

Анализ методов определения показателей долговечности электронных средств по справочным данным

Жаднов В.В.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Московский институт электроники и математики
vzhadnov@hse.ru*

Аннотация. В докладе рассматриваются методы определения показателей долговечности электронных средств по справочным данным на примере показателей типа «ресурс». Показаны основные источники погрешностей принятых в настоящее время методов определения показателей долговечности электронных средств по справочным данным. Обоснована возможность применения математических моделей интенсивностей отказов электрорадиоизделий для уточнения значений коэффициентов математических моделей ресурса.

Ключевые слова: надежность, долговечность, ресурс, расчетный метод, электронное средство, электрорадиоизделие

Долговечность является одним из свойств, характеризующих качество электронных средств (ЭС), и входит в состав группы показателей надежности. В [ГОСТ, 1989] приведены основные понятия, термины и определения, относящиеся к свойству долговечности электронных средств, а именно:

Долговечность - свойство ЭС сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели долговечности:

- Гамма-процентный ресурс - суммарная наработка, в течение которой ЭС не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.
- Средний ресурс - математическое ожидание ресурса ЭС.
- Гамма-процентный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой ЭС не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.
- Средний срок службы - математическое ожидание срока службы ЭС.

Принципы формирования номенклатуры показателей долговечности для ЭС регламентированы в [ГОСТ, 1990].

Расчет количественных значений показателей долговечности ЭС является составной частью расчетов надежности электронных средств, предусмотренных в мероприятиях программ обеспечения надежности, регламентированных в [ГОСТ РВ, 1998].

Рекомендации по методам расчета надежности приведены в [ГОСТ, 1995]. Однако в этом документе содержатся лишь общие положения и рекомендации по оценке показателей надежности. Что касается показателей долговечности, то методики их определения расчетными методами на этапе проектирования приведены в [ОСТ, 1984].

В соответствии с этими методиками расчет показателей долговечности проводится в два этапа:

- ориентировочный расчет;
- уточненный расчет.

Исходными данными для расчетов служат:

- критерий предельного состояния ЭС;
- вероятность, для которой определяется гамма-процентный ресурс ЭС;
- перечень электрорадиоизделий (ЭРИ), входящих в состав ЭС;
- гамма-процентные ресурсы ЭРИ;
- «критические» параметры ЭРИ и их значения в рабочем и предельно-допустимом по НТД режимам;
- временные графики работы ЭРИ.

Значение критерия предельного состояния ЭС определяется в зависимости от допустимого (заданного в ТЗ) уровня снижения эффективности функционирования ЭС.

В соответствии с [ОСТ, 1984] предельным состоянием ЭС из-за снижения эффективности его использования является выработка ресурса у определенного процента ЭРИ, входящих в состав ЭС. В этом случае значение критерия предельного состояния ($K_{ПС}$) равно:

$$K_{ПС} = \frac{n}{N} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

где: n - максимально-допустимое число ЭРИ, выработавших ресурс; N - суммарное количество число ЭРИ в ЭС.

Перечень ЭРИ формируется на основе конструкторской документации на ЭС (ведомости применяемых ЭРИ).

Гамма-процентный ресурс ЭРИ определяется по данным, приведенным в справочнике [Надежность ЭРИ, 2006], технических условиях (ТУ) или нормативно-технической документации (НТД).

Для ЭРИ, гамма-процентный ресурс которых задается в количествах циклов работы (срабатываний т.д.), перевод его в часы осуществляется по формуле:

$$T_{ЭРИ_{\gamma_{НТД}}} = \frac{N_{ЭРИ_{\gamma_{НТД}}}}{C}, \quad (1.2)$$

где: $N_{ЭРИ_{\gamma_{НТД}}}$ - гамма-процентный ресурс ЭРИ по НТД; C - число циклов в час.

