

## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

# Примеры и задачи по расчету надежности однофункциональных систем при периодическом пополнении запасов с экстренными доставками в комплекте ЗИП-О

### Пример П8.1

Последовательная система, состоящая из трех групп модулей в количестве  $k_1, k_2, k_3$ , работает в режиме МКЦП. Найти коэффициент готовности системы, полагая, что комплект ЗИП отсутствует, но периодически один раз в год проводится полное восстановление структуры, и возможны экстренные доставки модулей со средним временем доставки 5 недель. Исследовать влияние периода восстановления и среднего времени ЭД на надежность системы. Сравнить со случаями, когда экстренная доставка отсутствует и когда пополнение непрерывное. Значения средней наработки до отказа модулей:  $T_{cp1} = 131\,400$  час,  $T_{cp2} = 219\,000$  час,  $T_{cp3} = 438\,000$  час. Количество модулей  $k_1 = 3, k_2 = 5, k_3 = 10$ .

### Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8760$  час,  $A_1 = k_1\lambda_1T = 0,2, A_2 = k_2\lambda_2T = 0,2, A_3 = k_3\lambda_3T = 0,2, D = \mu T = 8760/840 = 10,429, k_{ip} = A_i/D = 0,0192$ . Расчет проводим по формулам (8.47) модели ПЭД1, используя эти данные, изменяя среднее время ЭД вдвое и увеличивая период пополнения  $T$  вдвое. Сравнение проводим с моделями П1 и Н1. Результаты расчетов приведены в табл. П8.1. Данные приведены для каждого типа модулей и для системы в целом.

Таблица П8.1. Результаты расчетов

$A$	$D$	$k_p$	$K_\lambda^*(0)$	$K_\lambda(0)$	$K_\lambda^*(0, П1)$	$K_\lambda(0, П1)$	$K_\lambda(0, Н1)$	$K_\lambda(1, П1)$
0,2	10,43	0,0192	0,98118	0,98295	0,81873	0,90635	0,98118	0,99396
0,6	10,43	0,0575	0,94461	0,94973	0,54881	0,74453	0,94460	0,98199
0,2	5,21	0,0384	0,96323	0,96985	0,81873	0,90635	0,96306	0,99396
0,6	5,21	0,1151	0,89368	0,91226	0,54881	0,74453	0,89323	0,98199
0,2	20,86	0,0096	0,99050	0,99095	0,81873	0,90635	0,99050	0,99396

Таблица П8.1 (окончание)

$A$	$D$	$k_p$	$K_c^*(0)$	$K_c(0)$	$K_c^*(0,П1)$	$K_c(0,П1)$	$K_c(0,Н1)$	$K_c(1,П1)$
0,6	20,86	0,0288	0,97178	0,97310	0,54881	0,74453	0,97178	0,98199
0,4	10,43	0,0384	0,96306	0,96647	0,67032	0,82420	0,96306	0,97808
1,2	10,43	0,1151	0,89323	0,90275	0,30119	0,55988	0,89323	0,93567

Из данных таблицы следует, что ЭД существенно увеличивает коэффициент готовности. По сравнению со стратегией периодического пополнения, примерно такого же уровня  $K_c$  удастся достичь при наличии в комплекте ЗИП по одной ЗЧ каждого типа. При непрерывном пополнении значение коэффициента готовности близко к значению при стратегии ПЭД, но несколько меньше.

## Пример П8.2

В условиях примера П8.1 втрое увеличилось количество элементов каждого типа. Поскольку это привело к снижению коэффициента готовности системы до уровня 0,85, в комплект ЗИП для компенсации ухудшения показателей надежности вводится по одной ЗЧ каждого типа. Найти коэффициент готовности системы, исследовать влияние периода восстановления и среднего времени ЭД на надежность системы. В связи с тем, что в изменившихся условиях возникают различия между стратегиями пополнения Х11 и Х21, провести сравнение стратегий.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8760$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 0,6$ ,  $D = \mu T = 8760/840 = 10,429$ ,  $k_{ip_i} = A_i/D = 0,0575$ . Расчет проводим по формулам (8.47) и (8.56) модели ПЭД1. Сравнение проводим с моделями П1 и Н1. Результаты расчетов при стратегии пополнения Х11 приведены в табл. П8.2. Данные приведены для каждого типа модулей и для системы в целом

