

УДК 621.396

Л.И. Белова

## Подход к определению срока сохраняемости электрорадиоизделий бортовой аппаратуры авиационной техники применительно к установленной модели внешних воздействующих факторов

Рассматриваются проблемы, возникающие при применении электрорадиоизделий (ЭРИ) бортовой аппаратуры авиационной техники, которые при эксплуатации основную часть времени находятся в режиме ожидания (хранения) в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, и возможные пути решения этих проблем. Предложена методика оценки показателей сохраняемости, которая основана на определении характеристик ЭРИ для режима ожидания (хранения). Методика реализована на математических моделях с использованием значений энергии активации физико-химических процессов деградации ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники. Применение для решения рассматриваемых проблем математических моделей может позволить наиболее эффективным образом прогнозировать надежность изделий. Приведены расчёты и сравнительный анализ значений минимального срока сохраняемости при повышенной температуре для нескольких групп ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники.

**Ключевые слова:** бортовая аппаратура авиационной техники, надежность, показатели сохраняемости, электрорадиоизделия.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2023-26-3-49-52

Одним из важнейших требований, предъявляемых к бортовой аппаратуре авиационной техники, является надежность. Сегодня ни одно сложное изделие не проектируется без анализа его будущей надежности.

Основы надежности закладываются при разработке и производстве бортовой аппаратуры авиационной техники [1, 2].

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в определенных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования [3].

Надежность бортовой аппаратуры авиационной техники в общем случае является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения авиационной техники и условий ее применения может включать безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость.

Следует заметить, что основным фактором, который учитывается при разработке бортовой аппаратуры авиационной техники, является уровень качества комплектующей элементной базы.

В бортовой аппаратуре авиационной техники применяются ЭРИ высших уровней качества [4]:

– ЭРИ отечественного производства с уровнями качества «ОС», «ОСД», «ОСМ», «М» и «Н», а при их отсутствии – ЭРИ уровня качества «ВП» в соответствии с положением об электрорадиоизделиях с индексом «ОС»;

– ЭРИ иностранного производства (ЭРИ ИП), соответствующие требованиям Европейского космического агентства или военных стандартов США для применения в космической технике по MIL-PRF-38535 (для интегральных микросхем), MIL PRF-38534 (для

гибридных микросхем), MIL-PRF-19500 (для полупроводниковых приборов).

Примененные ЭРИ должны соответствовать определенным условиям: иметь необходимый запас по сроку сохраняемости, исходя из гарантийного срока эксплуатации бортовой аппаратуры авиационной техники и технологического цикла ее изготовления.

Нередко возникают значительные трудности при расчете надежности бортовой аппаратуры авиационной техники (для различных моделей внешних воздействующих факторов (ВВФ)), которая при эксплуатации основную часть времени находится в режиме ожидания (хранения) в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности. Как известно, для такой бортовой аппаратуры авиационной техники следует рассчитывать интенсивность отказов ЭРИ по моделям, которые отличаются от моделей эксплуатационной интенсивности отказов [5].

Что же касается ЭРИ ИП (или их отечественных аналогов), то для них такие модели в нормативно-технической документации зачастую не приводятся. По аналогии с ЭРИ отечественного производства, сроки сохраняемости и годности которых отображены в технических условиях, интересующие данные можно найти в datasheet производителя. Однако не все компании и не на все ЭРИ указывают эти данные.

Для решения этой проблемы предлагается методика расчета срока сохраняемости ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники применительно к установленной модели ВВФ.

**Методика расчета срока сохраняемости ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники для различных моделей внешних воздействующих факторов**

Минимальный срок сохраняемости  $T_{cx.min}$  задается для условий длительного хранения изделий военной техники в заводской упаковке (укладке) или

в законсервированном виде (с одновременным указанием условий хранения), а также периодичности проверок технического состояния и переконсервации [6].

Расчетная формула минимального срока сохраняемости по экспоненциальному закону определяется [6, 7]

$$T_{\text{сх.}\gamma} = -(\ln \gamma / \lambda_{\text{э.х}}), \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{э.х}}$  – интенсивность отказов ЭРИ при хранении.

Также в соответствии с [7–9] минимальный срок сохраняемости  $T_{\text{сх.}\min}$ , который является аналогом назначенного срока  $T_{\text{сл.}\min}$  и составляет некоторую фиксированную часть гамма-процентного срока сохраняемости, определяется по формуле

$$T_{\text{сл.}\min} = T_{\text{сх.}\min} = d \cdot T_{\text{сх.}\gamma}, \quad (2)$$

где  $d < 1$  – заданное фиксированное число;  $T_{\text{сх.}\gamma}$  – гамма-процентный срок сохраняемости при некотором заданном значении  $\gamma$  (обычно  $\gamma \geq 90\%$  – для ЭРИ с ограниченным ресурсом и  $\gamma = 95\%$  – для ЭРИ с относительно большим ресурсом).

