

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Примеры и задачи по расчету показателей достаточности комплектов ЗИП

Пример П1.1

Система содержит три группы элементов с характеристиками, приведенными в табл. П1.1.

Таблица П1.1. Характеристики системы

i	k_i	$\lambda_i * 10^6, \text{ч}^{-1}$	$k_i \lambda_i * 10^6, \text{ч}^{-1}$	L_i	$T_i, \text{ч}$
1	30	6	180	1	4380
2	45	10	450	2	4380
3	15	1	15	0	4380
4	90	17	645	3	4380

Для обеспечения надежности предусмотрен комплект ЗИП-О с периодическим пополнением запасов один раз в полгода ($T = 4380$ час). Необходимо найти показатели достаточности комплекта ЗИП.

Решение

Локальный в конце периода пополнения и средний по периоду пополнения коэффициенты готовности комплекта находят по формулам (1.6) и (1.7) при $L = 0, 1$ и 2 . Среднее время задержки вычисляют по формуле (1.38). Результаты расчета приведены в табл. П1.2.

Таблица П1.2. Результаты расчета

i	$K_{\text{ЗИП}}^*(T)$	$K_{\text{ЗИП}}(T)$	$k\lambda\Delta t_{\text{ЗИП}}(L)$	$\Delta t_{\text{ЗИП}}(L), \text{ч}$	$k\lambda\Delta t_{\text{ЗИП,рп}}(L)$	$\Delta t_{\text{ЗИП,рп}}(L), \text{ч}$	$\delta \%$
1	0,8130	0,9291	0,07635	424,2	0,07358	408,8	-3,63
2	0,6845	0,8941	0,11846	263,2	0,11195	248,8	-5,49
3	0,9364	0,9679	0,03321	2214,0	0,03267	2178,0	-1,62
4	0,5211	0,8040	0,24384	378,0	0,21820	338,3	-10,5

$$\delta \% = 100(\Delta t_{\text{ЗИП,рп}}(L) - \Delta t_{\text{ЗИП}}(L)) / \Delta t_{\text{ЗИП}}(L).$$

Коэффициент готовности ЗИП находится на уровне 0,8, среднее время задержки в выполнении заявки достаточно велико — около 380 часов (16 суток). Кроме расчета по точной формуле проведен расчет среднего времени задержки и по приближенной формуле (1.45). Из таблицы следует, что ошибка не велика и составляет от 2 до 6 процентов для групп элементов и около 10 % для системы в целом.

Пример П1.2

Для системы, рассмотренной в примере П1.1, введена стратегия периодического пополнения с экстренной доставкой. Среднее время экстренной доставки $\bar{T}_{ЭД} = 2$ недели = 336 ч. Необходимо найти показатели достаточности комплекта ЗИП и исследовать влияние экстренной доставки и значения $\bar{T}_{ЭД}$ на показатели достаточности.

Решение

Для расчета коэффициента готовности ЗИП при $L = 0$ используем формулы (1.20) и (1.21). При $L = 1$ используем формулы (1.22). Для получения точной формулы при $L = 2$ надо найти корни полинома:

$$s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0 = 0,$$

$$A_2 = 1 + 3k\rho, A_1 = 3k\rho(1 + k\rho), A_0 = (k\rho)^2(3 + k\rho), \rho = \lambda \bar{T}_{ЭД}.$$

Для вычисления корней можно использовать программу DERIVE.

Если два корня образуют комплексно-сопряженную пару $a \pm ib$, а третий корень действителен и равен $(-c)$, то расчет коэффициента готовности ЗИП проводят по формулам, полученным в результате обратного преобразования в (1.18):

$$K_{ЗИП}^*(t, 2) = \frac{3}{3 + k\rho} + \frac{k\rho}{3 + k\rho} \left(C_1 e^{-a\mu t} \sin(b\mu t) + C_2 e^{-a\mu t} \cos(b\mu t) + C_3 e^{-c\mu t} \right),$$

$$K_{ЗИП}(T, 2) = \frac{3}{3 + k\rho} + \frac{k\rho}{3 + k\rho} \left(\frac{1}{(a^2 + b^2)D} (C_1 (b - e^{-aD} (a \sin(bD) + b \cos(bD))) + C_2 (a - e^{-aD} (a \cos(bD) - b \sin(bD))) + \frac{C_3}{cD} (1 - e^{-cD}) \right),$$

$$C_1 = \frac{c}{b} \frac{a(c-a) + b^2}{(c-a)^2 + b^2}, C_3 = 1 - C_2 = \frac{a^2 + b^2}{(c-a)^2 + b^2}, D = \mu T = T / \bar{T}_{ЭД}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. П1.3.

