

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Примеры оценки и оптимизации комплектов одиночного ЗИП (ЗИП-О) по критерию достаточности

Пример ПЗ.1

Автоматизированная система управления радиационным контролем блока атомной электрической станции (АЭС) имеет в своем составе подсистему, состоящую из группы процессорных плат с процессором РПШ, видеоадаптером и сетевым адаптером (ПП РПШ), процессорных плат СРСІ (ППСРСІ), жестких дисков ЖД SCSI, оперативной памяти (ОП) SO-DIMM, флоппи-дисков (ФД) СРСІ, мониторов 19 дюймов CRT, интерфейсных плат для связи с магистралью типа RS (PRS), сетевых адаптеров для связи с магистралью Ethernet (СЕ), сетевых адаптеров СРСІ для связи с магистралью Ethernet (DCE) и кросс-плат (КП) СРСІ. Исходные данные по составу подсистемы и показателям надежности модулей приведены в графах 1–7 табл. ПЗ.1. Для повышения надежности информационно-вычислительного комплекса (ИВК) используется комплект одиночного ЗИП (ЗИП-О) с периодическим пополнением запасов (период $T = 1$ год = 8760 час). В качестве показателя достаточности принят коэффициент готовности комплекта с нормативным значением $K_{зип}^0 = 0,9$. Необходимо найти оптимальный комплект ЗИП-О по критерию минимума суммарных затрат.

Решение

По формуле (3.24) находим $D = -\ln K_{зип}^0 = 0,1054$. Выполняя шаги 1–6 алгоритма оптимизации из разд. 3.2.1 главы 3, находим базовый комплект и записываем в графу 8 табл. ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1. Таблица формуляров

Наименование	i	n	$\lambda \times 10^6, \text{ч}^{-1}$	$C, \text{тыс. руб.}$	α	$T, \text{лет}$	β	L^0
0	1	2	3	4	5	6	7	8
ПП РПШ	1	4	10,0	23,000	1	1	–	1
ПП СРСІ	2	7	10,0	30,000	1	1	–	1
ЖД SCSI	3	7	22,7	9,000	1	1	–	2
ОП	4	16	5,0	1,000	1	1	–	1
ФД СРСІ	5	11	5,0	0,800	1	1	–	1
Mon19"С	6	5	40,0	15,000	1	1	–	2

Таблица ПЗ.1 (окончание)

Наименование	i	n	$\lambda \times 10^6, \text{ч}^{-1}$	$C, \text{ тыс. руб.}$	α	$T, \text{ лет}$	β	L^0
PRSCPCI	7	8	10,0	14,000	1	1	–	1
CE	8	8	4,0	0,900	1	1	–	1
DCE	9	4	4,0	1,400	1	1	–	1
КрП СРСИ	10	7	6,0	2,000	1	1	–	1
Всего	Всего	77	116,7	97,100				12

В базовый комплект входит 12 запасных частей общей стоимостью $C_{\Sigma \text{ЗИП}} = 121,1$ тыс. руб. Он имеет коэффициент готовности $K_{\Sigma \text{ЗИП}}(L^0) = 0,6777$, что существенно меньше нормативного значения. Поэтому далее проводится многошаговая процедура оптимизации 7–13 из разд. 3.2.1 главы 3. Результаты оптимизации приведены в табл. ПЗ.2.

Таблица ПЗ.2. Шаги оптимизации

№	i	L	A	$-\ln R(L, A)$	$-\ln R(L+1, A)$	Δ	C_{Σ}	$K_{\Sigma \text{ЗИП}}$
0	1	8	9	10	11	12	13	14
1	4	1	0,7008	0,06014	0,00956	0,05058	122,1	0,7128
2	5	1	0,4818	0,03106	0,00351	0,03443	122,9	0,7328
3	8	1	0,2800	0,01145	0,00077	0,01186	123,8	0,7406
4	10	1	0,3682	0,01904	0,00167	0,00868	125,8	0,7536
5	4	2	0,7008	0,00956	0,00127	0,00829	126,8	0,7599
6	3	2	1,3919	0,05205	0,01285	0,00436	135,8	0,7902
7	7	1	0,3504	0,06014	0,00127	0,00421	149,8	0,8312
8	6	2	1,7520	0,0871	0,02603	0,00407	164,8	0,8836
9	5	2	0,4818	0,00351	0,00033	0,00398	165,6	0,8864
10	9	1	0,1400	0,00305	0,00011	0,00210	167,0	0,8890
11	2	1	0,6132	0,04767	0,00672	0,00137	197,0	0,9262
12	9	2	0,1400	0,00011	2,9E-06	7,3E-05	195,6	0,9230
13	5	3	0,4818	0,00033	2,6E-05	0,00038	194,8	0,9205

