

УДК 004.021

Разработка методики выявления факторов, наиболее сильно влияющих на надежность электронных устройств

Полесский С. Н., Маякова О. Ю., Алейников А. В.

Постановка задачи: В целях определения уровня надежности электронного устройства необходимо разработать методику анализа результатов расчета его показателей надежности, таких как вероятность безотказной работы или средняя наработка на отказ, позволяющую оценивать какой из параметров сильнее всего оказывает влияние на итоговое значение эксплуатационной интенсивности отказов отдельного типа электрорадиоизделий. В результате анализа надежности компонентов всех уровней электронного устройства инженером должны быть получены величины показателей надежности, граничные значения управляемых параметров, а также должны быть выданы рекомендации о тех или иных изменениях, необходимых для повышения надежности электронного устройства. **Целью работы** является разработка методики анализа результатов расчетов показателей надежности. Данная методика, в отличие от уже известных, позволит проанализировать рассчитанные значения показателей и с помощью относительной функции чувствительности определить вклад, вносимый конкретными параметрами: температурой, номиналами элементов, их рабочим напряжением, током, мощностью, величиной допуска, в то время как ранее вносимый вклад оценивался по численному значению отдельного поправочного коэффициента. **Результат:** применение разработанной методики анализа результатов расчета надежности электронных устройств позволяет конкретизировать рекомендации по изменению параметров в целях повышения надежности элементов, входящих в состав рассматриваемого электронного устройства.

Ключевые слова: электронные устройства, электрорадиоизделие, интенсивность отказов, поправочный коэффициент, относительная функция чувствительности, надежность, методика анализа результатов расчета надежности.

Актуальность

Для практической реализации методологии управления надежностью электронных устройств (ЭУ) [1, 2], только численных значений показателей надежности недостаточно. Для целенаправленного управления надежностью ЭУ инженеру необходимо получить следующую информацию рекомендательного характера:

- достигнутый уровень показателей надежности как ЭУ в целом, так и его компонентов (групп и электрорадиоизделий (ЭРИ));
- рекомендуемый вид и параметры резервирования как ЭУ в целом, так и его компонентов (групп и ЭРИ).

Кроме того, для ЭРИ необходимо определить:

- максимально-допустимые значения рабочей температуры и коэффициента электрической нагрузки и (или) рабочих токов, напряжений, мощностей, номиналов емкостей, индуктивностей, сопротивлений;
- рекомендуемый вид уровня качества как для отечественных ЭРИ, так и для ЭРИ иностранного производства;
- предельные значения внешних воздействующих факторов (климатических, механических и др.).

Постановка задачи

В целях повышения надежности ЭУ необходимо разработать соответствующую методику анализа результатов расчетов его надежности, позволяющий оценивать какой из параметров сильнее всего оказывает влияние на итоговое значение эксплуатационной интенсивности отказов (ИО) отдельного ЭРИ. В связи с этим была разработана методика автоматизированного анализа результатов расчетов показателей надежности ЭУ. Данная методика позволяет проводить анализ результатов расчетов надежности ЭУ, имеющего до 4-х уровней укрупнения (само ЭУ, компоненты 1 уровня, компоненты 2 уровня, компоненты 3 уровня, ЭРИ) и различные виды резервирования.

Описание методики

Для оценки эффективности применения ранее упомянутых типовых рекомендаций, была разработана методика анализа результатов расчета надежности [3, 4, 5], схема которой приведена на рис. 1.