Для ЭРИ, гамма-процентный ресурс которых в справочнике [Надежность ЭРИ, 2006], приведен для вероятности $\gamma_{НТД}$, отличной от заданной для ЭС, гамма-процентный ресурс ЭРИ для требуемого значения вероятности γ пересчитывается по формуле [ОСТ, 1984]:

$$T_{ЭРИ\gamma_{ЭС}} = \frac{(1-0,15 \cdot \chi_{ЭС\gamma})}{(1-0,15 \cdot \chi_{НТД\gamma})} \cdot T_{ЭРИ\gamma_{НТД}} \quad (1.3)$$

где: $\chi_{ЭС\gamma}$ - квантиль нормального распределения для вероятности $\gamma_{ЭС}$, заданной для ЭС; $\chi_{НТД\gamma}$ - квантиль нормального распределения для вероятности $\gamma_{НТД}$, приведенной для ЭРИ в НТД; $T_{ЭРИ\gamma}$ - гамма-процентный ресурс ЭРИ по НТД.

Расчет гамма-процентного ресурса ЭС проводится в следующей последовательности.

1) Для каждого ЭРИ:

- по Справочнику [Надежность ЭРИ, 2006] (или НТД) определяется значение гамма-процентного ресурса (при необходимости значение гамма-процентного ресурса пересчитывается по формулам (1.2) и (1.3));

- определяется «критический» параметр и его значения:

$N_{ЭРИ\text{раб}}$ - нагрузка ЭРИ по критическому параметру в режиме работы;

$N_{ЭРИ\text{нтд}}$ - предельно-допустимая нагрузка ЭРИ по «критическому» параметру по НТД;

- рассчитывается коэффициент нагрузки (K_H) ЭРИ по «критическому» параметру:

$$K_H = \frac{N_{ЭРИ\text{раб}}}{N_{ЭРИ\text{нтд}}}; \quad (1.4)$$

- по временному графику работы ЭРИ определяется его суммарное время работы ($t_{ЭРИ}$) за период применения ЭС в рабочем режиме ($t_{ЭС}$).

- рассчитывается коэффициент интенсивности эксплуатации ($K_{и.э}$) ЭРИ за единицу времени:

$$K_{и.э} = \frac{t_{ЭРИ}}{t_{ЭС}}; \quad (1.5)$$

- рассчитывается уточненное значение гамма-процентного ресурса (τ_γ) ЭРИ по формуле:

$$T_\gamma^* = \frac{T_{ЭРИ\gamma_{ЭС}}}{K_{и.э} \cdot K_H}. \quad (1.6)$$

Типовая зависимость τ_γ от $K_{и.э}$ и K_H приведена на рис. 1.

2) Полученный массив значений ресурсов ЭРИ упорядочивается по возрастанию и определяются число временных интервалов (K) и границы их диапазонов (T_{Hk} , T_{Kk}):

$$K = \text{int} \left(\frac{T_{\gamma \max}^*}{1000} \right) + 1; \quad (1.7)$$

исходя из условия:

