



УДК 621.396.69.019.3:355.242

В.П. СТРЕЛЬНИКОВ

РАСЧЕТ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ОСНОВЕ DN -РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Abstract: Design procedures of sufficiency of the ZIP, quantities of nonrestorable spare elements on the basis of use as theoretical model of failures of elements and a product of two-parametrical DN -distribution are presented.

Key words: failure, sufficiency, reliability, spare.

Анотація: Оцінка достатності ЗІП, кількості невідновлюваних запасних елементів на основі використання як теоретичної моделі відмов двопараметричного DN -розподілу.

Ключові слова: відмова, достатність, імовірність безвідмовної роботи, запасний елемент.

Аннотация: Оценка достаточности ЗИП, количества невосстанавливаемых запасных элементов на основе использования в качестве теоретической модели отказов двухпараметрического DN -распределения.

Ключевые слова: отказ, достаточность, вероятность безотказной работы, запасная часть.

1. Введение

Комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) должен включать запасные части, необходимые для ремонта и поддержания работоспособного состояния изделий в течение определенного времени (периода пополнения ЗИП) и обеспечения требуемого уровня надежности последних. Одной из важнейшей априорной информации, определяющей в конечном итоге объем запасных частей, представляется теоретическая модель отказов, принимаемая при расчетах числа отказов. В настоящей работе принято, что распределение наработки до отказа (на отказ) элементов описывается DN -распределением, которое представляется наиболее универсальной и адекватной моделью отказов электронных и электротехнических изделий [1, 2].

При разработке методики расчета запасных элементов в одиночные комплекты ЗИП-О приняты следующие допущения [3]: аппаратура состоит из последовательно соединенных по надежности невосстанавливаемых элементов; надежность рабочих и запасных элементов каждого типоминнала одинакова; при хранении запасные элементы не отказывают; все работающие (резервные, запасные) элементы отказывают независимо.

В зависимости от назначения аппаратуры, системы ее технического обслуживания и ремонта, требований к аппаратуре по надежности по согласованию с заказчиком период пополнения ($T_{ПЗ}$) принимают равным одному, двум или трем годам. Настоящая методика позволяет рассчитывать объем ЗИП и на более продолжительные периоды (10–20 и более лет).

2. Оценка надежности изделия и показателей достаточности ЗИП

Определяют суммарную наработку изделий t_{Σ} на момент начала периода пополнений с учетом коэффициента интенсивности эксплуатации в этот период. Устанавливают требуемый уровень показателя надежности изделия на момент окончания периода пополнения: вероятность безотказной работы $R_{изд}^{mp}$.

Показатели достаточности ЗИП π_δ определяют на основании анализа ожидаемых ($R_0(T_{ПЗ})$) и требуемых ($R_{изд}^{mp}$) показателей надежности ($\pi_\delta \geq R_{изд}^{mp} / R_0(T_{ПЗ})$), округляя до ближайших значений ряда: 0,9; 0,95; 0,99; 0,995; 0,999; 0,9995; 0,9999.

Примечание. Показатель достаточности ЗИП π_δ может задаваться заказчиком независимо от ожидаемых показателей надежности изделия.

Исходными данными для расчета номенклатуры комплекта ЗИП, количества запасных частей являются: структура и состав изделия (системы); номенклатура составляющих элементов m (типоминалов) и число элементов каждого типа n_i ($i = \overline{1, m}$); показатели надежности каждого типоминала T_{oi}, V_{oi} .

Задание требований к показателям достаточности ЗИП-О для изделий с невосстанавливаемыми запасными элементами

Для оценки достаточности комплектов ЗИП-О изделий с невосстанавливаемыми запасными элементами применяется π_δ , вероятность того, что за время $T_{ПЗ}$ работы изделия не случится ни одного отказа ЗИП. Вероятность π_δ применяется для оценки достаточности комплектов ЗИП при условии, что все запасы в этом комплекте пополняются периодически с одинаковыми периодами и показателем надежности изделия служит вероятность безотказной работы. Исходными данными для расчета показателей достаточности π_δ ЗИП-О являются ожидаемая вероятность безотказной работы изделия $R_0(T_{ПЗ})$ на момент окончания периода пополнения ЗИП и требования к показателям надежности изделия $R_{изд}^{mp}$ [3].

Если неизвестно $R_0(T_{ПЗ})$, то вычисляют

$$R_0(T_{ПЗ}) = 1 - DN(T_{ПЗ}; T_0, V_0) = \Phi\left(\frac{1-x}{V_0\sqrt{x}}\right) - e^{2V_0^{-2}} \Phi\left(-\frac{1+x}{V_0\sqrt{x}}\right),$$

где $x = T_{ПЗ} / T_0$, T_0 – средняя наработка до отказа изделия;

$\Phi(\cdot)$ – функция нормированного нормального распределения.