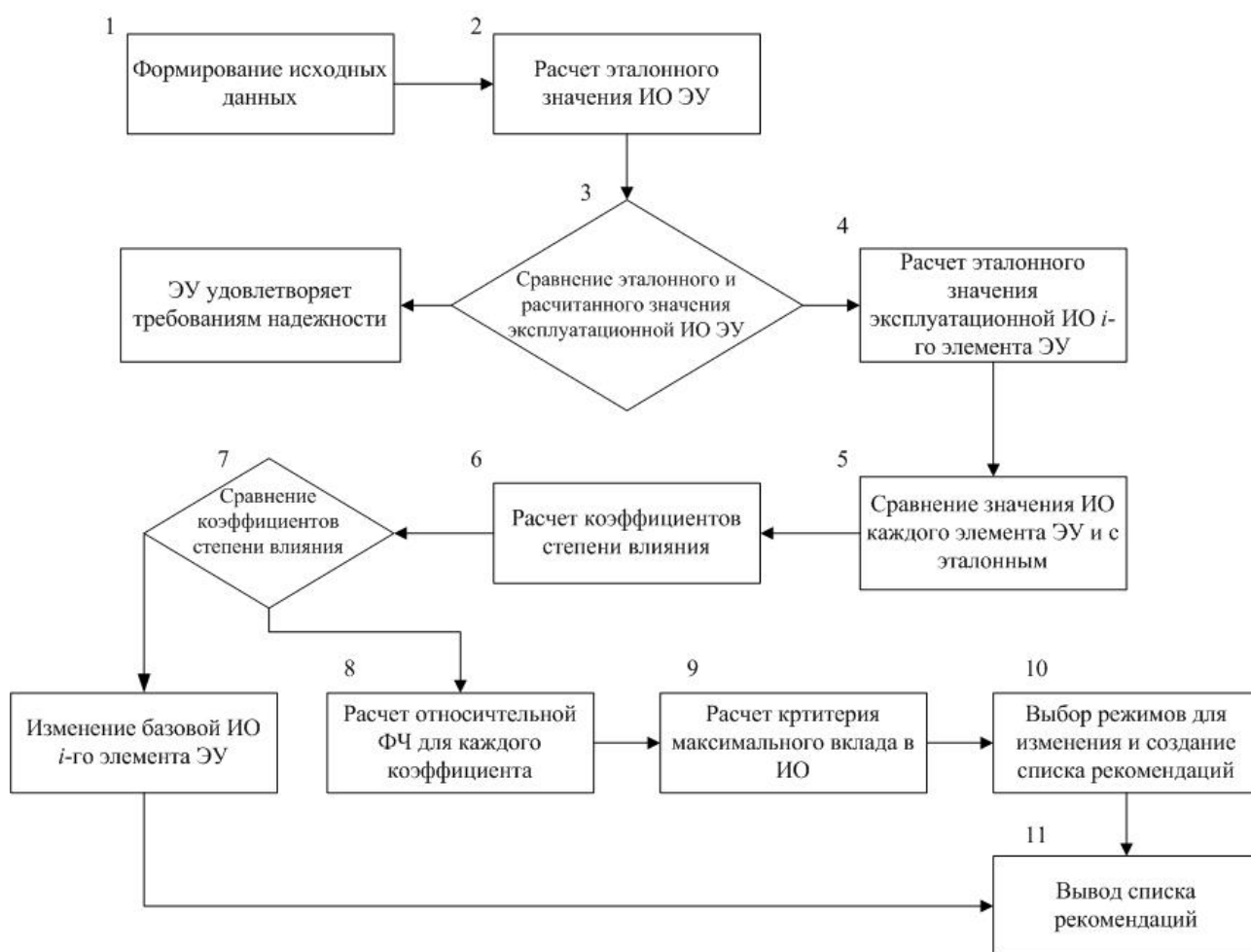


Рис. 1. Схема методики анализа результатов расчета надежности ЭУ

Ниже приведено подробное описание функций данной методики.

1. Ввод исходных данных – данных из ТЗ на ЭУ (заданные значения средней наработки на отказ и вероятности безотказной работы (ВБР)), а также значения ИО ЭУ и входящих в его состав отдельных элементов, рассчитанного в автоматизированном комплексе АСОНИКА-К [6, 7].

2. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО ЭУ

$$\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{1}{T_0} \text{ или } \lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{\ln P}{t}, \quad (1)$$

где T_0 – средняя наработка на отказ, ч; P – ВБР ЭУ, отн. ед.; t – время эксплуатации ЭУ, ч.

3. Сравнение эталонного $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}$ и рассчитанного $\lambda_{ЭУ}^{расч}$ значений эксплуатационной ИО ЭУ. Если $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} \geq \lambda_{ЭУ}^{расч}$, то ЭУ удовлетворяет заданным требованиям ТЗ по надежности. В противном случае необходимо выяснить, какой именно элемент оказывает наибольшее влияние на надежность всего ЭУ.

4. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО i -го элемента ЭУ:

$$\lambda_{э,i}^{ТЗ} = \frac{\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}}{N}, \quad (2)$$

где N – количество элементов ЭУ.

5. В цикле по $i=0..N$ рассматриваются по очереди рассчитанные значения ИО каждого элемента и сравниваются с эталонным. Если $\lambda_{э,i}^{ТЗ} \geq \lambda_{э,i}^{расч}$, то увеличивается шаг цикла, иначе данный i -ый элемент оказывает наибольшее влияние на надежность всего ЭУ, и необходимо рассмотреть подробнее его математическую модель (ММ) ИО.