Таблица П1.3. ПЭД, $T = 4380$, $\bar{T}_{ЭД} = 336$, $D = 13,03$, $a = 0,2240$, $b = 0,14648$, $c = 1,0055$

i	L_i	$K_{ЗИП}^*(T)$	$K_{ЗИП}(T)$	$k\lambda\Delta t_{ЗИП}(L)$	$\Delta t_{ЗИП}(L)$, ч	δ_1	δ_2
1	1	0,9772	0,9869	0,01330	73,9	8,21	5,40
2	2	0,9565	0,9783	0,02222	49,4	7,25	4,87
3	0	0,9950	0,9954	0,00465	310	12,7	6,94
4	3	0,9300	0,9609	0,04064	63,0	6,84	5,02

$$\delta_1 = (1 - K_{ЗИП}^*(T, \Pi)) / (1 - K_{ЗИП}^*(T, \Pi \text{ЭД})), \delta_2 = (1 - K_{ЗИП}(T, \Pi)) / (1 - K_{ЗИП}(T, \Pi \text{ЭД})).$$

Из таблицы следует, что экстренная доставка позволила уменьшить локальный коэффициент неготовности ЗИП в 8–12 раз, а средний коэффициент неготовности — в 5–7 раз. Если среднее время экстренной доставки увеличится вдвое до 1095 час., то это снизит эффективность экстренной доставки. Результаты расчетов приведены в табл. П1.4.

Таблица П1.4. ПЭД, $T = 4380$, $\bar{T}_{ЭД} = 1095$, $D = 4$, $a = 0,60792$, $b = 0,54973$, $c = 1,26241$

i	L_i	$K_{эзип}^*(T)$	$K_{эзип}(T)$	$k\lambda\Delta t_{зип}(L)$	$\Delta t_{зип}(L)$, ч	δ_1	δ_2
1	1	0,9360	0,9682	0,03289	183	2,92	2,23
2	2	0,8812	0,9491	0,05362	119	2,66	2,08
3	0	0,9841	0,9877	0,01241	827	4,00	2,62
4	3	0,8117	0,9076	0,10177	158	2,54	2,12

$$\delta_1 = (1 - K_{эзип}^*(T, П)) / (1 - K_{эзип}^*(T, ПЭД)), \quad \delta_2 = (1 - K_{эзип}(T, П)) / (1 - K_{эзип}(T, ПЭД)).$$

Локальный коэффициент неготовности ЗИП уменьшился в 2,5–4 раза, а средний коэффициент неготовности — в 2–2,6 раза. Результаты расчета среднего времени задержки по приближенной формуле приведены в табл. П1.5.

Таблица П1.5. Результаты расчета среднего времени задержки

i	L_i	$k\lambda\Delta t_{зип,рп}(L)$		$\Delta t_{зип,рп}(L)$, ч		δ %	
		$D = 13$	$D = 4$	$D = 13$	$D = 4$	$D = 13$	$D = 4$
1	1	0,01321	0,03236	73,4	180	-0,66	-1,61
2	2	0,02198	0,05223	48,8	116	-1,10	-2,59
3	0	0,00464	0,01233	310	822	-0,23	-0,62
4	3	0,03984	0,09691	61,8	150	-1,98	-4,77

$$\delta \% = 100(\Delta t_{зип,рп}(L) - \Delta t_{зип}(L)) / \Delta t_{зип}(L), \quad D = T / \bar{T}_{ЭД}.$$

Пример П1.3

Для системы, рассмотренной в примере П1.1, введена стратегия пополнения по уровню 0 для запасов первого и второго типов и непрерывного пополнения для запасов третьего типа. Среднее время доставки равно 336 час (2 недели). Необходимо найти показатели достаточности комплекта ЗИП.

Решение

Для расчета коэффициента готовности ЗИП при $L = 1$ и 2 , $m = 0$ используем формулы (1.29) и (1.31), для непрерывного пополнения — формулу (1.28). Для параметров рассматриваемого комплекта ЗИП формулы приобретают вид:

$$K_{эзип}(L = 1, m = 0, ПУ) = 1 - \frac{A^2}{1 + A + A^2}, \quad K_{эзип}(L = 2, m = 0, ПУ) = 1 - \frac{A^2 / 2}{1 + A + A^2 / 2},$$

$$K_{зип}(L=2, m=1, ПУ) = 1 - \frac{A^3}{1+A+A^2+A^3}, K_{зип}(L=0, НП) = 1 - \frac{A}{1+A},$$

$$K_{зип}(L=1, НП) = 1 - \frac{A^2/2}{1+A+A^2/2}, A = k\lambda \bar{T}_o.$$

Из формул следует, что стратегия ПУ при $L=2, m=0$ и стратегия НП при $L=1$ дают один и тот же результат. Поэтому далее для запасов второго типа будем использовать более экономичную стратегию НП при $L=1$ вместо ПУ при $L=2$.