Примечание. В последней формуле принято значение наработки $t = T_{ПЗ}$, что соответствует началу эксплуатации изделия. В общем случае, когда рассчитывают $R_0(T_{ПЗ})$, учитывают наработку t_Σ до начала очередного периода пополнения ЗИП, т.е. $t = t_\Sigma + T_{ПЗ}$.

Оценка требуемой вероятности безотказной работы элементов

Принимают значение $R_{изд}^{mp}$, удовлетворяющее соотношению $R_{изд}^{mp} \leq R_0(T_{ПЗ})$ и согласно значениям вышеприведенного ряда. Определяют показатель достаточности комплекта ЗИП-О из соотношения $\pi_\delta \geq R_{изд}^{mp} / R_0(T_{ПЗ})$. Если $R_0(T_{ПЗ})$ меньше самого меньшего значения числа из

рекомендуемого ряда вероятностей, то принимают значение $\pi_{\delta} = R_{\text{изд}}^{mp}$ из этого ряда из соображений важности выполняемых функций и экономической целесообразности.

Вычисляют требуемый уровень вероятности безотказной работы R_i^{mp} для совокупности элементов i -го типоминерала $\left(R_i^{mp} = (R_{\text{изд}}^{mp})^{\frac{1}{m}} \right)$, округляя до ближайшего значения рекомендуемого ряда.

Оценка вероятности безотказной работы элементов

Производят расчет R_i (вероятностей безотказной работы совокупности n_i элементов i -го типа за интервал $(0, t_{\Sigma} + T_{ПЗ})$).

По значениям $F = \frac{1}{n_i + 0,5}$ и $V = V_{oi}$ из соответствующих таблиц DN -распределения определяют $x_i = x\left(\frac{1}{n_i + 0,5}; V_{oi}\right) = \frac{t_{1i}}{T_{0i}}$ или решая уравнение

$$F = \Phi\left(\frac{x-1}{v\sqrt{x}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{x+1}{v\sqrt{x}}\right).$$

Далее определяют наработку до первого отказа элементов i -го типа по формуле $t_{1i} = x_i T_{0i}$. Вычисляют $x_i^* = (t_{\Sigma} + T_{ПЗ})/t_{1i}$. По значениям x_i^* снова из тех же таблиц, теперь уже обратным входом, определяют F_i (вероятность появления отказа за интервал $(t_{\Sigma} + T_{ПЗ})$ i -го типа элементов) или решая вышеприведенное уравнение для $x = x_i^*$ относительно F . Вычисляют искомое значение $R_i = 1 - F_i$.

По значениям R_i и R_i^{mp} определяют показатель достаточности $\pi_{\delta i}^{mp}$ обеспечения невосстанавливаемых запасных составляющих частей (элементов) i -го типа (округляя до ближайшего большего значения из рекомендуемого ряда) по формуле (при условии $R_i < R_i^{mp}$)

$$\pi_{\delta i}^{mp} = \begin{cases} 1 - \frac{(1 - R_i^{mp})}{(1 - R_i)}, & \text{при } R_i < (R_{\delta})^{\frac{1}{m}}, \\ (R_{\delta})^{\frac{1}{m}}, & \text{при } R_i \geq (R_{\delta})^{\frac{1}{m}}. \end{cases}$$

Примечание. Если $R_i \geq R_i^{mp}$, то элементы данного типа не входят в номенклатуру ЗИП (принимают $z_i = 0$ для $i = 1, 2, \dots, q$).

Вычисление коэффициента пересчета

Значения коэффициента пересчета θ_{oi} , обеспечивающего заданный уровень достаточности π_{oi}^{mp} невосстанавливаемых элементов i -го типа, вычисляют по формуле

$$\pi_{oi}^{mp} = \Phi\left(\frac{\theta_{oi} - 1}{V_{oi}^* \sqrt{\theta_{oi}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{(V_{oi}^*)^2}\right) \Phi\left(-\frac{\theta_{oi} + 1}{V_{oi}^* \sqrt{\theta_{oi}}}\right),$$

где $V_{oi}^* = \frac{V_{oi}}{\sqrt{\alpha_i}}$, $\alpha_i = INT[a_i + 1]$, a_i – среднее ожидаемое значение числа отказов за рассматриваемое время.