6. Расчет величин, характеризующих степень влияния:

$$A = \frac{\lambda_{э,i}^{расч}}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}}; B = \frac{\lambda_{э,i}'}{\lambda_{э,i}^{ТЗ}}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, характеризующий влияние поправочных коэффициентов, отн. ед.; B - коэффициент, характеризующий влияние базовой ИО i -го элемента $\lambda_{э,i}$, отн. ед.; $\lambda_{э,i}'$ - эксплуатационная ИО i -го компонента при единичных значениях поправочных коэффициентов, 1/ч.

7. Сравнение двух коэффициентов A и B , на основании которого принимается решение о дальнейших действиях: если A меньше, то необходимо изменить базовую ИО i -го компонента, другими словами сменить тип элемента, иначе необходимо изменить режимы работы. Также в обоих случаях можно применить резервирование.

8. При условии, что $A \geq B$ необходимо определить какой именно из произведения M штук поправочных коэффициентов оказывает наибольшее влияние на величину ИО i -го элемента. Для этого в цикле по $j=0..M$ для каждого коэффициента рассчитывается относительная функция чувствительности (ФЧ) [8, 9]:

$$S_{q_j}^{K_j} = A^{K_j} \frac{q_j}{K_j}, \quad (4)$$

где $A^{K_j} = \frac{\partial \lambda_{\alpha,i}}{\partial K_j}$ - абсолютная ФЧ j -го поправочного коэффициента K_j , отн. ед.;

K_j - j -ый поправочный коэффициент (например, коэффициент режима), отн. ед.;
 q_j - j -ый параметр (например, температура, рабочий ток, рабочее напряжение и т.д.) j -го поправочного коэффициента.

9. На данном этапе определяется, какой из коэффициентов вносит наибольший вклад в ИО. Для этого производится расчет критерия по формуле:

$$H = \max_{i \in [0;M]} (S_i(x)), \quad (5)$$

где $S_i(x)$ – относительная ФЧ i -го поправочного коэффициента.

Коэффициент, имеющий наибольшую относительную ФЧ, сильнее всего оказывает влияние на величину эксплуатационной ИО при изменении его параметра.

10. В зависимости от распределения величины относительной ФЧ, принимается решение, какие режимы можно поменять и в каких пределах. Если изменения вносились относительно базовой ИО, а не поправочных коэффициентов, то будет формироваться список производителей с более высокими показателями надежности элементов. Создается полный список рекомендаций.

11. Вывод и предложение сформированного списка рекомендаций инженеру.

Пример применения методики

В качестве примера рассмотрим применение описанной методики к схеме двойного Т-образного фильтра (рис. 2).

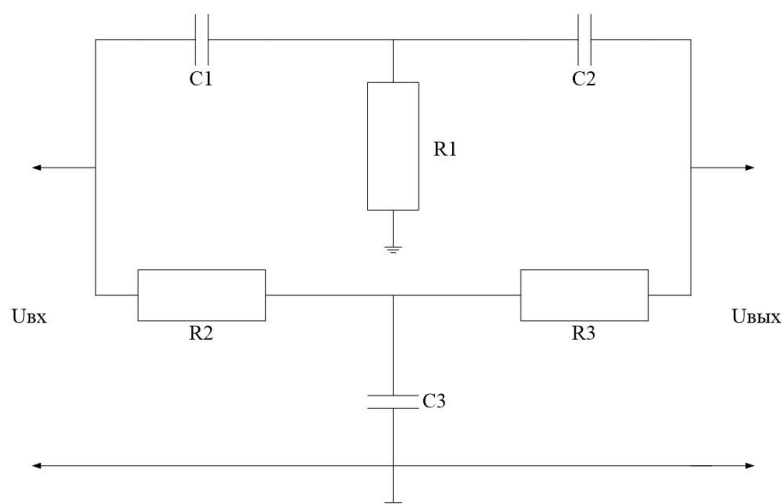


Рис. 2. Электрическая схема двойного Т-образного фильтра

Исходными данными для расчета показателей надежности являются следующий перечень элементов и их параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Наименование параметра	R1	R2	R3	C1	C2	C3
Тип элемента	P1-12	P1-12	P1-12	K10-17В	K10-17В	K10-17В
Температура окружающей среды, °С	50	50	50	50	50	5
Номинальная мощность, Вт (напряжение, В)	0,125	0,25	0,125	50	50	50
Рабочая мощность, Вт (напряжение, В)	0,0125	0,01	0,0125	5	5	10
Допуск, %	10	10	10	-	-	-
Сопротивления, Ом (емкость, пФ)	560	83	10000	120	43800	300
Максимальное напряжение, В	100	100	100	-	-	-
Группа аппаратуры	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Уровень качества, отн.ед.	5	5	5	5	5	5

С точки зрения надежности двойной Т-образный фильтр представляет собой последовательное соединение 6 элементов, то есть отказ любого из них приведет к отказу всего фильтра. Для расчета показателей надежности ЭУ по перечню элементов (см. таблицу 1) используется справочник Надежность ЭРИ [10], в котором приведены ММ для определения характеристик надежности, а именно ИО каждого элемента.