Результаты расчетов приведены в табл. П1.6.

Таблица П1.6. Смешанные стратегии пополнения

$k\lambda * 10^6$	\bar{T}_o	L	A	$K_{зип}$	$k\lambda \Delta t_{зип}$	$\Delta t_{зип}, \text{ч}$	$k\lambda \Delta t_{зип, нп}$	$\Delta t_{зип, нп}, \text{ч}$
180	336	1, ПУ	0,06048	0,99656	0,00345	19,16	0,00344	19,13
450	336	1, НП	0,1512	0,99017	0,00993	22,07	0,00988	21,96
15	336	0, НП	0,00504	0,99499	0,00504	336	0,00503	335,2
645	336		0,21672	0,98182	0,01842	28,56	0,01835	28,45

Пример П1.4

В однородной системе из 20 элементов с интенсивностью отказов $\lambda = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ создается комплект ЗИП из двух запасных частей с периодическим пополнением запасов. Период пополнения равен $T = 0,5 \text{ года} = 4380 \text{ час}$ или $T = 1 \text{ год} = 8760 \text{ час}$. Интенсивность отказов ЗЧ при хранении равна $\sigma = \beta\lambda$. Найти вероятность достаточности и коэффициент готовности ЗИП, оценить влияние отказов ЗЧ при хранении на показатели достаточности.

Решение

Расчет проводим по формулам (1.62) и (1.63) при $L=2$. Результаты расчетов приведены в табл. П1.7.

Таблица П1.7. $T=1 \text{ год} = 8760 \text{ час}$. Периодическое пополнение

β	α	P_o		$K_{зип}$		$\delta_1, \%$		$\delta_2, \%$	
		$T=0,5$	$T=1$	$T=0,5$	$T=1$	$T=0,5$	$T=1$	$T=0,5$	$T=1$
0	0	0,9410	0,7434	0,9832	0,9166	0	0	0	0
0,05	0,0025	0,9407	0,7423	0,9831	0,9162	0,59	0,45	0,63	0,52
0,1	0,005	0,9403	0,7411	0,9830	0,9157	1,19	0,91	1,25	1,04
0,2	0,01	0,9396	0,7388	0,9828	0,9149	2,38	1,81	2,51	2,07
1	0,05	0,9340	0,7205	0,9810	0,9080	11,95	8,92	12,69	10,33

$$\delta_1 = 100(P_o(T, 0) - P_o(T, \sigma)) / (1 - P_o(T, 0)), \alpha = B/A = \beta/k,$$

$$\delta_2 = 100(K_{зип}(T, 0) - K_{зип}(T, \sigma)) / (1 - K_{зип}(T, 0)).$$

Влияние отказов ЗЧ при хранении не велико, даже в случае, когда они отказывают так же часто, как и при работе. С увеличением периода пополнения влияние падает. Такой эффект можно объяснить тем, что число ЗЧ составляет всего 10 % от числа элементов в системе.

Пример П1.5

В однородной системе из 20 элементов с интенсивностью отказов $\lambda = 3 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ создается комплект ЗИП из двух запасных частей с пополнением запасов по уровню $m = 0$. Среднее время доставки ЗЧ равно $\bar{T}_\partial = 336$ или 672 час. Интенсивность отказов ЗЧ при хранении равна $\sigma = \beta\lambda$. Найти вероятность достаточности и коэффициент готовности ЗИП, оценить влияние отказов ЗЧ при хранении на показатели достаточности.

Решение

Расчет проводим по формулам (1.68) при $L = 2$. Результаты расчетов приведены в табл. П1.8.

Таблица П1.8. Пополнение по уровню $m = 0$, $k = 20$

β	ρ_1		$K_{\text{ЗИП}}$		$\delta_1, \%$	
	$\bar{T}_\partial = 336$	$\bar{T}_\partial = 672$	$\bar{T}_\partial = 336$	$\bar{T}_\partial = 672$	$\bar{T}_\partial = 336$	$\bar{T}_\partial = 672$
0	0	0	0,98337	0,94524	0	0
0,05	0,00050	0,00101	0,98332	0,94511	0,30	0,24
0,1	0,00101	0,00202	0,98327	0,94498	0,60	0,48
0,2	0,00202	0,00403	0,98317	0,94472	1,21	0,95
1	0,01008	0,02016	0,98239	0,94273	5,92	4,59

$$\delta_1 = 100(K_{\text{ЗИП}}(\bar{T}_\partial, 0) - K_{\text{ЗИП}}(\bar{T}_\partial, \sigma)) / (1 - K_{\text{ЗИП}}(\bar{T}_\partial, 0)).$$

Влияние отказов ЗЧ при хранении не велико, даже в случае, когда они отказывают так же часто, как и при работе. И оно еще меньше, чем при периодическом пополнении.