



УДК 621.396.69.019.3:355.242

**В.П. СТРЕЛЬНИКОВ**

## **К ОЦЕНКЕ ДОСТАТОЧНОСТИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ**

**Abstract:** Valuation of indicators of sufficiency quantities of spare parts on the basis of use as theoretical model of failures of  $DN$  -distribution is presented.

**Key words:** failure, sufficiency, reliability, spare.

**Анотація:** Оцінка показників достатності кількості запасних частин на основі використання  $DN$  - розподілу як теоретичної моделі відмов.

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

**Аннотация:** Оценка показателей достаточности количества запасных частей на основе использования  $DN$  -распределения в качестве теоретической модели отказов.

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

### **1. Введение**

Важным показателем, характеризующим качество формирования ЗИП с целью обеспечения функционирования объектов при длительной эксплуатации, является достаточность ЗИП, т.е. вероятность того, что в течение заданного периода пополнения ( $T_{ПЗ}$ ) комплект ЗИП не откажет по запасу данного типа запасных частей. В качестве показателей достаточности комплектов ЗИП чаще всего используют вероятность достаточности комплекта ЗИП (для невозстанавливаемых запасных частей) за заданный период пополнения и коэффициент готовности комплекта ЗИП (для восстанавливаемых запасных частей). В настоящей работе принято, что распределение наработки до отказа (на отказ) элементов и изделия в целом описывается  $DN$  -распределением [1–2].

### **2. Задание требований к показателям достаточности ЗИП для изделий с невозстанавливаемыми запасными элементами**

При формировании комплектов ЗИП изделий с невозстанавливаемыми запасными элементами в качестве оценки достаточности применяется  $\pi_\delta$  – вероятность того, что за время  $T_{ПЗ}$  работы изделия не случится ни одного отказа ЗИП. Вероятность  $\pi_\delta$  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  $\pi_\delta$  ЗИП являются ожидаемая вероятность безотказной работы изделия  $R_0(T_{ПЗ})$  на момент окончания периода пополнения ЗИП и требования к показателям надежности изделия  $R_{изд}^{mp}$ .

Если установлено значение  $R_{изд}^{mp}$ , удовлетворяющее соотношению  $R_{изд}^{mp} \leq R_0(T_{ПЗ})$ , определяют показатель достаточности комплекта ЗИП из соотношения  $\pi_\delta \geq R_{изд}^{mp} / R_0(T_{ПЗ})$ . Если

$R_0(T_{ПЗ}) < R_{изд}^{mp}$ , то принимают значение  $\pi_\delta = R_{изд}^{mp}$  из соображений важности выполняемых функций и экономической целесообразности.

Вычисляют требуемый уровень вероятности безотказной работы  $R_i^{mp}$  для совокупности элементов  $i$ -го типонаминала  $\left( R_i^{mp} = (R_{изд}^{mp})^{\frac{1}{m}} \right)$ , где  $m$  – число типонаминалов элементов.

Далее производят расчет  $R_i$  (вероятностей безотказной работы совокупности  $n_i$  элементов  $i$ -го типа за интервал  $(0, t_\Sigma + T_{ПЗ})$ ). По значениям  $R_i$  и  $R_i^{mp}$  определяют показатель достаточности  $\pi_{\delta i}^{mp}$  обеспечения невосстанавливаемых запасных составляющих частей (элементов)  $i$ -го типа по формуле (при условии  $R_i < R_i^{mp}$ )

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

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

Значения коэффициента пересчета  $\theta_{\delta i}$ , обеспечивающего заданный уровень достаточности  $\pi_{\delta i}^{mp}$  невосстанавливаемых элементов  $i$ -го типа, вычисляют, используя функцию распределения числа отказов на фиксированное значение наработки (обратное диффузионное немонотонное распределение) [2]:

$$\pi_{\delta i}^{mp} = \Phi\left(\frac{\theta_{\delta i} - 1}{V_{0i}^* \sqrt{\theta_{\delta i}}}\right) + \exp\left(\frac{2}{(V_{0i}^*)^2}\right) \Phi\left(-\frac{\theta_{\delta i} + 1}{V_{0i}^* \sqrt{\theta_{\delta i}}}\right),$$

где  $V_{0i}^* = \frac{V_{0i}}{\sqrt{\alpha_i}}$ ,  $\alpha_i = INT[a_i + 1]$ ,  $a_i$  – среднее ожидаемое значение числа отказов за рассматриваемое время.