Перечень ММ [10, 11] в соответствии с идентификационным перечнем элементов двойного Т-образного фильтра представлен в таблице 2.

Таблица 2 – ММ элементов, входящих в состав двойного Т-образного фильтра.

Группа элементов	Резисторы	Конденсаторы
ММ	$\lambda_{\gamma R} = \lambda_{\gamma} \cdot K_P K_R K_M K_{\text{стаб}} K_{\gamma} K_{\text{пр}}$	$\lambda_{\gamma C} = \lambda_{\gamma} \cdot K_P K_C K_{\gamma} K_{\text{пр}}$
Компоненты ММ	$\lambda_{\gamma} = 0,0000000063$ – базовая ИО резистора P1-12, 1/ч;	$\lambda_{\gamma} = 0,0000000033$ – базовая ИО конденсатора K10-17В, 1/ч;
	$K_P = A \cdot e^{\frac{B(t+273)^G}{N_i}} \cdot e^{\left(\frac{P/P_H}{N_S} \left(\frac{t+273}{273}\right)^J\right)^H}$ – коэффициент режима, зависящий от коэффициента нагрузки по мощности P/P_H и от температуры окружающей среды t , где A, B, G, N_i, N_S, J, H – константы;	$K_P = A \cdot \left(\left(\frac{U/U_H}{N_S} \right)^H + 1 \right) \cdot e^{\frac{B(t+273)^G}{N_i}}$ – коэффициент режима, зависящий от коэффициента нагрузки по напряжению U/U_H и от температуры окружающей среды t , где A, B, G, N_i, N_S, H – константы;
	K_R – коэффициент, зависящий от величины номинального сопротивления R;	$K_C = 0,4 \cdot C^{0,12}$ – коэффициент, зависящий от величины номинальной емкости C, отн.ед.;
	K_M – коэффициент, зависящий от величины номинальной мощности;	K_{γ} – коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости эксплуатации;
	$K_{\text{стаб}}$ – коэффициент, зависящий от величины допуска;	$K_{\text{пр}}$ – коэффициент приемки, зависящий от жесткости требований к контролю качества.
	K_{γ} – коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости эксплуатации;	
	$K_{\text{пр}}$ – коэффициент приемки, зависящий от жесткости требований к контролю качества.	

Расчеты были автоматизированы с помощью программного комплекса АСОНИКА-К, в котором были рассчитаны ИО всех ЭРИ, входящих в состав двойного Т-образного фильтра. В качестве результатов была построена гистограмма, показанная на рис. 3, из которой видно, что наиболее весомый вклад в рассчитанное значение ИО фильтра вносят элементы с позиционными обозначениями R1-R3. Таким образом, используя ММ расчета ИО для резистора типа P1-12 (технологическая группа - резистор постоянный непроволочный металлдиэлектрический) [10] и описанную выше методику, сформируем список рекомендаций по обеспечению надежности данного ЭРИ и, соответственно, фильтра в целом.