$$T_{Hk} \leq T_\gamma^* \leq T_{Kk} \quad (1.10)$$

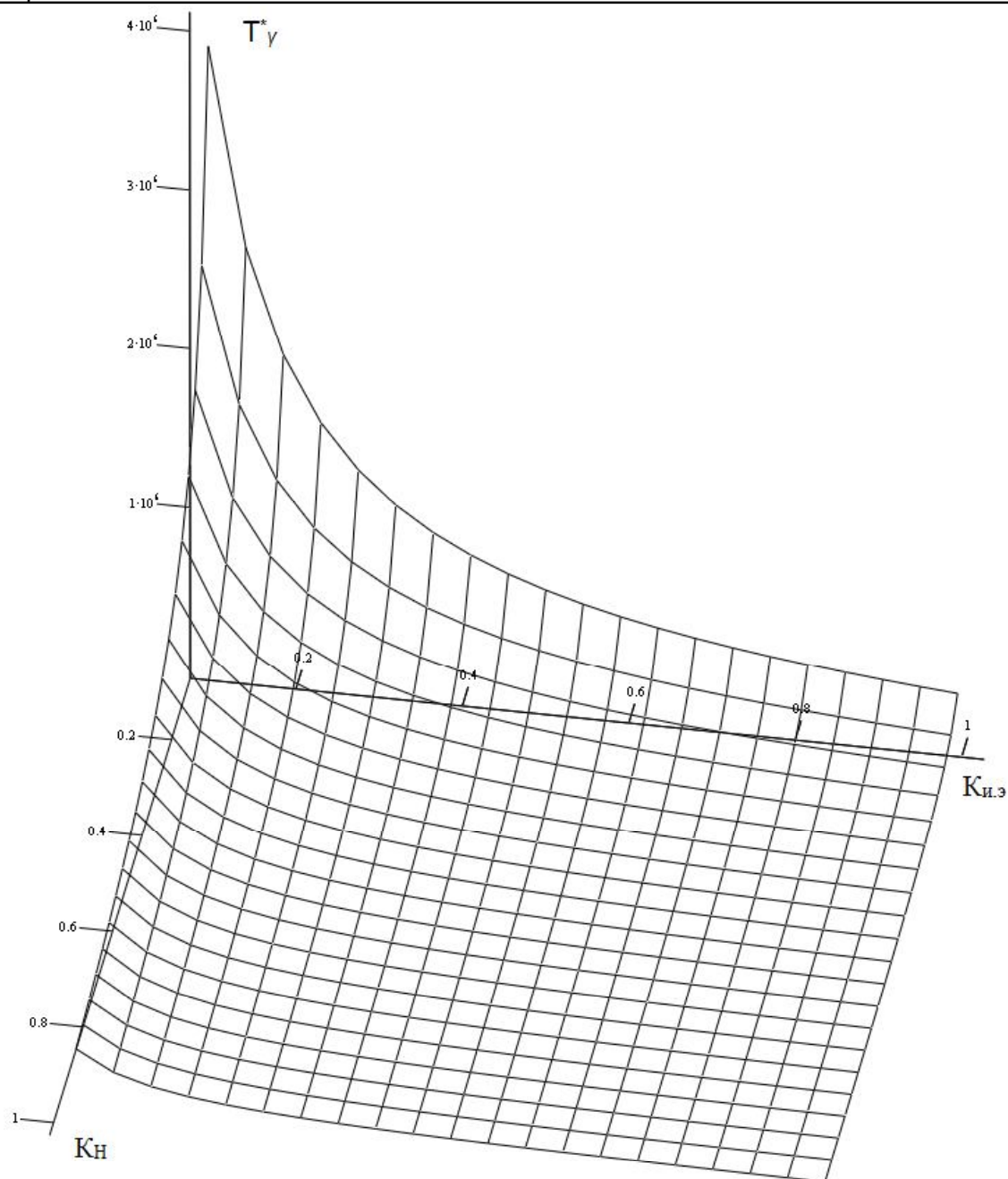


Рис. 1. Зависимость T_{γ} от $K_{и.э}$ и K_H (при $T_{ЭРИ_{инд}} = 40000$ ч.)

$$T_{H_k} = (k-1) \cdot 1000 + 1; \quad T_{K_k} = k \cdot 1000, \quad (1.8)$$

где: $T_{\gamma_{\max}}$ - максимальное значение в массиве ресурсов ЭРИ; $k = 1, 2, \dots, K$.

3) Определяется процент ЭРИ ($\%_k$), попавших в k -й интервал:

$$\%_k = \frac{n_k}{N} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

где: n_k - число ЭРИ, попавших в k -й интервал; N - количество ЭРИ в ЭС.

4) Вычисляется суммарный процент ($\%_{\Sigma k}$) путем «последовательного» суммирования значений $\%_k$ от K -того интервала к 1-му (нарастающим итогом) и проверяется условие:

$$\%_{\Sigma k} = \%_{\Sigma k-1} + \%_k \geq (100 - K_{ПС}), \quad (1.11)$$

где: $\%_{\Sigma k-1}$ - суммарный процент ЭРИ, попавших в интервалы от К до (k-1);
 $\%_k$ - процент ЭРИ, попавших в k-й интервал.

5) Значение t_{γ} ЭС принимают равным значению T_{kk} интервала, для которого первый раз выполняется условие (1.11).