На шаге 11 оптимизации впервые выполняется условие (3.26) и коэффициент готовности 0,9262 превышает нормативное значение 0,9. Далее, согласно процедуре 18–23 из разд. 3.2.1 главы 3, выполняются еще два шага оптимизации с целью сокращения состава комплекта, в результате которых из комплекта удаляются две ЗЧ: ФД и DCE.

Оптимальный комплект (табл. ПЗ.3) содержит 21 запасную часть, имеет $K_{\Sigma \text{ЗИП}}(L) = 0,9205$ и суммарную стоимость $C_{\Sigma \text{ЗИП}} = 194,8$ тыс. рублей, что составляет 32 % стоимости основной аппаратуры.

Таблица ПЗ.3. Оптимальный комплект ЗИП-О (к примеру ПЗ.1)

№	Наименование	n	C	T , лет	L	C_{Σ}	$K_{ЗИП}$
1	ПП РИИ	4	23,000	1	1	23,000	0,98277
2	ПП СРСИ	7	30,000	1	2	60,000	0,99330
3	ЖД SCSI	7	9,000	1	3	27,000	0,98723
4	ОП	16	1,000	1	3	3,000	0,99873
5	ФД СРСИ	11	0,800	1	2	1,600	0,99649
6	Mon19"С	5	15,000	1	3	45,00	0,97431
7	ПРСРСИ	8	14,000	1	2	28,000	0,99049
8	СЕ	8	0,900	1	2	1,800	0,99923
9	DCE	4	1,400	1	1	1,400	0,99695
10	КрП СРСИ	7	2,000	1	2	4,000	0,99833
11	Всего	77	97,100		21	194,80	0,92052

Для уменьшения относительной стоимости комплекта можно либо уменьшить период пополнения, либо использовать другую стратегию пополнения для некоторых типов запасов. Так если принять $T = 0,5$ года, то уже базовый комплект имеет $K_{ЗИП}(L^0) = 0,9076$ при относительной стоимости 20 %.

Пример ПЗ.2

К условиям примера ПЗ.1 добавляется еще одно: суммарные затраты на комплект ЗИП не должны превышать 25 % стоимости основной аппаратуры. Необходимо найти оптимальный комплект ЗИП-О, используя возможность непрерывного пополнения запасов по модулям 1, 2 и 7 типов со средним временем доставки $T_0 = 0,25$ года (1 квартал).

Решение

Условие (3.35) нарушается на пятом шаге оптимизации по схеме *разд. 3.2.1 главы 3* (см. табл. ПЗ.2). Поэтому базовым комплектом для оптимизации с помощью действий 2–9 из *разд. 3.2.2 главы 3* является результат четвертого шага оптимизации по схеме *разд. 3.2.1 главы 3* (табл. ПЗ.4).

Таблица ПЗ.4. Оптимальный комплект ЗИП-О после четвертого шага

№	Наименование	n	C	T , лет	L	C_{Σ}	$P_c(t, L)$	$K_{ЗИП}$
1	ПП РИИ	4	23,000	1	1	23,000	0,99711	0,98277
2	ПП СРСИ	7	30,000	1	1	30,000	0,96919	0,95344
3	ЖД SCSI	7	9,000	1	3	27,000	0,97129	0,98723
4	ОП	16	1,000	1	4	4,000	0,99948	0,99986
5	ФД СРСИ	11	0,800	1	2	1,600	0,99802	0,99649
6	Mon19"С	5	15,000	1	3	45,00	0,96197	0,97431

Таблица ПЗ.4 (окончание)