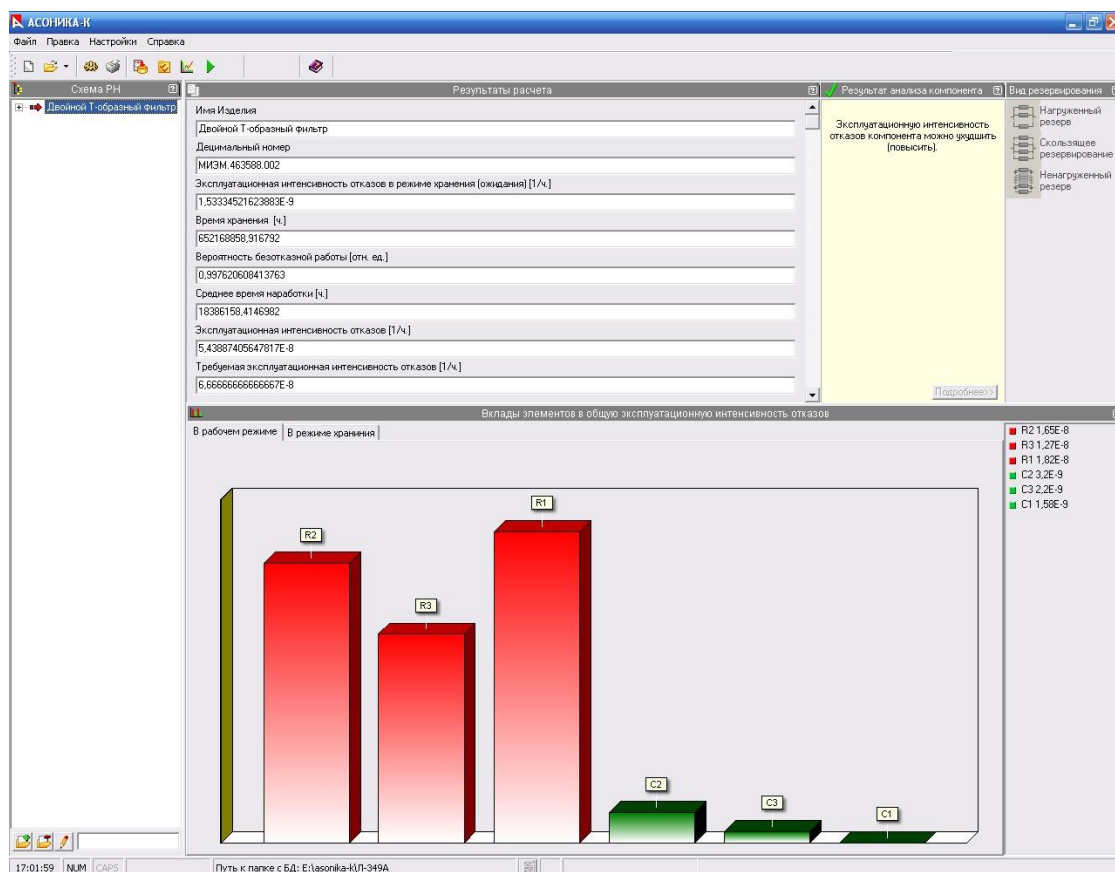


Рис. 3. Расчет надежности элементов ЭУ

1. В качестве исходных данных имеем значение средней наработки на отказ $T_0=20000000$ ч, а также результаты расчета комплекса АСОНИКА-К, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – результаты расчета комплекса АСОНИКА-К

Наименование параметра	$\lambda_3 \cdot 10^9, 1/\text{ч}$
$\lambda_{ЭУ}^{расч}$	54,38
λ_{R_1}	18,2
λ_{R_2}	16,5
λ_{R_3}	12,7
λ_{C_1}	1,58
λ_{C_2}	3,2
λ_{C_3}	2,2

2. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО ЭУ:

$$\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{20000000} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.} \quad (6)$$

3. Сравнение эталонного $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}$ и рассчитанного $\lambda_{ЭУ}^{расч}$ значений эксплуатационной ИО ЭУ: $\lambda_{ЭУ}^{ТЗ} < \lambda_{ЭУ}^{расч}$. Из этого следует, что далее необходимо выявить наименее надежный элемент.

4. Расчет эталонного значения эксплуатационной ИО i -го элемента ЭУ, где N – количество элементов фильтра, равное 6:

$$\lambda_{ЭУ,i}^{ТЗ} = \frac{\lambda_{ЭУ}^{ТЗ}}{N} = \frac{50 \cdot 10^{-9}}{6} \approx 8,33 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.} \quad (7)$$

5. При поочередном сравнении эталонного значения эксплуатационной ИО i -го элемента ЭУ со всеми значениями из таблицы 3 можно понять, что требованиям ТЗ не удовлетворяют три элемента с позиционными обозначениями $R_1 - R_3$, что также видно из гистограммы (рис. 3). Для примера рассмотрим наименее надежный из всех элемент - R_1 .

6. Расчет величин, характеризующих степень влияния:

$$A = \frac{\lambda_{ЭУ,i}^{расч}}{\lambda_{ЭУ,i}^{ТЗ}} = \frac{18,2 \cdot 10^{-9}}{8,33 \cdot 10^{-9}} \approx 2,185;$$

$$B = \frac{\lambda_{ЭУ,i}'}{\lambda_{ЭУ,i}^{ТЗ}} = \frac{6,3 \cdot 10^{-9}}{8,33 \cdot 10^{-9}} = 0,7563. \quad (8)$$

7. Так как $A > B$, то очевидно, что для изменения величины эксплуатационной ИО элемента необходимо менять значения параметров поправочных коэффициентов.