Таблица П8.2. Стратегия Х11

$A$	$D$	$k_p$	$K_c^*(1)$	$K_c(1)$	$K_{cnp1}(1)$	$K_c(1,П1)$	$K_c(1,Н1)$	$K_c(2,П1)$
0,6	10,43	0,0575	0,98123	0,98987	0,98906	0,95515	0,99844	0,99368
1,8	10,43	0,1726	0,94475	0,96993	0,96752	0,87139	0,99532	0,98114
0,6	5,21	0,1151	0,96548	0,98288	0,98056	0,95515	0,99410	0,99368
1,8	5,21	0,3452	0,89997	0,94951	0,94281	0,87139	0,98240	0,98114
0,6	20,86	0,0288	0,99027	0,99448	0,99421	0,95515	0,99960	0,99368
1,8	20,86	0,0863	0,97110	0,98354	0,98272	0,87139	0,99879	0,98114
1,2	10,43	0,1151	0,95109	0,96984	0,96723	0,86348	0,99410	0,96391
3,6	10,43	0,3452	0,86032	0,91222	0,90486	0,64381	0,98240	0,89559

Сравнение стратегий X21 и X11 можно провести с помощью данных следующей табл. П8.3.

**Таблица П8.3.** Сравнение стратегий X21 и X11

$A$	$D$	$k\rho$	$K_c^*(1, X21)$	$K_c(1, X21)$	$K_c^*(1, X11)$	$K_c(1, X11)$	$\delta_1\%$	$\delta_2\%$
0,6	10,43	0,0575	0,97717	0,98858	0,98123	0,98987	17,79	11,35
1,8	10,43	0,1726	0,88133	0,93077	0,94475	0,96993	53,44	56,56
0,6	5,21	0,1151	0,95992	0,98130	0,96548	0,98288	13,86	8,45
1,8	5,21	0,3452	0,80036	0,89084	0,89997	0,94951	49,89	53,75
0,6	20,86	0,0288	0,98783	0,99363	0,99027	0,99448	20,11	13,38
1,8	20,86	0,0863	0,93482	0,96027	0,97110	0,98354	55,67	58,58
1,2	10,43	0,1151	0,93146	0,96279	0,95109	0,96984	28,63	18,93
3,6	10,43	0,3452	0,75281	0,83034	0,86032	0,91222	43,49	48,26

$$\delta_1\% = 100(K_c^*(1, X11) - K_c^*(1, X21)) / (1 - K_c^*(1, X21)),$$

$$\delta_2\% = 100(K_c(1, X11) - K_c(1, X21)) / (1 - K_c(1, X21)).$$

Из таблиц следует, что при прочих равных условиях стратегия ПЭД обеспечивает значительно лучшие показатели надежности, чем стратегия ПП, но существенно меньшие, чем при непрерывном пополнении. При этом стратегия X11 дает примерно вдвое меньшие значения коэффициента простоя, чем стратегия X21.

## Пример П8.3

Последовательная система, состоящая из трех групп модулей в количестве  $k_1, k_2, k_3$ , работает в режиме МКЦП. Найти коэффициент готовности системы, полагая, что комплект ЗИП отсутствует, но периодически один раз в год (8400 час) проводится полное восстановление структуры и запасов, и возможны экстренные доставки модулей со средним временем доставки 5 недель. Сравнить со случаями, когда экстренная доставка отсутствует и когда пополнение непрерывное. Значения средней наработки до отказа модулей:  $T_{cp1} = 21\,000$  час,  $T_{cp2} = 33\,600$  час,  $T_{cp3} = 50\,400$  час. Количество модулей  $k_1 = 5, k_2 = 8, k_3 = 12$ .

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 2$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_{pi} = A_i/D = 0, 2$ . Расчет проводим в следующем порядке. Сначала по формулам (8.40) модели ПЭД1 после нормирования и приведения к безразмерному виду находим коэффициенты:

$$a_0 = (3 + k\rho)(k\rho)^2 = 0,128, a_1 = 3k\rho(1 + k\rho) = 0,72, a_2 = 1 + 3k\rho = 1,6.$$