№	Наименование	n	C	T , лет	L	C_{Σ}	$P_c(t, L)$	$K_{зип}$
7	PRSCPCI	8	14,000	1	1	14,000	0,98133	0,94163
8	CE	8	0,900	1	1	0,900	0,99846	0,98862
9	DCE	4	1,400	1	2	2,800	0,99959	0,99990
10	КрП CPCI	7	2,000	1	2	4,000	0,99367	0,99833
11	Всего	77	97,100		20	152,300	0,87657	0,83447

Суммарные затраты на комплект ЗИП-О составляют 152,4 тыс. рублей, т. е. 25 % стоимости основной аппаратуры (609,2 тыс. рублей). Поскольку при этом ВБР системы $P_c(t, L) = 0,8766 < 0,9$, выполняем действия 2–9 из разд. 3.2.2 главы 3. Дополняя таблицу формул двумя графами ($R(\alpha = 4)$ и $\Delta = R(\alpha = 4) - R(\alpha = 1)$), устанавливаем приоритеты типов запасов, где будет изменяться способ пополнения запасов (табл. ПЗ.5): сначала ПП CPCI, затем PRS CPCI и ПП PIII.

Таблица ПЗ.5. Шаги оптимизации по способу пополнения

i	n	r	ra	C	$R(\alpha = 1)$	$R(\alpha = 4)$	Δ	$P_c(t, L)$
1	4	2	0,1752	0,3504	0,99711	0,99940	0,00228***	–
2	7	3	0,2628	0,6132	0,96919	0,98598	0,01679*	0,89176
7	8	4	0,3504	0,7008	0,98133	0,99571	0,01437**	0,90482

Данные об оптимальном комплекте и его характеристиках приведены в табл. ПЗ.6. Из этих данных видно, что уже после второго шага оптимизации изменение способа пополнения запасов увеличивает ВБР системы от 0,8755 до 0,9048. Порядок изменения отмечен в табл. ПЗ.5 звездочками.

Таблица ПЗ.6. Оптимальный комплект ЗИП-О

№	Наименование	n	α	T, T_d , лет	L	C_{Σ}	$P_c(t, L)$	$K_{зип}$
1	ПП PIII	4	1	1	1	23,00	0,99711	0,982773
2	ПП CPCI	7	4	0,25	1	30,00	0,98598	0,953444
3	ЖД SCSI	7	1	1	3	27,00	0,97129	0,987231
4	ОП	16	1	1	4	4,00	0,99948	0,99986
5	ФД CPCI	11	1	1	2	1,60	0,99802	0,996493
6	Mon19"С	5	1	1	3	45,0	0,96197	0,974307
7	PRSCPCI	8	4	0,25	1	14,00	0,99571	0,941631
8	CE	8	1	1	1	0,900	0,99846	0,988618
9	DCE	4	1	1	2	2,800	0,99959	0,999895
10	КрП CPCI	7	1	1	2	4,000	0,99367	0,998328
11	Всего	77			20	152,3	0,90482	0,83447

Оптимальный комплект имеет $K_{эЗИП} = 0,834$ и обеспечивает ВБР системы не менее нормативного значения. Нормативное значение ВБР достигнуто при значении $K_{эЗИП} < 0,9$, т. е. меньше нормативного значения ПД в примере ПЗ.1.

Пример ПЗ.3

Комплект ЗИП-Г с периодическим пополнением запасов обслуживает два одинаковых комплекта ЗИП-О, в которых запасы также пополняются периодически. Каждый из комплектов ЗИП-О имеет три типа запасных частей. Периоды пополнения ЗИП-О и ЗИП-Г одинаковы. В таблице исходные данные (табл. ПЗ.7) приведены для каждого ЗИП-О: количество ЗЧ и средний расход ЗЧ в периоде пополнения, для ЗИП-Г: количество ЗЧ каждого типа.

Таблица ПЗ.7. Исходные данные

i	A_i	L_{oi}	M	L_{zi}
1	0,8	1	2	2
2	2	2	2	4
3	2,5	2	2	5
Всего	5,3	5	2	11

Необходимо найти коэффициенты готовности ЗИП-Г: локальный и средний по периоду пополнения для отдельных типов запасов и для всего комплекта, сравнить с коэффициентами готовности ЗИП-О.