Представленный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

- ресурс и ЭС, и ЭРИ, является случайной величиной, распределенной по нормальному закону - см. формулу (1.3);
- значение гамма-процентного ресурса ЭС не зависит от количества ЭРИ, у которых гамма-процентный ресурс удовлетворяет критерию предельного состояния, а определяется только теми ЭРИ, которые имеют наименьшие значения гамма-процентного ресурса - см. формулу (1.11);
- значения гамма-процентного ресурса ЭС зависят от коэффициентов нагрузки ЭРИ по «критичному» параметру и от временных графиков их работы в режиме применения ЭС - см. рис. 1;
- значения гамма-процентного ресурса ЭС не зависят от жесткости внешних воздействующих факторов (групп аппаратуры по [ГОСТ РВ, 1998] - см. формулу (1.6);
- методики ориентированы на проведение «ручных» расчетов, что при большом количестве ЭРИ делает их достаточно трудоемкими и увеличивает вероятность ошибок.

Кроме того, расчет среднего ресурса ($T_{\text{ЭРИ ср. нтд}}$) по [ОСТ, 1984] проводится по приведенной выше методике при $T_{\text{ЭРИ нтд}} = T_{\text{ЭРИ ср. нтд}}$. В то же время, в справочнике [Надежность ЭРИ, 2006] значений $T_{\text{ЭРИ ср. нтд}}$ для ЭРИ не приводится. Поэтому, исходя из формулы (1.3) необходимые значения среднего ресурса ЭРИ по НТД определяются по формуле:

$$T_{\text{ЭРИ ср. нтд}} = \frac{T_{\text{ЭРИ нтд}}}{1 - 0,15 \cdot \chi_{\text{нтд}}}$$

Еще одним аспектом, затрудняющим расчет показателей долговечности ЭРИ, является то, что в [ОСТ, 1984] нет однозначной трактовки параметра «Нагрузка по «критическому» параметру» - $N_{\text{ЭРИ}}$. В работах [Жаднов, 2013] и [Жаднов, 2014] показано, что в качестве такого параметра используется коэффициент режима (K_p), определяемый по справочнику [Надежность ЭРИ, 2006].

Нельзя не упомянуть и о том, что методики [ОСТ, 1984] не учитывают расходования ресурса ЭРИ в режиме ожидания (хранения) - см. формулу (1.5). В работе [Жаднов, 2014] приведена модель для $K_{\text{и.э.}}$, позволяющая учитывать этот режим. В работах [Карапузов и др., 2014] предложен альтернативный подход к оценке ресурса и срока службы, позволяющий учитывать модель эксплуатации ЭС.

Таким образом, для повышения точности и снижения трудоемкости расчетов показателей долговечности ЭС по справочным данным

необходима модификация методик [ОСТ, 1984], направленная на учет режимов и условий применения ЭРИ, модели эксплуатации ЭС, а также создание соответствующего программного обеспечения.

Благодарности

Данное научное исследование (№ проекта 15-05-0029) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015 г.

Список литературы

[ГОСТ, 1989] ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

[ГОСТ, 1990] ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

[ГОСТ РВ, 1998] ГОСТ РВ 20.39.302-98. Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к программам обеспечения надежности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений.

[ГОСТ, 1995] ГОСТ 27.301-95. Расчет надежности. Основные положения.

[ОСТ, 1984] ОСТ 4.012.013-84. Аппаратура радиоэлектронная. Определение показателей долговечности.

[Надёжность ЭРИ, 2006] Надёжность ЭРИ: Справочник. - М.: МО РФ, 2006. - 641 с.

[ГОСТ РВ, 1998] ГОСТ РВ 20.39.304-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.

[Жаднов, 2013] Жаднов, В.В. Повышение точности расчётной оценки показателей долговечности бортовой космической аппаратуры. / В.В. Жаднов. // Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов Четвертой Всероссийской научно-технической конференции. / Под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. - Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2013. - с. 164-169.

[Жаднов, 2014] Жаднов, В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем. / В.В. Жаднов. // Надежность и качество сложных систем. - 2014. - № 2. - с. 65-73.

[Карапузов и др., 2014] Карапузов, М.А. Влияние внешних воздействующих факторов на долговечность СВЧ-устройств. / М.А. Карапузов, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. - 2014. - № 12. - с. 29-31.

[Карапузов и др., 2014] Карапузов, М.А. Влияние внешних возмущающих факторов на долговечность СВЧ-устройств. / М.А. Карапузов, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надежность и качество сложных систем. - 2014. - № 2. - с. 14-21.