Затем с помощью численной процедуры находим корни полинома третьей степени и обнаруживаем, что два корня комплексно-сопряженные:

$$a = 0,292605246, b = 0,201287611, s_2 = c = 1,014789507.$$

По формулам (8.51, а) рассчитываем:

$$A_1 = 2,2588179, A_2 = 0,775588, A_3 = 0,22441199.$$

Коэффициент готовности однородной подсистемы по наихудшему циклу:

$$K_c^*(2, X11) = 0,94323.$$

Коэффициент готовности системы по наихудшему циклу:

$$K_{cc}^*(2, X11) = 0,83917.$$

Средний коэффициент готовности однородной подсистемы:

$$K_c(2, X11) = 0,97222.$$

Средний коэффициент готовности системы:

$$K_{cc}(2, X11) = 0,91895.$$

Оценку первого типа находим по формулам (8.11) и (8.30):

$$K_{cnp1}(2, X11) = 0,96498, K_{ccnp1}(2, X11) = 0,89859.$$

Оценку второго типа находим по формулам (8.52, а):

$$a = 0,225, b = 0,1714, K_{cnp2}(2, X11) = 0,97217, K_{ccnp2}(2, X11) = 0,91882.$$

Обе оценки являются оценками снизу, но вторая оценка очень близка к точному значению. Для стратегии X21 по формулам (8.56) получим:

$$K_c^*(2, X21) = 0,90912; K_{cc}^*(2, X21) = 0,75139; K_c(2, X21) = 0,96246; K_{cc}(2, X21) = 0,89156.$$

Различия в коэффициентах простоя системы при стратегиях X21 и X11 составляют 35 и 25 %.

## Пример П8.4

В однородной последовательной системе (модель ПЭД1) период пополнения может меняться от одной десятой до двух значений среднего интервала между отказами элементов. Заявка на экстренную доставку формируется после отказа системы (при очередном отказе элемента после исчерпания запасов). Среднее время экстренной доставки в 2–20 раз меньше периода пополнения. Необходимо провести расчет показателей готовности системы при отсутствии запасов и одной или двух запасных частей в комплекте ЗИП, выполнить анализ зависимостей показателей от основных параметров и факторов. Сравнить со стратегией периодического пополнения запасов.

## Решение

По исходным данным находим:  $A = 0,1-2$ ,  $k\rho = 0,01-0,2$ ,  $D = 1-20$ ,  $L = 0, 1$  или  $2$ . Расчет надежности выполняется по формулам (8.45)–(8.53), (8.55), (8.56). Результаты расчетов приведены в табл П8.4–П8.13 и на рис. П8.1 и П8.2.

**Таблица П8.4.** ПЭД1. Стратегия Х11.  $L = 0$ .  $\delta = (1 - P(T, 0, \Pi)) / (1 - K_2^*(T))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_2^*(T, 0)$	$K_2(T, 0)$	$P(T, 0, \Pi)$	$P(T, 1, \Pi)$	$P(T, 2, \Pi)$	$\delta$
0,1	0,1	1	0,939352	0,964226	0,904837	0,995321	0,999845	1,57
0,2	0,1	2	0,919164	0,945835	0,818731	0,982477	0,998852	2,24
0,3	0,1	3	0,912444	0,935623	0,740818	0,963064	0,996401	2,96
0,4	0,1	4	0,910207	0,929498	0,67032	0,938448	0,992074	3,67
0,5	0,1	5	0,909462	0,925552	0,606531	0,909796	0,985612	4,35
0,6	0,1	6	0,909215	0,922846	0,548812	0,878099	0,976885	4,97
0,8	0,1	8	0,909105	0,919420	0,449329	0,808792	0,952577	6,06
1	0,1	10	0,909092	0,917355	0,367879	0,735759	0,919699	6,95
1,5	0,1	15	0,909091	0,914601	0,22313	0,557825	0,808847	8,55
2	0,1	20	0,909091	0,913223	0,135335	0,406006	0,676676	9,51

**Таблица П8.5.** ПЭД1. Стратегия Х11.  $L = 0$ .  $\delta = (1 - P(T, 0, \Pi)) / (1 - K_2^*(T, 0))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_2^*(T, 0)$	$K_2(T, 0)$	$P(T, 0, \Pi)$	$P(T, 1, \Pi)$	$P(T, 2, \Pi)$	$\delta$
0,1	0,01	10	0,990099	0,991079	0,904837	0,995321	0,999845	9,61
0,2	0,02	10	0,980393	0,982314	0,818731	0,982477	0,998852	9,25
0,3	0,03	10	0,970875	0,973701	0,740818	0,963064	0,996401	8,90
0,4	0,04	10	0,96154	0,965237	0,67032	0,938448	0,992074	8,57
0,5	0,05	10	0,952382	0,956916	0,606531	0,909796	0,985612	8,26
0,6	0,06	10	0,943398	0,948736	0,548812	0,878099	0,976885	7,97
0,8	0,08	10	0,925927	0,932784	0,449329	0,808792	0,952577	7,43
1	0,1	10	0,909092	0,917355	0,367879	0,735759	0,919699	6,95
1,5	0,15	10	0,869567	0,880907	0,22313	0,557825	0,808847	5,96
2	0,2	10	0,833334	0,847222	0,135335	0,406006	0,676676	5,19