Решение

Расчеты для ЗИП-Г проводят по формулам модели 3.1: (3.82)–(3.83) при $L_0 = 1$, $M = 2$, $L_T = 2$ и (3.85)–(3.86) при $L_0 = 2$, $M = 2$, $L_T = 4, 5$, а для ЗИП-О по формулам (1.6) и (1.7). Чтобы учесть уровень запасов в ЗИП-Г и возможную дополнительную задержку в пополнении комплекта ЗИП-О, надо скорректировать период пополнения ЗИП-О и среднее число ЗЧ в заявках от одного образца аппаратуры по формулам:

$$T^* = T + \Delta t_{ЗИП-Г}, A^* = k\lambda T^* = A + \Lambda_T \Delta t_{ЗИП-Г} / M.$$

Результаты расчетов приведены в табл. ПЗ.8.

Таблица ПЗ.8. Показатели достаточности комплектов ЗИП

i	$K_{эЗИП-О}^*(T)$	$K_{эЗИП-О}(T)$	$K_{эЗИП-О}^*(T^*)$	$K_{эЗИП-О}(T^*)$	$K_{эЗИП-Г}^*(T)$	$K_{эЗИП-Г}(T)$	$\Lambda_z \Delta t_{ЗИП-Г}(T)$
1	0,8088	0,9273	0,7987	0,9232	0,8260	0,9456	0,0560
2	0,6767	0,8910	0,6662	0,8868	0,7204	0,9257	0,0772
3	0,5438	0,8347	0,5375	0,8318	0,7919	0,9516	0,0496
4	0,2976	0,6897	0,2860	0,6810	0,4712	0,8329	0,0610

Из данных таблицы следует, что комплект ЗИП-Г имеет более высокие значения коэффициента готовности по отдельным видам запасов и по всему комплекту в целом, чем комплекты ЗИП-О. Коррекция периода пополнения ЗИП-О за счет среднего времени задержки

$\Delta t_{ЗИП-Г}(T)$ приводит к небольшому снижению коэффициента готовности комплекта ЗИП-О как по отдельным видам запасов, так и по комплекту в целом. Эта коррекция в дальнейшем при расчетах надежности вызывает некоторое ухудшение показателей надежности образца изделия с учетом ЗИП.

Пример П3.4

Провести расчет комплекта ЗИП-Г по исходным данным, приведенным в табл. П3.9. Комплект ЗИП-Г обслуживает 5 однотипных комплектов ЗИП-О. Требования к ПД выражены неравенством: $\Delta t_{ЗИП-Г} \leq 40$ мин.

Таблица П3.9. Исходные данные

№	i	r_i	$\Lambda_i, \text{ч}^{-1}$	C_i , тыс. руб.	α_i	T_i	β_i , час	g_i^*	L_i	C_Σ
1	1	1	0,001	1	1	1000	–	5	5	5
2	2	1	0,003	10	2	1000	24	3	3	30
3	3	2	0,002	15	2	1000	24	1	2	30
4	4	1	0,1	100	3	10	–	3	3	300
Всего			0,106	126				12	14	365

Решение

Расчет проводим в соответствии с последовательностью шагов, приведенной в разд. 3.3.3, подразд. «Расчет запасов в комплекте ЗИП-Г, обеспечивающий заданный ПД с учетом затрат».

Шаг 1. Последовательно вычисляем:

а) значения a_i : $a_1 = 0,001 * 1000 = 1$, $a_2 = 0,003 * 1000 = 3$, $a_3 = 0,002 * 1000 = 2$, $a_4 = 0,1 * 10 = 1$;

б) показатели комплекта ЗИП-Г: $\Lambda_G = 0,001 + 0,003 + 0,002 + 0,1 = 0,106$;

$D_G = \Lambda_G \Delta t_{ЗИП-Г}^0 = 0,106 * 40 / 60 = 0,0706667$;

$C_G = 1 * 1 * 1 + 3 * 1 * 10 + 2 * 2 * 15 + 1 * 1 * 100 = 191$;

в) показатели запасов каждого типа: $d_1 = 0,0706667(1 * 1 * 1 / 191) = 0,00036998$;

$d_2 = 0,0706667(3 * 1 * 10 / 191) = 0,01109948$; $d_3 = 0,0706667(2 * 2 * 15 / 191) = 0,022199$;

$d_4 = 0,0706667(1 * 1 * 100 / 191) = 0,036998$.