Значение  $\theta_{\delta i}$  можно определять, используя таблицы нормированного  $DN$ -распределения по значениям  $F = \pi_{\delta i}^{mp}$  и  $V = V_{0i}^*$ , т.е. табличное значение  $x$  равно коэффициенту пересчета  $\theta_{\delta i} = x(\pi_{\delta i}^{mp}; V_{0i}^*)$ . Например, для  $\pi_{\delta i}^{mp} = 0,95$  и  $V_{0i}^* = 0,7$  определяем из таблиц  $DN$ -распределения (табл. А.2-А.3 [2]):  $\theta_{\delta i} = x(\pi_{\delta i}^{mp}; V_{0i}^*) = x(0,95; 0,7) = 2,3634$ . Для некоторых значений  $\pi_\delta$  предлагаемые коэффициенты пересчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициента пересчета  $\theta_\circ$

$\pi_\circ$	Значения $\theta_\circ$ при $V^*$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,9	1,14	1,29	1,40	1,53	1,65	1,77	1,88	1,98	2,06	2,14
0,95	1,18	1,39	1,56	1,76	1,96	2,16	2,36	2,56	2,74	2,92
0,99	1,26	1,59	1,89	2,26	2,67	3,10	3,55	4,02	4,50	4,98
0,995	1,29	1,67	2,03	2,48	2,97	3,51	4,08	4,68	5,31	5,96
0,999	1,36	1,84	2,34	2,97	3,69	4,48	5,36	6,29	7,30	8,36
0,9995	1,39	1,91	2,47	3,18	3,99	4,91	5,92	7,01	8,19	9,44

При традиционном расчете ЗИП на основе использования в качестве теоретической модели распределения наработки экспоненциального распределения ожидаемое среднее число отказов элементов  $i$ -го типа  $a_i^E$  вычисляются по формуле  $a_i^E = \lambda_{zi} \cdot n_i \cdot T_{ПЗ}$ , где  $\lambda_{zi}$  – интенсивность отказов элементов  $i$ -го типа,  $n_i$  – число элементов  $i$ -го типа.

Значение числа элементов  $z_i^E$ , закладываемых в ЗИП, вычисляются из соотношения [3]

$$R_i^{mp} = \exp(-a_i^E) \sum_{k=0}^{z_i^E+1} \frac{(a_i^E)^k}{k!}.$$

Ниже, в табл. 2, приведены значения коэффициентов пересчета  $\theta_\circ^E$  и  $\theta_\circ^{DN}$  на основе использования различных теоретических моделей распределения отказов для принятого значения коэффициента вариации наработки, равного единице (для того, чтобы сравнить коэффициенты пересчета).

Следует отметить, что коэффициент пересчета на основе экспоненциального распределения не связан с коэффициентом вариации наработки до отказа объектов, а коэффициент пересчета на основе  $DN$ -распределения зависит от коэффициента вариации распределения наработки до отказа элементов. Поэтому его оценки более адекватны.

Таблица 2. Значения коэффициентов пересчета на основе экспоненциального и  $DN$ -распределения

$a_i$	$\pi_\circ$							
	0,99		0,995		0,999		0,9995	
	$\theta_\circ^E$	$\theta_\circ^{DN}$	$\theta_\circ^E$	$\theta_\circ^{DN}$	$\theta_\circ^E$	$\theta_\circ^{DN}$	$\theta_\circ^E$	$\theta_\circ^{DN}$
1	3	4,9	3	5,9	4	8,3	4	9,4
2	2,5	3,5	2,5	4,1	3	5,4	3,5	5,9
3	2	3,1	2,3	3,5	2,7	4,4	3	4,9
4	2	2,6	2,2	3	2,5	3,7	2,8	4
5	1,8	2,4	2	2,7	2,4	3,2	2,4	3,6
10	1,7	1,9	1,8	2,1	2	2,4	2,1	2,6
20	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9	1,8	2