**Таблица П8.6.** ПЭД1,  $L = 1$ . Полная ЭД.  $\delta = 100(K_{змп1}^*(T, 1) - K_2^*(T, 1)) / (1 - K_2^*(T, 1))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_2^*(T, 1)$	$K_2(T, 1)$	$K_{змп1}^*(T, 1)$	$K_{змп3}^*(T, 1)$	$K_{змп1}(T, 1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,1	1	0,99657	0,99875	0,997044	0,998277	0,998278	14	-37
0,20	0,1	2	0,99023	0,99611	0,992424	0,997613	0,995017	22	-28
0,30	0,1	3	0,98377	0,99306	0,988271	0,998121	0,991542	28	-22
0,40	0,1	4	0,97805	0,99001	0,984777	0,998812	0,988258	31	-17
0,50	0,1	5	0,97324	0,98712	0,981804	0,999320	0,985264	32	-14

Таблица П8.6 (окончание)

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{znp1}^*(T,1)$	$K_{znp3}^*(T,1)$	$K_{znp1}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,60	0,1	6	0,96929	0,98446	0,979218	0,999610	0,982564	32	-12
0,80	0,1	8	0,96345	0,97989	0,974881	0,999728	0,977935	31	-9,7
1,00	0,1	10	0,95961	0,97619	0,971366	0,999385	0,974146	29	-8,6
1,25	0,1	12,5	0,95663	0,97255	0,967823	0,998159	0,970314	26	-8,1
1,50	0,1	15	0,95488	0,96974	0,964997	0,995544	0,967249	22	-8,2
1,75	0,1	17,5	0,95385	0,96754	0,962721	0,990866	0,964771	19	-8,5
2,00	0,1	20	0,95324	0,96578	0,960871	0,983436	0,962751	16	-8,9

$$\delta_1 = 100(K_{znp1}(T,1) - K_c(T,1)) / (1 - K_c(T,1))$$

Таблица П8.7. ПЭД1,  $L = 1$ . Полная ЭД,  $\delta = 100(K_{znp1}^*(T,1) - K_c^*(T,1)) / (1 - K_c^*(T,1))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{znp1}^*(T,1)$	$K_{znp3}^*(T,1)$	$K_{znp1}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,01	10	0,999177	0,999614	0,999532	1,000000	0,999578	43	-9,2
0,20	0,02	10	0,996987	0,998545	0,998240	0,999999	0,998416	41	-8,9
0,30	0,03	10	0,993777	0,996910	0,996272	0,999997	0,996643	40	-8,6
0,40	0,04	10	0,989822	0,994807	0,993746	0,999993	0,994368	39	-8,5
0,50	0,05	10	0,985339	0,992320	0,990762	0,999981	0,991677	37	-8,4
0,60	0,06	10	0,980492	0,989517	0,987399	0,999954	0,988643	35	-8,3
0,80	0,08	10	0,970191	0,983191	0,979799	0,999803	0,981777	32	-8,4
1,00	0,1	10	0,959615	0,976191	0,971366	0,999385	0,974146	29	-8,6
1,25	0,125	10	0,946567	0,966872	0,960101	0,998129	0,96393	25	-8,9
1,50	0,15	10	0,934016	0,957222	0,948401	0,995496	0,953293	22	-9,2
1,75	0,175	10	0,922060	0,947449	0,936537	0,990802	0,942479	19	-9,5
2,00	0,2	10	0,910683	0,937681	0,924691	0,983353	0,931653	16	-9,7

$$\delta_1 = 100(K_{znp1}(T,1) - K_c(T,1)) / (1 - K_c(T,1))$$

Таблица П8.8. ПЭД1,  $L = 1$ . Одиночная ЭД

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$		$K_c(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			X21	X11	X21	X11		
0,10	0,1	1	0,996549	0,996575	0,998740	0,998746	0,8	0,47
0,20	0,1	2	0,989957	0,99023	0,996051	0,996115	2,7	1,62
0,30	0,1	3	0,982837	0,983769	0,992832	0,993062	5,4	3,21