Шаг 2. Расчет начальных запасов каждого типа с учетом затрат

При $i = 1$ и $\alpha_1 = 1$ расчет $R_i(g_i, a_i)$ проводят по формуле (1.7). При этом подбирают $g_1 = L_1$ так, чтобы выполнить неравенство (3.105). Расчет показывает, что при $L_1 = 4$ $R_1 = 0,000688923$, а при $L_1 = 5$ $R_1 = 1,14968E-05$, что меньше $d_1 = 0,00036998$. Поэтому $g_1^* = 5$.

При $i = 2$ и $\alpha_2 = 2$ расчет $R_i(g_i, a_i)$ проводят по формулам (3.70) и (1.16). При $g_2 = L_2 = 2$ имеем: $R_2 = 0,024 * (1 + 0,5 * 0,003 * 24) * (0,576809919 + 0,083917942 + 0,003802992) =$

$= 0,016522895 > d_2$. При $g_2 = L_2 = 3$ имеем: $R_2 = 0,024 * (1 + 0,5 * 0,003 * 24) * (0,352768 + 0,0119045 + 0,000071387) = 0,009069 < d_2 = 0,01109948$. Поэтому $g_2^* = 3$.

При $i = 3$ и $\alpha_3 = 2$ расчет $R_i(g_i, a_i)$ проводят по формулам (3.70) и (1.16). При $g_3 = 1, L_3 = 2$ имеем: $R_3 = 0,024 * (1 + 0,5 * 0,002 * 24) * (0,59399415 + 0,14287654 + 0,016563608) = 0,018516401 < d_3 = 0,022199$. Поэтому $g_3^* = 1$.

При $i = 4$ и $\alpha_4 = 3$ расчет $R_i(g_i, a_i)$ проводят по формуле (1.28). При $g_4 = 2, L_4 = 2$ имеем: $R_4 = 0,0625 > d_4$. При $g_4 = 3, L_4 = 3$ имеем: $R_4 = 0,015385 < d_4 = 0,036998$. Поэтому $g_4^* = 3$. Итак, вектор запасов имеет вид: $g = (5313), L = (5323)$.

Шаг 3. Контрольная проверка значения ПД

$$\Lambda_{\Gamma} \Delta t_{\text{ЗИП-}\Gamma} = \sum_{i=1}^4 \Lambda_{i\Gamma} \Delta t_{\text{ЗИП-}\Gamma, i} = 0,0000947 + 0,0185164 + 0,009069 + 0,015385 = 0,043$$

$$\Delta t_{\text{ЗИП-}\Gamma} = 0,043 / 0,106 = 0,406 \text{ час} = 24,4 \text{ мин} < 40 \text{ мин}.$$

Шаг 4. Суммарные затраты

$$C_{\Sigma} = 5 + 30 + 30 + 300 = 365 \text{ тыс. рублей}.$$

Пример ПЗ.5

В условиях примера ПЗ.4 провести расчет оптимального комплекта ЗИП-Г по критерию суммарных затрат при ограничении на среднее время задержки.

Решение

В отличие от примера ПЗ.4, где проводился расчет запасов в комплекте ЗИП-Г без оптимизации, здесь проводим оптимизацию в соответствии с методикой *разд. 3.3.3, подразд. «Расчет оптимальных запасов в комплекте ЗИП-Г»*. Заполняем таблицу формуляров в графах 1–7 табл. ПЗ.10. Далее начинаем пошаговую оптимизацию с формирования вспомогательных показателей и вычисления базового комплекта.

