем (РТС) и достоверности полученных результатов измерений средствами измерительной техники (СИТ), которые эксплуатируются на ней, возможно только при проведении ряда операций по вычислению оценки ожидаемого результата или определению значений метрологических характеристик (МХ) основных параметров СИТ в процессе их функционирования [1]. К МХ СИТ следует отнести как показатели эффективности, полученные в процессе разработки СИТ, так и числовые номиналы их ТХ, ожидаемого и реального изменения их в процессе эксплуатации при контроле основных параметров РТС.

Задача прогнозирования изменений ТХ СИТ может быть рассмотрена в комплексе, как задача стохастического изменения параметров РТС с одновременным изменением ТХ СИТ [2]. При этом важным условием для решения поставленной задачи является наличие статистики о поведении ТХ основных параметров СИТ и наличие информации об изменении основных диапазонов РТС, которые контролируют эти СИТ. Также необходимо оговориться, что СИТ, применяемые для контроля параметров РТС, выбраны в соответствии с требованиями [3]. Решение поставленной задачи значительно упрощается при наличии базовой системы РТС, но при отсутствии таковой прибегают к математическому моделированию процесса функционирования РТС и СИТ с учетом всех возможных вариантов условий эксплуатации.

Для системы СИТ  $\Leftrightarrow$  РТС представляет интерес взаимосвязь между изменением параметров РТС и стабильностью МХ СИТ. При более высокой стабильности МХ СИТ достоверность контроля параметров РТС повышается и решение задачи сводится к выявлению закономерности поведения параметров РТС. Наличие большой статистики о характере изменений основных па-

раметров СИТ и информация о стабильности их ТХ, позволит придать более строгий характер условиям решения поставленной задачи.

Изменение параметров РТС, особенно при проведении их измерений новыми методами, происходит непредсказуемым образом, которое можно оценить только при оценке базового варианта или проведения математического моделирования разрабатываемого комплекса. Для РТС, которые разрабатываются впервые, или если на них внедряется новый метод измерения основных параметров, отношение основных погрешностей СИТ и характеристик параметров РТС должно быть в соотношении 1:3; 1:5 в зависимости от вида измерений. С накоплением в процессе эксплуатации статистики о поведении исследуемых характеристик требования к точности СИТ могут быть понижены. Применение новых методов проведения измерений также позволит снизить требования к ТХ СИТ, но при этом необходим индивидуальный подход к формированию требований.

Содержание работ по применению предлагаемого метода двухэтапного экспериментального оценивания значений основных характеристик РТС при помощи СИТ высшей точности состоит в следующем.

Пусть некоторый параметр  $q(t)$  характеризует работу системы в любой момент времени, имеет характеристику начального состояния  $q_0$  и определяет работоспособность РТС. Для оценки изменения состояния параметра  $q(t)$  необходимо организовать проведение экспертизы Э1 с проведением М этапов с числом измерений N. Схема проведения экспертизы Э1 предполагает следующее: независимость проведения измерений экспертами различными СИТ в измерительном комплексе; независимость работы СИТ по оценке основных параметров РТС, для измерения которых они предназначены; применение единой калибровочной меры для проведения мероприятий по метрологическому обеспечению (МЛО) СИТ.

В проводимых измерениях каждое j-е измерение из серии  $j = \overline{1, N}$  определяет значения оцениваемого параметра и на основании полученной информации характеризует работоспособность РТС в целом.

При обработке результатов измерений (РИ), полученных при проведении экспертизы Э1, множество  $\{q_j\}_N$  представляется, как дискретное множество возможных значений случайной величины q. По результатам проведенных измерений строится функция распределений  $F^*(q)$  и определяются квантили для каждой группы значений числа экспериментов (рис.1).

При этом  $q_\alpha = F^{-1}(\alpha)$ ;  $q_{1-\alpha} = F^{-1}(1-\alpha)$ , где  $F^{-1}(\alpha)$  и  $F^{-1}(1-\alpha)$  – обратные функции к  $F^*(q)$ . Необходимо оговорить условия определения параметра  $\{q_j\}_N$  при гарантии  $\alpha$ , которые соответствуют тому, что  $q \notin \{q_{\min} < q < q_{1-\alpha}\} \cup \{q_\alpha < q < q_{\max}\}$ , где  $q_{\min} = \min_j \{q_j\}$ ;  $q_{\max} = \max_j \{q_j\}$  и практически достоверно, что  $q_{1-\alpha} \leq q \leq q_\alpha$  (рис.1).

На втором этапе экспериментального оценивания значения контролируемого параметра характеристики  $\mathbf{q}$  полученные результаты рассматриваются, как результаты выборки экспертизы Э2. Для Э2 проводится также N измерений СИГ. Схема проведения Э2 соответствует Э1.