8. Далее вычисляются относительные ФЧ для всех поправочных коэффициентов ММ ИО резистора. Например, относительная ФЧ коэффициента режима находится по формуле:

$$S_i^{K_P} = A^{K_P} \frac{t}{K_P(t)}, \quad (9)$$

где A^{K_P} - абсолютная ФЧ коэффициента K_P , $K_P(t)$ – значение коэффициента режима при заданном значении температуры t .

9. Таким образом, после проведенных расчетов получаем значения ФЧ для каждого поправочного коэффициента (рис. 4).

Находим значение критерия максимума относительной ФЧ:

$$H = \max_{i \in [0;M]} (S_i(x)) = 7,428; \quad (10)$$

из чего следует, что сильнее всего влияние на величину эксплуатационной ИО оказывает коэффициент режима K_P и его параметр – температура окружающей среды t . Ниже на рис. 5 показана зависимость эксплуатационной ИО резистора от изменения температуры окружающей среды.

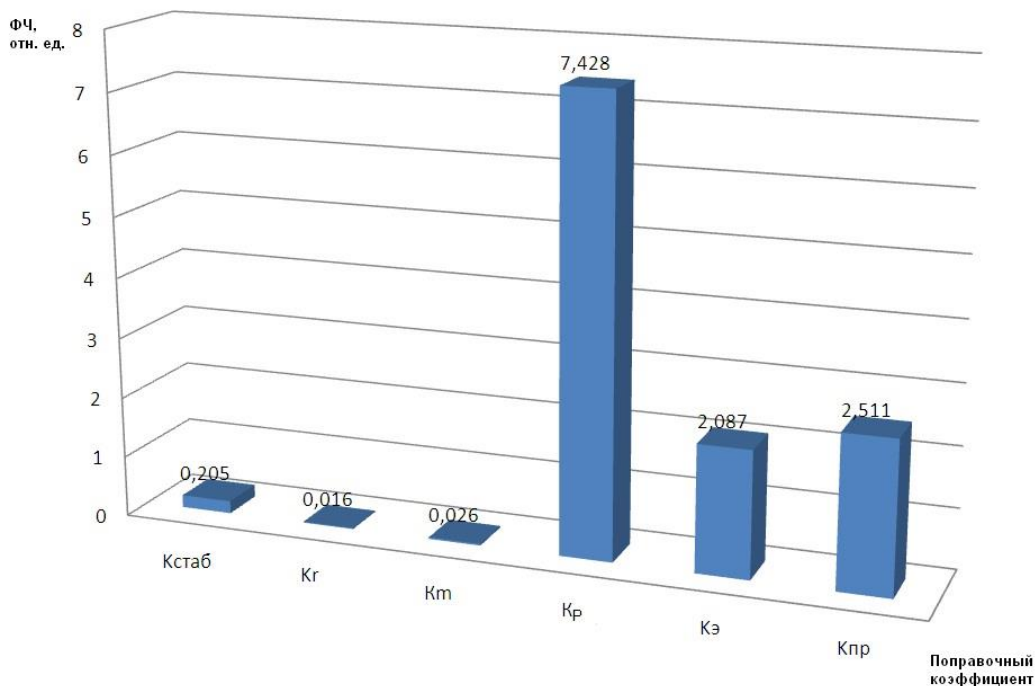


Рис. 4. Диаграмма значений ФЧ поправочных коэффициентов

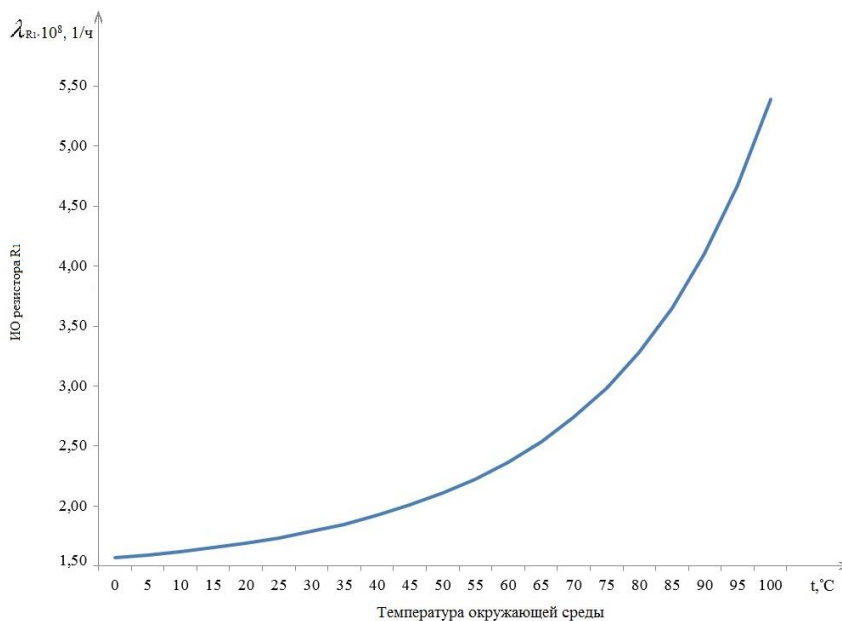


Рис. 5. Зависимость ИО резистора типа P1-12 от температуры окружающей среды

10-11. Основываясь на полученных результатах (рис. 5), формируются и выдаются рекомендации по обеспечению температуры окружающей среды резистора R_1 равной, например, 40°C .

Выводы

Предложенная методика анализа результатов расчета надежности ЭУ позволяет скорректировать и уточнить рекомендации общего характера

(например, вместо рекомендации «Изменить температуру окружающей среды для резистора R_1 » выдвинуть требование «Обеспечить температуру окружающей среды резистора R_1 не более $+40^{\circ}\text{C}$ »).

Использование методики позволяет учитывать влияние параметров на ИО ЭРИ. На сегодняшний день на практике применяется методика выбора по максимальному значению поправочного коэффициента: принимается, что коэффициент с максимальной величиной вносит максимальный вклад. Однако, применение