В соответствии со справочником [10], интенсивность отказов  $\lambda_{\text{э.х}}$  групп ЭРИ в режиме ожидания (хранения) может быть представлена следующей математической моделью:

$$\lambda_{\text{э.х}} = \lambda_{\text{б.с.г.х}} \cdot K_{t,x} \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{б.с.г.х}}$  – базовая интенсивность отказов ЭРИ при хранении в нормальных условиях;  $K_{t,x}$  – коэффициент, зависящий от фактической температуры хранения;  $K_i$  – коэффициент модели, не зависящий от температуры;  $n$  – количество коэффициентов.

Для большинства ЭРИ коэффициент  $K_{t,x}$  может быть вычислен по формуле [3, 8]

$$K_{t,x} = A \cdot e^{-\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{298} \right)}, \quad (4)$$

где  $E_a$  – энергия активации физико-химических процессов деградации ЭРИ, эВ;  $k$  – постоянная Больцмана (равная  $8,615 \cdot 10^{-5}$  эВ/°C);  $t$  – фактическая температура хранения, °C;  $A$  – постоянный коэффициент, не зависящий от температуры.

Приведенная модель используется в диапазоне температур от минимальной температуры хранения

до максимально допустимой по нормативно-технической документации для каждого типа изделий.

В результате преобразования, подставив (1), (3), (4) в формулу (2), получается следующее выражение:

$$T_{\text{сл.}\min} = T_{\text{сх.}\min} = -d \cdot \frac{\ln \gamma}{\lambda_{\text{б.с.г.х}}} \prod_{i=1}^n K_i \cdot A \cdot t^{-\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{298} \right)}. \quad (5)$$

Составляется отношение срока службы (срока сохраняемости), вычисленное при двух значениях температуры  $t_1$  и  $t_2$ .

Поскольку  $d$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda_{\text{б.с.г.х}}$ ,  $K_i$ ,  $A$  не зависят от температуры, получается формула расчёта, которая после простых преобразований будет иметь следующий вид:

$$\frac{T_{\text{сл.}\min}(t_1)}{T_{\text{сл.}\min}(t_2)} = \frac{T_{\text{сх.}\min}(t_1)}{T_{\text{сх.}\min}(t_2)} = e^{-\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{t_1+273} \right)}. \quad (6)$$

Пусть известно значение  $T_{\text{сл.}\min} = T_{\text{сх.}\min}$  при температуре  $t_1$ , в соответствии с (6) при температуре  $t_2$  минимальный срок службы (минимальный срок сохраняемости) будет равен

$$T_{\text{сл.}\min}(t_2) = T_{\text{сх.}\min}(t_2) = \frac{T_{\text{сл.}\min}(t_1)}{e^{-\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{t_1+273} \right)}}. \quad (7)$$

Используя соотношение (7), можно рассчитать минимальный срок службы (минимальный срок сохраняемости) для ЭРИ применительно к установленной моделью внешних воздействующих факторов ВВФ.

### Результаты расчета сроков сохраняемости ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники

Для наиболее используемых в бортовой аппаратуре авиационной техники групп ЭРИ был проведен согласно полученному выражению (7) расчет минимального срока сохраняемости для вертолетов, дозвуковых самолетов, сверхзвуковых самолетов (табл. 1).

За известную величину  $T_{\text{сл.}\min}(t_1)$  был взят из технических условий усредненный срок сохраняемости ЭРИ при диапазоне изменения значения температуры окружающей среды от –60 до +85 °C.

Результаты расчёта полученного минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) в соответствии с заданными значениями энергии активации  $E_a$  для групп ЭРИ приведены в табл. 2.

Таблица 1

Модель ВВФ, воздействующих на ЭРИ

| Наименование ВВФ                                       | Наименование характеристик ВВФ, °C | Значение воздействующих факторов для групп аппаратуры |                      |                         |
|--|------------------------------------|---|----------------------|-------------------------|
|  |                                    | вертолетов  | дозвуковых самолетов | сверхзвуковых самолетов |
| 1. Повышенная температура среды                        | Рабочая                            | 55  | 55                   | 55                      |
|  | Предельная                         | 70  | 70                   | 80                      |
| 2. Пониженная температура среды                        | Рабочая                            | –60   | –60                  | –60                     |
|  | Предельная (без конденсации влаги) | –65   | –65                  | –65                     |
| 3. Изменение температуры среды (без конденсации влаги) | Диапазон                           | От –65 до 70  | От –65 до 70         | От –65 до 80            |