Таблица П8.8 (окончание)

A	k <sub>p</sub>	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,1)		K <sub>z</sub> (T,1)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			X21	X11	X21	X11		
0,40	0,1	4	0,976011	0,97805	0,989470	0,990006	8,5	5,09
0,50	0,1	5	0,969707	0,973242	0,986139	0,987119	11,7	7,07
0,60	0,1	6	0,963960	0,969286	0,982913	0,984465	14,8	9,08
0,80	0,1	8	0,954022	0,963446	0,976892	0,97989	20,5	13,0
1,00	0,1	10	0,945879	0,959615	0,971477	0,976191	25,4	16,5
1,25	0,1	12,5	0,937741	0,956632	0,965509	0,972551	30,3	20,4
1,50	0,1	15	0,931404	0,954879	0,960331	0,969739	34,2	23,7
1,75	0,1	17,5	0,926468	0,953848	0,955832	0,967536	37,2	26,5
2,00	0,1	20	0,922624	0,953243	0,951911	0,965784	39,6	28,8

$$\delta = 100(K_z^*(T,1,X11) - K_z^*(T,1,X21))/(1 - K_z^*(T,1,X21)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,1,X11) - K_z(T,1,X21))/(1 - K_z(T,1,X21)).$$

Таблица П8.9. ПЭД1, L = 1. Одиночная ЭД

A	k <sub>p</sub>	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,1)		K <sub>z</sub> (T,1)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			X21	X11	X21	X11		
0,10	0,01	10	0,999147	0,999177	0,999605	0,999614	3,47	2,16
0,20	0,02	10	0,996767	0,996987	0,998481	0,998545	6,81	4,24
0,30	0,03	10	0,993098	0,993777	0,996707	0,996910	9,83	6,16
0,40	0,04	10	0,988351	0,989822	0,994359	0,994807	12,63	7,95
0,50	0,05	10	0,982707	0,985339	0,991501	0,992320	15,22	9,63
0,60	0,06	10	0,976325	0,980492	0,988195	0,989517	17,60	11,20
0,80	0,08	10	0,961872	0,970191	0,980444	0,983191	21,82	14,05
1,00	0,1	10	0,945879	0,959615	0,971477	0,976191	25,38	16,53
1,25	0,125	10	0,924702	0,946567	0,959004	0,966872	29,04	19,19
1,50	0,15	10	0,903035	0,934016	0,945551	0,957222	31,95	21,43
1,75	0,175	10	0,881474	0,922060	0,931468	0,947449	34,24	23,32
2,00	0,2	10	0,860400	0,910683	0,917022	0,937681	36,02	24,90

$$\delta = 100(K_z^*(T,1,X11) - K_z^*(T,1,X21))/(1 - K_z^*(T,1,X21)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,1,X11) - K_z(T,1,X21))/(1 - K_z(T,1,X21)).$$

Таблица П8.10. ПЭД1,  $L = 2$ . Полная ЭД,  $\delta = (K_{\text{эп}2}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2))$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{\text{эп}1}^*(T,2)$	$K_{\text{эп}2}^*(T,2)$	$K_{\text{эп}2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,1	1	0,999878	0,999968	0,999902	0,999647	0,999968	-189	-270
0,20	0,1	2	0,999265	0,999793	0,999504	0,998702	0,999793	-76,5	-119
0,30	0,1	3	0,998092	0,999436	0,998860	0,997318	0,999436	-40,5	-69,2
0,40	0,1	4	0,996456	0,998904	0,998054	0,995623	0,998904	-23,5	-45,3
0,50	0,1	5	0,994494	0,998222	0,997139	0,993722	0,998222	-14,0	-31,5
0,60	0,1	6	0,992329	0,997423	0,996147	0,991701	0,997423	-8,19	-22,6
0,80	0,1	8	0,987799	0,995584	0,994030	0,987563	0,995584	-1,93	-12,4
1,00	0,1	10	0,983456	0,993586	0,991845	0,983601	0,993586	0,88	-6,95
1,25	0,1	12,5	0,978752	0,991074	0,989161	0,979226	0,991074	2,23	-3,26
1,50	0,1	15	0,975046	0,988697	0,986626	0,975655	0,988697	2,44	-1,33
1,75	0,1	17,5	0,972309	0,986541	0,984292	0,972899	0,986541	2,13	-0,31
2,00	0,1	20	0,970399	0,984635	0,982179	0,970876	0,984635	1,61	0,20