ФЧ позволяет реально оценить вклад, вносимый каждым из коэффициентов, а соответственно и их параметрами. Этот факт является главным преимуществом методики анализа результатов расчета надежности ЭУ, так как, зная какой конкретно параметр больше всего влияет на величину ИО ЭРИ и меняя его значения, можно дать соответствующие рекомендации по изменению величины данного параметра. Выполнение всех полученных рекомендаций приведет к снижению ИО рассматриваемого ЭРИ, и, соответственно, обеспечению надёжности всего ЭУ.

Литература

1. Данилин Н. С., Гусев Л. И., Загоровский Ю. И. Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования. М.: Издательство стандартов, 1983. С. 48-82.
2. Жаднов В. В. Расчет надежности электронных модулей. М.: Библиотека студента, 2016. С. 11-71.
3. Дружинин Г. В., Степанов С. В. Теория надёжности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. М.: Энергия, 1976. С. 286-303.
4. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 225 с.
5. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975. С. 49-78.
6. Полесский С. Н. Анализ результатов расчетов надежности в подсистеме АСОНИКА-К // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, посвященная 40-летию МИЭМ. Тезисы докладов, 2002. 395 с.
7. Автоматизированный комплекс АСОНИКА-К [Электронный ресурс] - URL: <http://asonika.ru/?q=27> (дата обращения: 25.11.2016).
8. Кофанов Ю. Н. Методы параметрической чувствительности радиоэлектронных средств. М.: Московский институт электронного машиностроения, 1991. С. 76-80.
9. Кофанов Ю. Н., Жаднов В. В. Основы теории надежности и параметрической чувствительности РЭС: Учебное пособие. М.: Московский институт электронного машиностроения, 1990. 36 с.
10. Справочник. Надежность ЭРИ. М.: 22 ЦНИИ МО, 2006. С. 281-342.
11. MILITARY HAND BOOK-217F. Department of Defense, Washington DC, 20301, 1991. С. 82-142.

