

УДК 681.3

М.Ю. ЯКОВЛЕВ

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина***ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ АВИАЦИОННЫХ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В статье рассмотрен способ повышения метрологической надежности средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем, основанный на метрологическом резервировании, исследованы особенности и предложены основные пути его реализации.

**способ повышения, метрологическая надежность, средства измерительной техники, авиационные радиотехнические системы, метрологическое резервирование**

**Введение**

**Постановка проблемы.** Надежность средств измерительной техники (СИТ) существенно влияет на надежность авиационных радиотехнических систем (АРТС), для определения технического состояния которых они используются [1, 2]. Поэтому проблема повышения надежности СИТ АРТС является актуальной.

**Анализ литературы.** Большинство известных научных работ, посвященных вопросам повышения метрологической надежности СИТ, направлено на решение специфических задач в конкретных предметных областях [3 – 5]. Общим недостатком перечисленных работ является то, что они не учитывают особенностей повышения метрологической надежности СИТ АРТС.

**Цель статьи.** Разработать способ повышения метрологической надежности СИТ АРТС, исследовать особенности и выявить основные пути его реализации.

**Изложение основного материала**

Метрологическое резервирование заключается в увеличении количества СИТ АРТС или их отдельных блоков, выполняющих общую функцию, по сравнению с их минимально необходимым числом,

для повышения их стабильности и метрологической надежности. Метрологическое резервирование широко применяется, например, в магазинах электрического сопротивления и других многозначных мерах, ступенчатых преобразователях напряжений и токов, кварцевых преобразователях частоты. Типичным примером блочного метрологического резервирования являются групповые эталоны, состоящие из совокупности одиночных мер одного типа. В качестве действительного значения группового эталона принимается среднее действительных значений всех мер группы. Это повышает стабильность группового эталона, поскольку при усреднении случайные колебания скоростей дрейфа одиночных мер частично компенсируются. Термин «метрологическое резервирование» не совсем точно отражает суть этого способа, так как СИТ АРТС из состава метрологически резервированной группы не заменяют, а взаимно дополняют друг друга. Тем не менее, он вводится по аналогии с термином классической надежности [6] из-за общности их назначения и конструктивного исполнения: в обоих случаях вводятся дополнительные элементы или блоки, избыточные для выполнения заданных функций, с целью повышения надежности. Однако между этими способами имеются и принципиальные отличия. Прежде всего, они направлены на предотвращение

вредных последствий отказов разных видов – функциональных и параметрических. Функциональный отказ СИТ АРТС из состава метрологического резерва при последовательном соединении приведет к функциональному отказу всей группы СИТ АРТС, а при их параллельном соединении – к существенно изменению метрологической характеристики группы СИТ АРТС, то есть к ее метрологическому отказу. Если средняя наработка до функционального отказа одного СИТ АРТС резервированной группы равна  $T_{cp}$ , то средняя наработка до функционального отказа одного из  $N$  СИТ АРТС, составляющих

метрологический резерв, будет равна  $\frac{T_{cp}}{N}$ , или в  $N$

раз меньше. Следовательно, метрологическое резервирование ухудшает функциональную надежность. Аналогично, метрологический отказ элемента функционального резерва, являясь скрытым, не будет зафиксирован и устранен. Автоматическая нейтрализация последствий этого отказа другими элементами резерва происходит только тогда, когда функциональный отказ является нагруженным (основной и резервные элементы группы работают в одинаковом режиме). Но это исключение, так как при этой схеме резервирования функциональный резерв одновременно является и метрологическим резервом. Ненагруженное функциональное резервирование (режимы работы элементов, находящихся в резерве, легче, чем у основного элемента), являясь более эффективным средством повышения функциональной надежности, в то же время, по крайней мере, не повышает метрологическую надежность. Таким образом, положительный эффект метрологического резервирования достигается за счет ухудшения функциональной надежности, и наоборот. Поэтому при обосновании параметров резервирования следует учитывать последствия для обоих видов отказов.

Метрологическое резервирование, как и функциональное резервирование, может осуществляться на уровне элементов, блоков и СИТ АРТС в целом.

Но в отличие от функционального резервирования, которое может быть нагруженным и ненагруженным, метрологический резерв всегда является нагруженным.