Таблица ПЗ.10. Таблица формуляров

i	r_i	Λ_i	C_i	α_i	T_i	β_i	g_{zi}	$R_i(g_i, a_i)$	$R_i(g_i, a_i + 1)$	Δ_i	$\Delta_i / C_i r_i$	i^*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	0,001	1	1	1000	–	2	0,02334	0,004349	0,019	0,018988	
2	1	0,003	10	2	1000	24	1	0,03107	0,016523	0,0145	0,001454	
3	2	0,002	15	2	1000	24	1	0,01852	0,008359	0,0101	0,000339	
4	1	0,1	100	3	10	–	2	0,0625	0,015385	0,0471	0,000471	1
1	1	0,001	1	1	1000	–	3	0,00435	0,000689	0,0036	0,00366	1
1	1	0,001	1	1	1000	–	4	0,00069	0,000095	0,0006	0,000594	2

Таблица ПЗ.10 (окончание)

i	r_i	Λ_i	C_i	α_i	T_i	β_i	g_{zi}	$R_i(g_i, a_i)$	$R_i(g_i, a_i + 1)$	Δ_i	$\Delta_i / C_i r_i$	i^*
2	1	0,003	10	2	1000	24	2	0,01652	0,009067	0,0074	0,000746	2
2	1	0,003	10	2	1000	24	3	0,00907	0,004593	0,0045	0,000447	1
1	1	0,001	1	1	1000	—	5	0,00009	0,000011	0,00008	8,32E-05	4
4	1	0,1	100	3	10	—	3	0,01538	0,003067	0,0123	0,000123	

Шаг 1. Последовательно вычисляем:

а) значения a_i : $a_1 = 0,001 * 1000 = 1$, $a_2 = 0,003 * 1000 = 3$, $a_3 = 0,002 * 1000 = 2$,
 $a_4 = 0,1 * 10 = 1$;

б) показатели комплекта ЗИП-Г: $\Lambda_G = 0,001 + 0,003 + 0,002 + 0,1 = 0,106$;
 $D_G = 0,106 * 40 / 60 = 0,0706667$; $C_G = 1 * 1 * 1 + 3 * 1 * 10 + 2 * 2 * 15 + 1 * 1 * 100 = 191$.

Шаг 2. Вычисляем базовый комплект из условия (3.107)

Для $i = 1$ имеем:

$$R_1(1, a_1) = -\ln K_{ЗИП-Г,1}(1, a_1) = -\ln(e^{-a_1} + \frac{2}{a_1}(1 - (1 + a_1)e^{-a_1})) = 0,103638,$$

$$R_1(2, a_1) = -\ln K_{ЗИП-Г,1}(2, a_1) = -\ln((1 + a_1)e^{-a_1} + \frac{2}{a_1}(1 - (1 + a_1 + a_1^2 / 2)e^{-a_1})) = 0,0233369.$$

Сравнивая с D_G , устанавливаем, что $g_1^0 = 2$.

При $i = 2$ согласно формулам (3.70) и (1.16) имеем:

$$R_2(1, a_2) = \frac{24}{1000}(1 + 0,5 * 0,003 * 24)(I(2, a_2) + I(4, a_2) + I(6, a_2) + I(8, a_2)) =$$

$$= 0,024864(0,800852 + 0,352768 + 0,083918 + 0,011905) = 0,031066 < D_G.$$

Отсюда следует, что $g_2^0 = 1$.

Аналогично находим при $i = 3$:

$$R_3(1, a_3) = \frac{24}{1000}(1 + 0,5 * 0,002 * 24)(I(2, a_3) + I(4, a_3) + I(6, a_3)) =$$

$$= 0,024576(0,593994 + 0,142877 + 0,016564) = 0,018516 < D_G.$$

Отсюда следует, что $g_3^0 = 1$.

При $i = 4$ согласно формуле (1.28) имеем:

$$R_4(1, a_4) = -\ln K_{ЗИП-Г,4}(1, a_4) = -\ln(1 - \frac{a_2^2}{2} / (1 + a_2 + \frac{a_2^2}{2})) = 0,2000,$$

$$R_4(2, a_4) = -\ln K_{ЗИП-Г,4}(2, a_4) = -\ln(1 - \frac{a_2^3}{6} / (1 + a_2 + \frac{a_2^2}{2} + \frac{a_2^3}{6})) = 0,0625 < D_G.$$

Отсюда следует, что $g_4^0 = 2$.

Шаг 3

Из первых четырех чисел графы 12 следует, что $i_* = 1$, поэтому добавляем одну ЗЧ первого типа и изменяем содержимое граф 8–12.