References

1. Danilin N. S., Gusev L. I., Zagorovskii Iu. I. *Obespechenie kachestva REA metodami diagnostiki i prognozirovaniia* [Quality assurance of the radioelectronic devices by diagnosis and prognosis]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ, 1983, pp. 48-82 (in Russian).
2. Zhadnov V. V. *Raschet nadezhnosti elektronnykh modulei* [Reliability prediction of the electronic modules]. Moscow, Biblioteka studenta Publ, 2016, pp. 11-71 (in Russian).
3. Druzhinin G. V., Stepanov S. V. *Teoriia nadezhnosti radioelektronnykh sistem v primerakh i zadachakh* [Reliability theory of the radioelectronic systems in examples and exercises]. Moscow, Energiia Publ, 1976, pp. 286-303 (in Russian).
4. Gnedenko B. V., Beliaev Iu. K., Solov'ev A. D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moscow, Nauka, 1965. 225 p. (in Russian).
5. Kozlov B. A., Ushakov I. A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Handbook of the reliability prediction for the radioelectronic devices and automatics]. Moscow, Sov. radio, 1975, pp. 49-78 (in Russian).
6. Polesskiy S. N. Analiz rezul'tatov raschetov nadezhnosti v podsisteme ASONIKA-K [Analysis of the reliability calculation results using ASONIKA-K system] // *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov, posviashchennaia 40-letiiu MIEM* [Abstracts of papers of the scientific and technical conference of the students, postgraduates and young specialists, dedicated to the 40th anniversary of MIEM], Moscow, 2002, 395 p. (in Russian).
7. Computer-aided system ASONIKA-K. Available at: <http://asonika.ru/?q=27> (accessed 25.11.2016) (in Russian).
8. Kofanov Iu. N. *Metody parametriceskoi chuvstvitel'nosti radioelektronnykh sredstv* [Methods of the parametrical sensitivity of the radioelectronic devices]. Moscow, Moscow State University of Electronics and Mathematics Publ, 1991, pp. 76-80 (in Russian).
9. Kofanov Iu. N., Zhadnov V. V. *Osnovy teorii nadezhnosti i parametriceskoi chuvstvitel'nosti RES* [Basics of the theory of reliability and parametrical sensitivity of radioelectronic devices]. Moscow, Moscow State University of Electronics and Mathematics Publ, 1990. 36 p. (in Russian).
10. Reliability handbook. Moscow, 22 TSNIИ MO, 2006, pp. 281-342 (in Russian).
11. MILITARY HAND BOOK-217F. Department of Defense, Washington DC, 20301, 1991, pp. 82-142 (in English).

Статья поступила 1 декабря 2016 г.

Информация об авторах

Полесский Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Доцент департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: автоматизация проектирования; информационные технологии; надежность; проектирование систем. E-mail: spolessky@hse.ru

Маякова Ольга Юрьевна – магистрант 2-го года обучения департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: информационные технологии; автоматизация проектирования; языки программирования; надежность. E-mail: kylie92@mail.ru

Алейников Андрей Викторович – магистрант 2-го года обучения департамента компьютерной инженерии. Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики». Область научных интересов: информационные технологии; автоматизация проектирования; телекоммуникационные системы и сети. E-mail: artego93@rambler.ru

Адрес: 123458, Россия, г.Москва, ул. Таллинская, д. 34.

Method for determination of factors that most strongly affect on the electronic devices reliability

S. N. Polesskiy, O. Y. Mayakova, A. V. Aleynikov

Purpose. *In order to determine the level of the reliability of electronic device it is necessary to develop method for analyzing the results of calculation its reliability measures. Such measures are reliability function and mean operating time between failures. Developed method will allow estimating which parameter most strongly effects on the final value of the failure rate for the particular type of the electronic equipment. As a result of the reliability analysis of all the components of electronic device an engineer should obtain values of the reliability measures, boundary values of the operated parameters, and also the recommendations about this or another changes needed for the improvement of the reliability of the electronic device. The aim of the paper is to develop the method for analyzing the results of the reliability measures calculation. All known methods estimate the effect of the parameters by comparing values of the correction factors. New method will allow to analyze calculated values of the factors and to determine the effect of each individual parameter for each correction factor using the relative sensitivity function. The second statement is the main benefit of this study. The parameters considered in the analysis can include, for example, temperature, nominals of the elements, their operating voltage, current and power and tolerance value. Results.* *The application of the developed method will allow making precise recommendations for changes of the operated parameters. This, in its turn, will help to control the reliability level of one or another element and, consequently, of whole electronic devices.*

Key words: *electronic devices, element, failure rate, correction factor, relative sensitivity function, reliability, method of analyzing the results of reliability prediction.*

Information about Authors

Sergey Nikolaevich Polesskiy – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: computer-aided design; information technology; reliability; systems design. E-mail: spolessky@hse.ru

Olga Yur'evna Mayakova – student of magistracy, Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: information technology; computer-aided design; programming languages; reliability. E-mail: kylie92@mail.ru.

Andrey Viktorovich Aleynikov – student of magistracy, Department of "Computer Engineering". National Research University. «Higher School of Economics». Field of research: information technology; computer-aided design; telecommunication systems and networks. E-mail: artego93@rambler.ru.

Address: Russia, 123458, Moscow, Tallinskaya street, 34.