Еще одной особенностью метрологического резервирования является то, что оно может осуществляться как путем параллельного, так и путем последовательного или параллельно-последовательного соединений СИТ АРТС. Действительно, при последовательном соединении  $N$  одинаковых СИТ АРТС номинальное значение параметра такой метрологически резервированной цепи определяется, как

$$k_N = Nk, \quad (1)$$

где  $k$  – номинальное значение параметра одного СИТ АРТС.

Поэтому можно записать выражения для абсолютной  $\Delta k_N$  и относительной  $\delta k_N$  погрешностей номинального значения параметра метрологически резервированной цепи СИТ АРТС:

$$\Delta k_N = N\Delta k; \quad (2)$$

$$\delta k_N = \frac{\Delta k_N}{k_N} = N \frac{\Delta k}{Nk} = N \frac{1}{N} \delta k. \quad (3)$$

Следовательно, при последовательном соединении  $N$  СИТ АРТС коэффициент влияния одного СИТ АРТС описывается выражением

$$k_{\text{вл}} = \frac{1}{N}. \quad (4)$$

При параллельном соединении  $N_{\text{пл}}$  последовательных метрологически резервированных цепей, состоящих из одинаковых СИТ АРТС, номинальное значение параметра  $j$ -й цепи составит

$$k_j = n_j k, \quad (5)$$

где  $n_j$  – число СИТ АРТС в  $j$ -й цепи.

Так как для параллельной цепи, состоящей из элементов, имеющих разные номинальные значения, справедливо следующее уравнение:

$$\frac{1}{k_N} = \sum_{j=1}^M \frac{1}{k_j}, \quad (6)$$

то в этом случае можно записать, что

$$k_N = \frac{k}{\sum_{j=1}^{N_{ny}} \frac{1}{n_j}}. \quad (7)$$

С учетом соотношения (7) выражения (2) и (3) примут следующий вид:

$$\Delta k_N = \frac{\Delta k}{\sum_{j=1}^{N_{ny}} \frac{1}{n_j}}; \quad (8)$$

$$\delta k_N = \frac{\Delta k_N}{k_N} = \frac{\Delta k}{k} = N \frac{1}{N} \delta k. \quad (9)$$

Очевидно, что

$$N = \sum_{j=1}^{N_{ny}} n_j. \quad (10)$$

Таким образом, и в этом случае справедлива формула (4).

Тот факт, что коэффициенты влияния СИТ АРТС резервированной группы не зависят от типа соединения СИТ АРТС, показывает, что метрологическое резервирование может быть осуществлено различными способами. Поскольку на метрологическую надежность не влияет тип соединения СИТ АРТС в резервированной группе, то порядок соединения СИТ АРТС может выбираться из других соображений (например, исходя из предпочтительных номинальных значений СИТ АРТС, мощности потребляемого тока, массы, габаритных размеров и т.д.)

Рассмотрим частный случай метрологического резервирования  $N_{om}$  однотипными СИТ АРТС.

При взаимной независимости процессов дрейфа метрологических характеристик метрологически резервированной группы СИТ АРТС будут справедливыми следующие положения: во-первых, при увеличении кратности резервирования интенсивность дрейфа метрологических характеристик СИТ АРТС стремится к линейной форме, соответствующей нормальному закону распределения нестабильности метрологических характеристик СИТ АРТС. Во-вторых, метрологическое резервирование не изме-

няет основные параметры дрейфа метрологически резервированной группы СИТ АРТС.

Эффект метрологического резервирования обусловлен снижением разброса текущих скоростей дрейфа параметров СИТ АРТС.

При применении метрологического резервирования следует учитывать возможность корреляции процессов дрейфа элементов. Например, если для резервирования применяются элементы одного типа, одинакового возраста, изготовленные на одном предприятии, то вполне вероятно корреляционная зависимость скоростей дрейфа их параметров. Такая зависимость существенно снижает эффективность резервирования. Действительно, дисперсия нестабильности резервированной группы из  $N_{om}$  одинаковых элементов равна:

$$\sigma_{N_{om}}^2(t) = \sigma^2(t) \left[ r(t) + \frac{1-r(t)}{N_{om}} \right], \quad (11)$$

где  $r(t)$  – коэффициент корреляции нестабильностей метрологически резервированной группы СИТ АРТС за время  $t$ .