**Значения минимального срока службы (минимального срока сохраняемости)  
для групп ЭРИ при повышенной температуре среды**

| № п/п  | Группы ЭРИ   | $E_a$ , эВ<br>[10] | $T_{сл}$ ( $T_{сх}$ ), лет для модели ВВФ, выбранной для расчета | $T_{сл}$ ( $T_{сх}$ ), лет для модели ВВФ, установленной для соответствующей группы аппаратуры |                         |
|--|--|--------------------|--|--|-------------------------|
|  |  |                    |  | вертолетов, дозвуковых самолетов   | сверхзвуковых самолетов |
| <b>Интегральные микросхемы</b>                   |  |                    |  |  |                         |
| 1  | Цифровые МОП-технологии  | 0,35               | 20   | 32,8   | 23,5                    |
| 2  | Аналоговые   | 0,65               |  | 50   | 27                      |
| 3  | Микросхемы памяти  | 0,60               |  | 46,8   | 26,3                    |
| 4  | GaAs СВЧ   | 1,50               |  | Более 100  | 40                      |
| <b>Полупроводниковые приборы</b>                 |  |                    |  |  |                         |
| 5  | Диоды низкочастотные <i>все, кроме регуляторов тока и стабилизаторов</i>     | 0,27               | 20   | 29   | 22,5                    |
| 6  | Диоды низкочастотные <i>регуляторы тока, стабилизаторы</i>                   | 0,17               |  | 25,5   | 21,6                    |
| 7  | Транзисторы биполярные низкочастотные  | 0,18               |  | 25,8   | 21,7                    |
| 8  | Транзисторы полевые низкочастотные   | 0,17               |  | 25,5   | 21,6                    |
| <b>Оптоэлектронные полупроводниковые приборы</b> |  |                    |  |  |                         |
| 9  | Все группы оптоэлектронных полупроводниковых приборов, кроме лазерных диодов | 1,50               | 20   | Более 100  | 40                      |
| <b>Резисторы</b>                                 |  |                    |  |  |                         |
| 10   | Постоянные пленочные, в т.ч. поверхностного монтажа                          | 0,08               | 20   | 22   | 20,7                    |
| 11   | Переменные проволочные <i>все, кроме полупрецизионных</i>                    | 0,08               | 20   | 22   | 20,7                    |
| 12   | Переменные проволочные <i>полупрецизионные</i>                               | 0,20               | 20   | 27   | 22                      |
| <b>Конденсаторы</b>                              |  |                    |  |  |                         |
| 13   | Керамические постоянной ёмкости, в т.ч. поверхностного монтажа               | 0,35               | 20   | 33   | 23,5                    |
| 14   | Оксидно-полупроводниковые, в т.ч. поверхностного монтажа                     | 0,15               |  | 24,7   | 21,4                    |
| 15   | Оксидно-электролитические алюминиевые  | 0,35               |  | 33   | 23,5                    |
| <b>Соединители</b>                               |  |                    |  |  |                         |
| 16   | Соединители  | 0,14               | 20   | 24,3   | 21,3                    |

Результаты расчета показывают, что все группы ЭРИ, приведенные в табл. 2, имеют срок сохраняемости не менее 20 лет.

Таким образом, используя соотношение (7), можно рассчитать минимальный срок службы (минимальный срок сохраняемости) для соответствующих групп ЭРИ применительно к установленной модели ВВФ.

### Заключение

Предложенная методика оценки показателей сохраняемости основана на определении характеристик ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники для режима ожидания (хранения) и позволяет использовать обобщенную математическую модель.

На основе предложенной методики получены значения минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) для различных групп ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники применительно к установленной модели ВВФ.

Представленный подход к расчету срока сохраняемости может быть реализован применительно к разным группам ЭРИ бортовой аппаратуры авиационной техники и к нескольким моделям ВВФ.

### Литература

1. Инженерно-авиационная служба и эксплуатация летательных аппаратов. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1971. – 450 с.
2. Куатов Б.Ж. Повышение надежности авиационной техники в процессе эксплуатации / Б.Ж. Куатов, А.З. Байсанов, Р.Р. Надрышин // Труды междунар. симпозиума «Надежность и качество». – 2016. – Т. 2. – С. 250–253.
3. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян. – Минск: БГУИР, 2010. – 62 с.
4. Иевлев В.И. Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения: учеб. пособие / В.И. Иевлев, Г.А. Филиппов. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 102 с.

5. Захаров О.Г. Оценка показателей сохраняемости цифровых устройств релейной защиты // Современные технологии автоматизации. – 2013. – № 2. – С. 90–96.

6. ГОСТ РВ 27.3.01–2005. Надежность военной техники. Состав и общие правила задания требований к надежности – М.: Стандартинформ, 2005. – 34 с.

7. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М.: Госстандарт России, 2016. – 23 с.