$$\delta_1 = (K_{\text{эп}2}(T,2) - K_c(T,2))/(1 - K_c(T,2))$$

Таблица П8.11. ПЭД1,  $L = 2$ . Полная ЭД,  $\delta = 100(K_{\text{эп}2}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2))$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{\text{эп}1}^*(T,2)$	$K_{\text{эп}2}^*(T,2)$	$K_{\text{эп}2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,01	10	0,9999626	0,99999	0,99998	0,99996	0,9999850	-18	-284
0,20	0,02	10	0,9997270	0,99991	0,99988	0,99969	0,9998911	-14	-24
0,30	0,03	10	0,9991594	0,99972	0,99964	0,99907	0,9996658	-11	-21
0,40	0,04	10	0,9981816	0,99939	0,99921	0,99803	0,9992776	-8,3	-18
0,50	0,05	10	0,9967578	0,99888	0,99856	0,99656	0,9987097	-6,1	-16
0,60	0,06	10	0,9948839	0,99820	0,99768	0,99467	0,9979552	-4,1	-13
0,80	0,08	10	0,9898747	0,99626	0,99522	0,98975	0,9958925	-1,2	-9,8
1,00	0,1	10	0,9834555	0,99359	0,99185	0,98360	0,9931406	0,88	-7,0
1,25	0,125	10	0,9740555	0,98932	0,98649	0,97470	0,9888626	2,49	-4,3
1,50	0,15	10	0,9638343	0,98421	0,98007	0,96503	0,9838277	3,30	-2,4
1,75	0,175	10	0,9534134	0,97844	0,97283	0,95505	0,9782133	3,52	-1,1
2,00	0,2	10	0,9432294	0,97222	0,96498	0,94512	0,9721743	3,33	-0,2

$$\delta_1 = 100(K_{\text{эп}2}(T,2) - K_c(T,2))/(1 - K_c(T,2))$$



Таблица П8.12. ПЭД1,  $L = 2$ . Одиночная ЭД

A	k <sub>p</sub>	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,2)		K <sub>z</sub> (T,2)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			X21	X11	X21	X11		
0,10	0,1	1	0,999877	0,999878	0,999967	0,999968	0,60	1,78
0,20	0,1	2	0,999252	0,999265	0,999791	0,999793	1,74	0,93
0,30	0,1	3	0,998023	0,998092	0,999423	0,999436	3,51	2,28
0,40	0,1	4	0,996244	0,996456	0,998861	0,998904	5,65	3,78
0,50	0,1	5	0,994009	0,994494	0,998121	0,998222	8,10	5,38
0,60	0,1	6	0,991414	0,992329	0,997224	0,997423	10,7	7,18
0,80	0,1	8	0,985477	0,987799	0,995046	0,995584	16,0	10,9
1,00	0,1	10	0,978988	0,983456	0,992489	0,993586	21,3	14,6
1,25	0,1	12,5	0,970689	0,978752	0,988958	0,991074	27,5	19,2
1,50	0,1	15	0,962642	0,975046	0,985237	0,988697	33,2	23,4
1,75	0,1	17,5	0,955141	0,972309	0,981465	0,986541	38,3	27,4
2,00	0,1	20	0,948338	0,970399	0,977742	0,984635	42,7	31,0

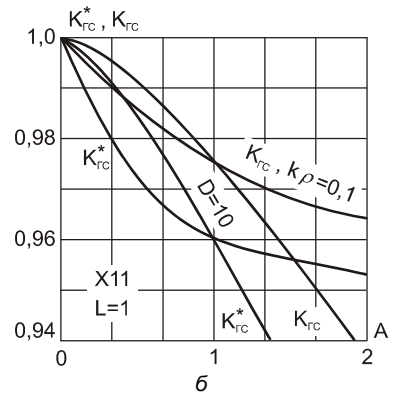
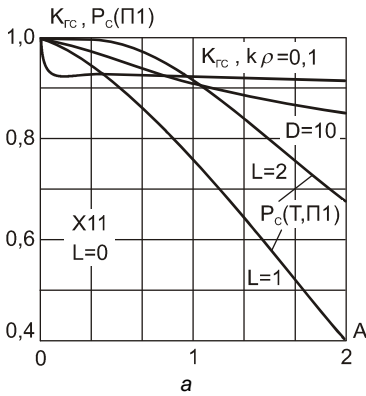
$$\delta = 100(K_z^*(T,2,X11) - K_z^*(T,2,X21))/(1 - K_z^*(T,2,X21)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,2,X11) - K_z(T,2,X21))/(1 - K_z(T,2,X21)).$$