Формула (11) показывает, что при любой сколь угодно большой кратности резервирования среднее квадратическое отклонение (СКО) нестабильности метрологически резервированной группы СИТ АРТС не может быть меньше величины  $\sigma(t)\sqrt{r(t)}$ . Например, при  $r(t) = 0,25$  СКО нестабильности метрологически резервированной группы СИТ АРТС нельзя уменьшить за счет резервирования более чем в 2 раза, а при  $r(t) = 0,5$  – не более чем в 1,5 раза, а при  $r(t) = 0,8$  – только на 10%. Это обстоятельство вызывает сомнения в целесообразности существующей практики создания групповых эталонов из большого числа (20 и более) одинаковых мер. Пусть, например, групповой эталон состоит из 20 мер. При этом считается, что СКО нестабильности этого эталона составит

$$\sigma_{20}(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{20}} \approx 0,22 \sigma(t). \quad (12)$$

Предположим, что коэффициент корреляции равен всего лишь 0,1, такая корреляция практически незаметна на общем фоне процесса. Но и в этом случае минимальное СКО нестабильности, которое можно достичь резервированием, составит  $0,316 \sigma(t)$ . При  $N_{om} = 20$  СКО нестабильности будет равна  $0,38 \sigma(t)$ . Если же сократить в 2 раза число мер эталона, то

$$\sigma_{10}(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{10}} \approx 0,43 \sigma(t), \quad (13)$$

т.е. почти столько же, сколько и при  $N_{om} = 20$ .

Очевидно, что чем слабее корреляционная связь между траекториями дрейфа параметров элементов, тем меньше СКО нестабильности параметра резервированной группы и точнее прогноз его значений. Поэтому следует всегда стремиться к уменьшению коэффициента корреляции. Для этого необходимо комплектовать метрологический резерв СИТ АРТС разного типа. Если это невозможно, то подбирать в него СИТ АРТС из разных партий поставки. Также эффективной мерой снижения корреляционных связей может быть комплектация группы из СИТ АРТС разного возраста. Групповые эталоны переменного состава имеют более слабые корреляционные связи СИТ АРТС.

### Выводы

Таким образом, в статье рассмотрен способ повышения метрологической надежности СИТ АРТС, основанный на метрологическом резервировании. Исследованы особенности и предложены пути его реализации, а также проанализированы отличия метрологического резервирования от обычного резервирования, широко используемого в классической теории надежности.

На основе предложенного способа повышения метрологической надежности СИТ АРТС, получен подход к оценке показателей метрологической надежности резервированной группы СИТ АРТС, состоящей из однотипных СИТ АРТС, в зависимости

от кратности резервирования, характеристик нестабильности СИТ АРТС, а также от взаимной корреляции процессов дрейфа СИТ АРТС из состава резервированной группы. Показана нецелесообразность комплектования групповых эталонов большим числом одиночных мер.

### Литература

1. Прибылев Ю.Б., Шамаев Ю.П., Яковлев М.Ю. Повышение метрологической надежности средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем // Матеріали II Наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил (15-16 лютого, 2006 р.). – Х.: ХУ ПС, 2006. – С. 93.
2. Yakovlev M.Y., Volobuyev A.P. Evaluation of the metrological reliability of the means of measuring techniques of the aircraft radio systems // Proceedings of the International conference “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science” (February 28 – March 4, 2006, Lviv – Slavske). – P. 591-592.
3. Мавлянкариев Б.А. Метрологическая надежность средств измерений // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1987. – № 9. – С. 9-10.
4. Рыбин М.А. Разработка методики оптимизации процессов обеспечения метрологической надежности средств технического диагностирования автомобилей: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – Владимир, 2000. – 245 с.
5. Запускалов В.Г., Маслов А.И. Метрологическая и механическая надежность средств неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика. – 2003. – № 10. – С. 19-22.
6. Гаскаров Д.В., Галинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М: Сов. радио, 1974. – 223 с.

*Поступила в редакцию 5.05.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр. Г.В. Худов, Харьковский университет Воздушных Сил, Харьков.