8. ГОСТ В 20.39.403–81. Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования по надежности. – М.: Госстандарт России, 1981. – 45 с.

9. Сулейманова Л.И. Расчетное определение срока сохраняемости электрорадиоизделий иностранного производства / Л.И. Сулейманова, Т.И. Давыдова // Автоматизация процессов управления. – 2020. – № 4 (62). – С. 33–37.

10. Надежность электрорадиоизделий иностранного производства: справ. – М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. – 641 с.

#### Белова Лилия Ирфановна

Канд. техн. наук, вед. инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс»  
Солнечная ул., 20, г. Ульяновск, Россия, 432022  
Тел.: +7-902-005-71-52  
Эл. почта: suleimanova.lili@mail.ru

Belova L.I.

#### Approach to the assessment of the storage ability period of electronic components in airborne equipment as applied to the specified model of external impact factors

The article deals with challenges arising from the application of electronic components in airborne electronic hardware, which are in the standby / storage mode and de-energized most of the time when not in use, as well they are regularly checked for the proper functioning. The article also discusses some possible solutions to these problems. A technique for assessing storage ability indicators is proposed based on the electronic component properties characterization for the standby / storage mode. The technique is implemented on mathematical models using the activation energy values of the physical-chemical degradation process parameters of the electronic components in airborne equipment. The application of mathematical models addressed to solve the denoted problems can allow author to predict the dependability of electronic products. Some calculations and a comparative analysis of values of all parameters characterized the shortest storage ability period at higher temperature are presented for several groups of electronic components in airborne equipment.

**Keywords:** airborne electronic hardware, dependability, storage ability indicators, electronic components.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2023-26-3-49-52

#### References

1. *Inzhenerno-aviatsionnaya sluzhba i ekspluatatsiya letatelnykh apparatov* [Aviation Engineering Service and aircraft operation]. Moscow, Military Publishing House of the USSR Ministry of Defense, 1971, 450 p. (in Russ.).

2. Kuoatov B.Zh., Baisanov A.Z., Nadryshin R.R. [Improving the reliability of aircraft equipment during operation]. *International Symposium «Reliability and Quality»*, 2016, vol. 2, pp. 250–253 (in Russ.).

3. Borovikov S.M., Tsyrelchuk I.N., Troyan F.D. *Raschet pokazatelei nadezhnosti radioelektronnykh sredstv. Uchebno-metod. posobie* [Reliability Calculation of radioelectronic means. Study guide]. Minsk, BSUIR Publ., 2010. 62 p. (in Russ.).

4. Ievlev V.I., Filippov G.A. *Kachestvo i nadezhnost elektronnoy komponentnoy bazy EVM spetsialnogo naznacheniya. Uchebnoe posobie* [Quality and reliability of the electronic component base of an application-specific computer. Textbook]. Yekaterinburg, UrFU Publ., 2013, 102 p. (in Russ.).

5. Zakharov O.G. [Assessment of storability of protective relaying digital devices]. *Modern Automation Technologies*, 2013, no. 2, pp. 90–96 (in Russ.).

6. ГОСТ РВ 27.3.01–2005. *Nadezhnost voennoy tekhniki. Sostav i obschie pravila zadaniya trebovaniy k nadezhnosti* [Military equipment dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 34 p. (in Russ.).

7. ГОСТ 27.003–2016. *Nadezhnost v tekhnike. Sostav i obschie pravila zadaniya trebovaniy k nadezhnosti* [Industrial product dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements]. Moscow, Gosstandart of Russia Publ., 2016, 23 p. (in Russ.).

8. ГОСТ В 20.39.403–81. *Kompleksnaya sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy. Izdeliya elektronnoy tekhniki, kvantovoy elektroniki i elektrotekhnicheskikh voennogo naznacheniya. Trebovaniya po nadezhnosti* [A complex system of general technical requirements. Electronic equipment, quantum electronics and electrical products of military purposes. Reliability requirements]. Moscow, Gosstandart of Russia Publ., 1981, 45 p. (in Russ.).

9. Suleymanova L.I., Davydova T.I. [Calculation of safety index for foreign-origin electronic components]. *Automation of Control Processes*, 2020, no. 4 (62), pp. 33–37 (in Russ.).

10. *Nadezhnost elektroradioizdeliy inostrannogo proizvodstva. Sprav.* [Reliability of foreign-origin electrical and radio products. Handbook]. Moscow, 22 TSNIИ МО РФ Publ., 2006, 641 p. (in Russ.).

#### Lilia I. Belova

Candidate of Sciences in Engineering, Leading Engineer,  
FRPC JSC 'RPA 'Mars',  
20, Solnechnaya Street, Ulyanovsk, Russia, 432022  
Phone: +7-902-005-71-52  
Email: suleimanova.lili@mail.ru