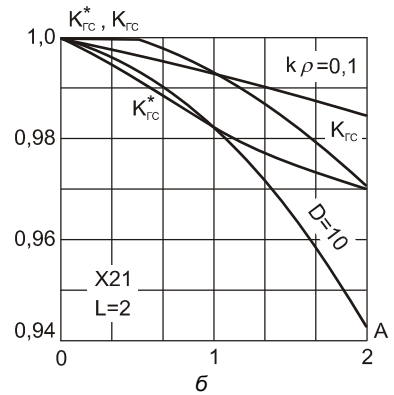
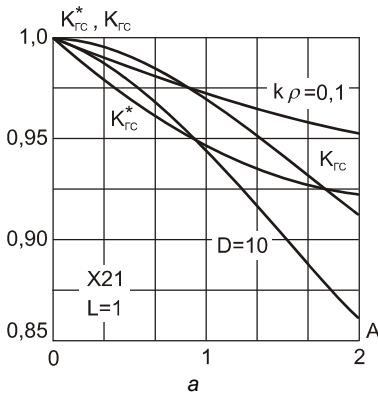
Таблица П8.13. ПЭД1,  $L = 2$ . Одиночная ЭД

A	k <sub>p</sub>	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,2)		K <sub>z</sub> (T,2)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			X21	X11	X21	X11		
0,10	0,01	10	0,9999617	0,9999626	0,9999881	0,9999883	2,25	1,53
0,20	0,02	10	0,9997142	0,9997270	0,9999480	0,9999124	4,49	3,12
0,30	0,03	10	0,9990990	0,9991594	0,9998833	0,9997241	6,71	4,65
0,40	0,04	10	0,9980039	0,9981816	0,9997974	0,9993890	8,90	6,16
0,50	0,05	10	0,9963544	0,9967578	0,9996938	0,9988846	11,07	7,64
0,60	0,06	10	0,9941064	0,9948839	0,9995753	0,9981976	13,19	9,10
0,80	0,08	10	0,9877536	0,9898747	0,9993037	0,9962586	17,32	11,92
1,00	0,1	10	0,9789880	0,9834555	0,9989994	0,9935862	21,26	14,61
1,25	0,125	10	0,9649917	0,9740555	0,9985928	0,9893216	25,89	17,79
1,50	0,15	10	0,9482186	0,9638343	0,9981742	0,9842071	30,16	20,75
1,75	0,175	10	0,9293707	0,9534134	0,9977566	0,9784440	34,04	23,48
2,00	0,2	10	0,9091211	0,9432294	0,9973491	0,9722187	37,53	25,99

$$\delta = (K_z^*(T,2,X11) - K_z^*(T,2,X21))/(1 - K_z^*(T,2,X21)).$$



**Рис. П8.1.** Зависимость показателей готовности последовательной системы при стратегии пополнения X11 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭД1)



**Рис. П8.2.** Зависимость показателей надежности последовательной системы при стратегии пополнения X21 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 1$ ; б —  $L = 2$  (модель ПЭД1)

Из данных табл. П8.4–П8.13 и рис. П8.1 и П8.2 следует:

- даже при отсутствии запасных частей в комплекте ЗИП возможность экстренной доставки и ее фактическое использование внутри периода пополнения существенно улучшает показатели готовности системы. Так при  $A = 0,1$  коэффициент готовности по наихудшему циклу без экстренных доставок равен 0,9048, а при наличии ЭД с параметром  $k\rho = 0,1$  он увеличивается до 0,9394, а при  $k\rho = 0,01$  — до 0,9901. Это лишь немного меньше, чем тот же показатель при периодическом пополнении и  $L = 1$ , равный 0,9953. Коэффициент неготовности при использовании ЭД уменьшается в 2–9 раз (см. значение  $\delta$  в табл. П8.4 и П8.5);
- при неизменном среднем времени ЭД увеличение периода пополнения влияет на показатели готовности не столь существенно, как при периодическом пополнении: увеличение  $D$  от 1 до 20 приводит к уменьшению  $K_c(T, 0)$  от 0,96423 до 0,9132. Но при пропорциональном увеличении периода пополнения и среднего времени ЭД ухудшение показате-