Шаг 4

Сравнивая новое значение числа в графе 12 для запаса первого типа и прежние значения для запасов 2–4 типов, видим, что снова наибольшее значение критерия получено для запаса первого типа. Поэтому увеличиваем число ЗЧ первого типа до 4 и вновь пересчитываем значения чисел в графах 9–12.

Шаги 5–8

Шаги выполняются аналогично с контролем значения R_T . Эти значения приведены в табл. ПЗ.11.

Таблица ПЗ.11. Расчет по шагам 5–8

№	Номер шага	i_*	Вектор g	Вектор L	R_T
1	2	1	2112	2122	0,135418926
2	3	1	3112	3122	0,11643077
3	4	2	4112	4122	0,112770923
4	5	2	4212	4222	0,098227818
5	6	1	4312	4322	0,090772143
6	7	4	5312	5322	0,090177958
7	8	1	5313	5323	0,043062573
8	9		4313	4323	0,043656758

Впервые на 8 шаге значение R_T стало меньше $D_T = 0,0706667$. Результат совпал с результатом примера ПЗ.4.

В связи с тем, что имеется значительный запас по ПД по сравнению с требуемым значением, можно уменьшить комплект ЗИП, используя критерий минимума отношения $\Delta_i / C_i r_i$. В данном случае этот минимум имеет запас первого типа. Поэтому уменьшаем число ЗЧ с 5 до 4. При этом $R_T = 0,0436567$.

Дальнейшее сокращение не удастся, т. к. при изъятии любой ЗЧ значение $R_T > D_T$. Итак, окончательно: $g = 4313$, $L = 4323$, $C_\Sigma = 4 + 30 + 30 + 300 = 364$ тыс. рублей, $\Delta t_{ЗИП-T} = 0,0436567 / 0,106 = 24,7$ мин.

Пример ПЗ.6

Образец аппаратуры содержит пять типов элементов. Два типа ($i = 1, 2$) элементов обслуживаются непосредственно из комплекта ЗИП-Г, а три других ($i = 3, 4, 5$) обслуживаются с помощью комплекта ЗИП-О, который пополняется из комплекта ЗИП-Г ($M = 3$). Кроме данного образца при таких же условиях функционируют еще два таких же образца аппаратуры. При пополнении запасов в комплекте ЗИП-Г возможны стратегии периодического

пополнения и периодического пополнения с экстренными доставками. Характеристики образца аппаратуры и комплектов ЗИП приведены в табл. ПЗ.12.

Таблица ПЗ.12. $M=3$, $C_i = M A_i$

i	$k_i \lambda_i 10^4$	L_{oi}	α_{oi}	T_{oi}	L_{zi}	α_{zi}	T_{zi} , ч	Модель	A_i
1	1,75	–	–	–	3	1	4000	1.1	0,7
2	6,25	–	–	–	2–4	2	800–8000	1.2	0,5–5
3	2,25	2	1	4000	6	1	4000	2.1	0,9
4	2,50	2	2	4000	2	1	4000	2.2	1
5	2,63	2	2	4000	4	1	4000	2.2	1,05

Решение

Поскольку здесь в системе фактически создана двухуровневая система ЗИП, для решения задачи используем формулы разд. 3.4. Для типов запасов, где осуществляется непосредственное обслуживание образцов изделия из комплекта ЗИП-Г, используем модели 1.1 и 1.2. Для типов запасов, где осуществляется обслуживание образцов изделия с помощью комплектов ЗИП-О, используем модели 2.1 и 2.2. Для модели 1.1 расчет коэффициента готовности проводят по формуле (3.116), для модели 1.2 используется оценка (3.124). Поскольку в модели 2.1 состояние ЗИП-Г не влияет на коэффициент готовности системы ЗИП, для расчета используют формулы (1.7)–(1.10). В модели 2.2 расчет проводится по формулам (3.130)–(3.132).

Результаты расчетов для четырех типов запасов приведены в табл. ПЗ.13–ПЗ.16.