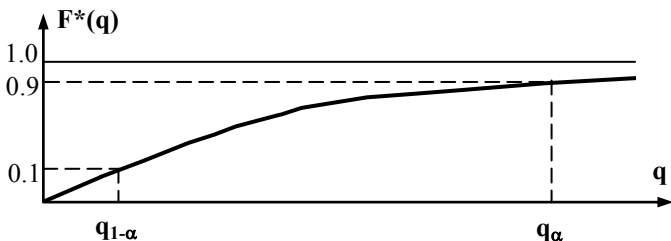


Рис.1. Статистическая функция распределения РИ параметра РТС

Интервал  $[q_{1-\alpha}, q_{\alpha}]$ , в котором находится значение оцениваемого параметра (характеристики системы), разбивается на  $n$  произвольных не пересекающихся интервалов, т.е., если  $\tilde{q} \in [q_{1-\alpha}, q_{\alpha}]$  и  $\tilde{q}^{(k)}$ , то

$$\bigcup_{k=1}^n \tilde{q}^{(k)} = \tilde{q}; \quad \tilde{q}^{(k)} \cup \tilde{q}^{(l)} = \emptyset.$$

Эксперты проводят попарное сравнение измерений параметра  $q_k$ . Результаты экспертизы 1-го эксперта представляются матрицей  $A_1 = \left\| \tilde{q}_{ij}^{(KL)} \right\|$  в которой у единичных элементов  $\tilde{q}^{(k)}$  предпочтительнее  $\tilde{q}^{(l)}$ , элементы равны “-1”, если  $\tilde{q}^{(l)}$  предпочтительнее  $\tilde{q}^{(k)}$  и равны нулю при сравнении с самим собой [3]. Обработка результатов экспертизы основана на введении расстояния между множествами

$$d(A_1, A_r) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left| \tilde{q}_{ij}^{(1)} - \tilde{q}_{ij}^{(r)} \right|, \quad (1)$$

удовлетворяющего аксиомам: 1)  $d(A_1, A_r) \geq 0$ ;

2)  $d(A_1, A_r) = 0$ , если ранжировки (матрицы)  $A_1$  и  $A_r$  совпадают;

3)  $d(A_1, A_r) = d(A_r, A_1)$ ;

4)  $d(A_1, A_r) + d(A_r, A_t) \geq d(A_1, A_t)$ ;

5) максимальное расстояние между ранжировками равно 1.

Пусть  $\Omega$  - множество ранжировок, которые определены экспертами. При обработке экспертизы применяется та ранжировка, для которой сумма расстояний до всех остальных принадлежащих  $\Omega$  будет минимальной, т.е.

$$A_S = \text{Arg min}_{A \in \Omega} \sum_{j=1}^N d(A, A_j). \quad (2)$$

В качестве иллюстрации работоспособности предлагаемого метода рассмотрим пример по оценке показателя точности определения действительного значения параметра  $q$  при влиянии на него ТХ СИТ. При этом величина случайной составляющей ошибки СИТ нормирована. Зададим исходные данные:  $q$  - показатель точности определения некоторого параметра РТС;  $Z_q$  - случайная величина ошибки определения  $q$ ;  $Z_q^{\text{per}}$  - регламентирующая величина ошибки определения  $q$ ;  $P(Z_q < Z_q^{\text{per}})$  - показатель точности определения  $q$ .

Пусть результаты обработки Э1 состоят в том, что  $(P_{1-\alpha}, P_{\alpha}) = (0,6; 0,9)$  при значении  $\alpha = 0,99$ . Интервал значений, в котором находятся возможные номиналы ошибок, разобьем на следующие:  $p^1 = (0,6 - 0,7)$ ;  $p^2 = (0,71 - 0,8)$ ;  $p^3 = (0,81 - 0,9)$ . При проведении Э2 указаны три ранжировки и соответствующие им матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

$(p^1, p^2, p^3) \qquad (p^2, p^1, p^3) \qquad (p^1, p^3, p^2)$

Из (1) получим следующие значения расстояний между матрицами:

$$d(A,B)=2; \quad d(A,C)=2; \quad d(B,A)=2; \quad d(B,C)=4; \quad d(C,A)=2; \quad d(C,B)=4.$$

Тогда более предпочтительными интервалами для оценки точностных показателей СИТ следует считать интервалы  $p^1$  и  $p^2$  [3]. Показатель точности при оценке по серединам интервалов ожидается от 0,85 до 0,95.

Таким образом, видно, что применив метод двухэтапного экспертного оценивания значений ТХ СИТ, которые применены для контроля основных параметров РТС мы с высокой достоверностью можем определить качество контроля выходных характеристик РТС, а также максимально учесть возможные отклонения в процессе ее функционирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А.В., Яковлев А.А. Анализ и синтез радиотехнических комплексов. – М.: Радио и связь, 1984. – 247 с.
2. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. – М.: Радио и связь, 1985. – 344 с.
3. Бильчук В.М., Черепков С.Т. Метод двухэтапного экспертного оценивания показателей функционирования перспективных радиосистем // Системи обробки інформації. – Харків : НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вип. 2(8). – С. 3 - 5.

*Поступила в редколлегию 25.09.2000*