При использовании соответствующих таблиц значение θ_{oi} определяют по значениям $F = \pi_{oi}^{mp}$ и $v = V_{oi}^*$, т.е. табличное значение x равно коэффициенту пересчета $\theta_{oi} = x(\pi_{oi}^{mp}, V_{oi}^*)$. Например, для $\pi_{oi}^{mp} = 0,95$ и $V_{oi}^* = 0,7$ определяем из таблиц DN -распределения:

$$\theta_{oi} = x(\pi_{oi}^{mp}; V_{oi}^*) = x(0,95; 0,7) = 2,3634.$$

3. Расчет количества запасных элементов

Расчет количества запасных невосстанавливаемых элементов z_i производят в следующем порядке.

Определяют средние наработки до отказа составляющих элементов T_{oi} :

– если представлены средние наработки до отказа элементов, то принимают $T_{oi} = T_{oi}$;

– если даны λ_{oi} , то вычисляют T_{oi} следующим образом:

- если $\lambda_{oi} > 10^{-5}$, то $T_{oi} = \frac{1}{\lambda_{oi}}$;
- если $10^{-5} \geq \lambda_{oi} > 10^{-9}$, то $T_{oi} = \exp[2,20568 + 1,0971(\ln \lambda_{oi}^{-1}) - 0,02443(\ln \lambda_{oi}^{-1})^2]$;
- если $10^{-9} \geq \lambda_{oi}$, то $T_{oi} = \frac{0,002}{\lambda_{oi}}$.

Используя известную информацию, устанавливают значения коэффициентов вариации наработки элементов V_{oi} . Для изделий электронной техники (полупроводниковых приборов, интегральных микросхем, резисторов, конденсаторов и т.д.) принимают $V_{oi} = 1$, если нет информации, уточняющей это значение.

Вычисление ожидаемого числа отказов невосстанавливаемых элементов

Если ожидаемое число отказов мало, т.е. при $x_{i2} = \frac{t_{\Sigma} + T_{ПЗ}}{T_{oi}} \leq 0,5$, вычисляют среднее

ожидаемое число отказов a_i следующим образом. Вычисляют вероятность отказа элементов i -го типа на момент начала периода пополнения F_{i1} :

$$F_{i1} = \Phi\left(\frac{x_{i1}-1}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i1}+1}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right).$$

Если $t_{\Sigma} = 0$, то $F_{i1} = 0$.

Вычисляют вероятность отказа элементов i -го типа на момент окончания периода пополнения F_{i2} :

$$F_{i2} = \Phi\left(\frac{x_{i2}-1}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i2}+1}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right).$$

Вычисляют среднее ожидаемое значение отказов по формуле

$$a_i = n_i(F_{i2} - F_{i1}).$$

Если относительная наработка $x_{i2} > 0,5$, т.е. вероятны повторные отказы, то математическое ожидание числа отказов (функцию восстановления) элементов i -го типа на момент начала периода пополнения $\Omega_{i1}(x_{i1})$ вычисляют, используя соответствующие таблицы [1], или по формуле

$$\Omega_{i1}(x_{i1}) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi\left(\frac{x_{i1}-k}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) + \exp\left(\frac{2k}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i1}+k}{V_{0i}\sqrt{x_{i1}}}\right) \right].$$

Если $t_{\Sigma} = 0$, то $\Omega_{i1}(x_{i1}) = 0$.

Вычисляют математическое ожидание числа отказов элементов i -го типа на момент окончания периода пополнения $\Omega_{i2}(x_{i2})$:

$$\Omega_{i2}(x_{i2}) = \sum_{k=1}^5 \left[\Phi\left(\frac{x_{i2}-k}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) + \exp\left(\frac{2k}{V_{0i}^2}\right)\Phi\left(-\frac{x_{i2}+k}{V_{0i}\sqrt{x_{i2}}}\right) \right].$$

Вычисляют среднее ожидаемое значение отказов по формуле

$$a_i = n_i[\Omega_{i2}(x_{i2}) - \Omega_{i1}(x_{i1})].$$

На основании полученных значений $\pi_{\theta i}^{mp}$, a_i и α_i определяют коэффициент θ_{oi} .

Определяют число запасных частей по формуле $z_i = \theta_{oi} a_i$. Округление расчетного значения z_i производят до целого числа в большую сторону, при $z_i < 0,05$ принимают $z_i = 0$.

4. Заключение

Представлены методики расчета показателей достаточности, расчета числа невосстанавливаемых элементов в ЗИП-О на основе наиболее адекватной двухпараметрической функции распределения наработки до отказа (на отказ) диффузионного немонотонного распределения (DN -

распределения). Уточнение объема ЗИП имеет важное практическое значение для обеспечения надежности при эксплуатации технических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
2. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.1999. – К.: Изд-во стандартов, 1999. – 43 с.
3. Кульбак Л.И. Основы расчета обеспечения электронной аппаратуры запасными элементами. – М.: Сов. радио, 1970. – 186 с.

Стаття надійшла до редакції 15.06.2009