### 3. Задание требований к показателям достаточности ЗИП для изделий с восстанавливаемыми запасными частями

Для оценки достаточности комплектов ЗИП изделий с восстанавливаемыми запасными частями применяется коэффициент готовности ЗИП  $K_{ЗИП}$  – это вероятность того, что в произвольный

момент времени при заданном способе пополнения комплект ЗИП не откажет по запасу восстанавливаемых запасных частей. Исходными данными для расчета показателей достаточности  $\pi_0 = K_{ЗИП}$  является ожидаемый коэффициент готовности изделия  $K_2$  при условии, что запасные части всегда в наличии и требуемое значение коэффициента готовности изделия  $K_2^{mp}$ .

Если неизвестно значение  $K_2$ , то вычисляют ожидаемое значение по формуле  $(K_2 = T_0 / (T_0 + T_e))$ , где  $T_e$  – время восстановления. Принимают значение  $K_2^{mp}$ , удовлетворяющее соотношению  $K_2^{mp} \leq K_2$ .

Определяют показатель достаточности комплекта ЗИП из соотношения  $\pi_0 \geq K_2^{mp} / K_2$ . Если  $K_2$  меньше  $K_2^{mp}$ , то принимают значение  $\pi_0 = K_2^{mp}$ . Вычисляют требуемый уровень коэффициента готовности  $K_{2j}^{mp}$  для совокупности блоков (ТЭЗов)  $j$ -го типа  $\left( K_{2j}^{mp} = (K_2^{mp})^{\frac{1}{M}} \right)$ , где  $M$  – число типов восстанавливаемых блоков.

Показатель достаточности для восстанавливаемых запасных частей устанавливают по формуле (при условии  $K_{2j} < K_{2j}^{mp}$ )

$$\pi_{Tj}^{mp} = \begin{cases} 1 - \frac{(1 - K_{2j}^{mp})}{(1 - K_{2j})}, & \text{при } K_{2j} < (K_2)^{\frac{1}{M}}; \\ (K_2)^{\frac{1}{M}}, & \text{при } K_{2j} \geq (K_2)^{\frac{1}{M}}. \end{cases}$$

*Примечание.* Если  $K_{2j} \geq K_{2j}^{mp}$ , то элементы данного типа не входят в номенклатуру ЗИП (принимают число восстанавливаемых запасных частей  $j$ -го типа  $z_{ТЭЗj} = 0$ ).

Значения коэффициента пересчета  $\theta_{ТЭЗj}$ , обеспечивающего заданный уровень достаточности  $\pi_{Tj}^{mp}$  восстанавливаемых частей  $j$ -го типа, вычисляют аналогично предыдущему случаю, используя вышеприведенную таблицу или решая уравнение

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

где  $V_{ТЭЗj}^* = \frac{V_{ТЭЗj}}{\sqrt{\alpha_j^*}}$ ,  $\alpha_j^* = INT[a_{ТЭЗj} + 1]$ ,  $a_{ТЭЗj}$  – среднее ожидаемое число отказов блоков (ТЭЗ<sub>*j*</sub>)

$j$ -го типа с учетом восстановления,  $V_{ТЭЗj}$  – коэффициент вариации наработки до отказа (на отказ) блоков (ТЭЗ<sub>*j*</sub>)  $j$ -го типа.

#### 4. Заключение

Представлены методики расчета показателей достаточности и необходимого количества запасных частей в ЗИП на основе двухпараметрической функции распределения наработки до отказа (на отказ) диффузионного немонотонного распределения ( $DN$ -распределения).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.1999. – К.: Изд-во стандартов. – 43 с.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. Шура-Бура А.Э., Топольский М.В. Методы организации расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем. – М.: Советское радио, 1986. – 130 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.10.2009*