Таблица ПЗ.13

i	A_i	C_i	D	Q	$K_{зЗИП-2У}$	$K_{зЗИП-О}$	$\Delta t_{ЗИП-2У}$, ч
1	0,7	2,1	–	–	0,98202	–	–
3	0,9	2,7	–	–	0,982005	0,982005	80,7
4	1	3	5	0,8458	0,9804	0,9767	79,0
5	1,05	3,15	5	0,9920	0,9810	0,9737	73,0

Поскольку для четырех типов запасов коэффициент готовности находится на уровне 0,980–0,982, для запасов второго типа при выборе параметров комплекта и стратегии пополнения будем ориентироваться на тот же уровень показателя достаточности.

Результаты расчетов для $L_{z2} = 2, 3$ и 4 приведены в табл. ПЗ.14–ПЗ.16.

Таблица ПЗ.14. $M=3$, $L_{z2} = 2$, $D = 5$

A_2	C_2	T	$H(T,L)$	$\beta(T)$	$K_{зЗИП-2У}$	$\Delta t_{ЗИП-2У}$, ч	ωT	$H(T,L)/\omega T$
0,5	1,5	800	0,1956	0,0744	0,9971	4,67	0,50	0,3913
1	3	1600	0,6646	0,1390	0,9815	29,83	1,00	0,6646

Таблица ПЗ.14 (окончание)

A_2	C_2	T	$H(T,L)$	$\beta(T)$	$K_{\text{ЗИП-2У}}$	$\Delta t_{\text{ЗИП-2У}}, \text{ч}$	ωT	$H(T,L)/\omega T$
2	6	3200	1,6686	0,2449	0,9183	136,4	2,00	0,8343
3	9	4800	2,6894	0,3281	0,8235	310,7	3,00	0,8965
4	12	6400	3,6701	0,3951	0,7100	548,0	4,00	0,9175
5	15	8000	4,3995	0,4500	0,6040	806,6	5,00	0,8799

Таблица ПЗ.15. $M = 3, L_{\Sigma 2} = 3, D = 5$

A_2	C_2	T	$H(T,L)$	$\beta(T)$	$K_{\text{ЗИП-2У}}$	$\Delta t_{\text{ЗИП-2У}}, \text{ч}$	ωT	$H(T,L)/\omega T$
0,5	1,5	800	0,0658	0,0744	0,9990	1,569	0,375	0,1755
1,25	3,75	2000	0,5544	0,1681	0,9814	30,10	0,938	0,5913
2	6	3200	1,1254	0,2449	0,9449	90,73	1,500	0,7503
3	9	4800	1,8750	0,3281	0,8769	210,1	2,250	0,8333
4	12	6400	2,6235	0,3951	0,7927	371,7	3,000	0,8745
5	15	8000	3,3537	0,4500	0,6982	574,9	3,750	0,8943

Таблица ПЗ.16. $M = 3, L_{\Sigma 2} = 4, D = 5$

A_2	C_2	T	$H(T,L)$	$\beta(T)$	$K_{\text{ЗИП-2У}}$	$\Delta t_{\text{ЗИП-2У}}, \text{ч}$	ωT	$H(T,L)/\omega T$
0,5	1,5	800	0,0658	0,0744	0,9990	1,569	0,12	0,2194
1,5	4,5	2400	0,4851	0,1953	0,9811	30,61	0,30	0,5390
2	6	3200	0,8003	0,2449	0,9608	63,99	0,90	0,6669
3	9	4800	1,4012	0,3281	0,9080	154,3	1,20	0,7784
4	12	6400	2,0205	0,3951	0,8403	278,3	1,80	0,8419
5	15	8000	2,7132	0,4500	0,7558	447,9	2,40	0,9044

Из данных табл. ПЗ.14–ПЗ.16 следует, что возможны три варианта:

- две запасные части и период пополнения комплекта ЗИП-Г $T = 1600$ час;
- три запасные части и период пополнения комплекта ЗИП-Г $T = 2000$ час;
- четыре запасные части и период пополнения комплекта ЗИП-Г $T = 2400$ час.

Во всех вариантах коэффициент готовности примерно одинаков и равен 0,981. Заметим, что во всех вариантах поток заявок на экстренные доставки еще далек от стационарного потока. Об этом свидетельствует отношение $H(T,L)/\omega T$, которое находится в пределах 0,539–0,665. Коэффициент готовности системы ЗИП по всем видам запасов равен 0,9099.