лей готовности весьма существенно. Так при  $D = 10$  и увеличении  $A$  от 0,1 до 2 коэффициент готовности  $K_z(T,0)$  уменьшается от 0,9911 до 0,8472;

- наличие в составе комплекта ЗИП запасных частей существенно повышает эффективность экстренных доставок. Так при  $k_p = 0,1$ ,  $A = 1$  и  $L = 1$  коэффициент готовности по наихудшему циклу  $K_z^*(T,1) = 0,9596$ , а при отсутствии ЭД  $K_z^*(T,1) = 0,7358$ . При отсутствии ЗЧ эти значения равны соответственно 0,9091 и 0,3679;
- оценка коэффициента готовности первого типа по формулам (8.11) и (8.30) дает существенно меньшую погрешность, чем оценка третьего типа, полученная по формуле (8.46). При расчете коэффициента готовности по наихудшему циклу оценка (8.11) является оценкой сверху, а по произвольному циклу оценка (8.12) является оценкой снизу. При этом погрешность при расчете коэффициента неготовности обычно не превышает 30 %, а при практически интересном диапазоне значений:  $K_z^*(T,1) = 0,9-0,98$  ошибка не превосходит 10 %;
- переход от полной ЭД к одиночной ЭД снижает коэффициент готовности системы не существенно: на 25–30 % при  $L = 1$  и 2. Например, при  $k_p = 0,1$ ,  $A = 1$  показатель снижается на 16,5 % при  $L = 1$  и на 14,6 % при  $L = 2$ .

## Пример П8.5

В условиях примера П8.1 в каждой однородной подсистеме применено общее дублирование. Найти коэффициент готовности системы, полагая, что значения средней наработки до отказа модулей:  $T_{cp1} = 16\ 800$  час,  $T_{cp2} = 33\ 600$  час,  $T_{cp3} = 50\ 400$  час. Количество модулей  $k_1 = 2$ ,  $k_2 = 4$ ,  $k_3 = 6$ . Установить, как изменится коэффициент готовности при увеличении вдвое количества модулей каждого типа.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ ,  $A = A_1 + A_2 + A_3 = 3$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0$ . Расчет проводим по формулам (8.11), (8.62), (8.67) модели ПЭД2(111). Результаты расчетов приведены в табл. П8.14 для  $A = 3$  и  $A = 6$ . Данные приведены для каждого типа модулей и для системы в целом.

Таблица П8.14. Модель ПЭД2. Стратегия 111

$A$	$D$	$k_p$	$K_z^*(0)$	$K_z(0)$	$K_z^*(0, П2)$	$K_z(0, П2)$	$K_{z\text{ЗИП}}(0)$	$K_{z\text{ПП}}(0)$
1	10	0,1	0,97174	0,98517	0,60042	0,94176	0,91809	0,99665
3	10	0,1	0,91760	0,95618	0,21646	0,83525	0,77385	0,98998
2	10	0,2	0,92413	0,95529	0,25235	0,83191	0,84967	0,98872
6	10	0,2	0,78922	0,87178	0,01607	0,57574	0,61342	0,96654

Восстановление базовой структуры с помощью экстренных доставок существенно увеличивает коэффициент готовности однородных подсистем и системы в целом даже при отсутствии комплекта ЗИП: от 0,835 до 0,956 в среднем и от 0,216 до 0,918 по наихудшему циклу. Существенно возрастает и коэффициент готовности ЗИП по сравнению со стратегией ПП. При использовании методики [4] приближенное значение коэффициента готовности дает

очень завышенную оценку точного значения. Также весьма завышенную оценку дает и формула (2.15) при расчете вероятности безотказной работы: при  $A = 1$ : для однородной подсистемы приближенное значение равно 0,96283 при точном значении 0,60042. Здесь следует заметить, что использование экстренных доставок в модели ПЭД1 не влияет на вероятность безотказной работы, но увеличивает коэффициент готовности ЗИП. Поэтому значение ВБР здесь надо брать из модели П1, а методика дает заведомо сильно завышенную оценку.

## Пример П8.6

В условиях примера П8.5 система оснащается комплектом ЗИП, в состав которого входят по одной запасной части каждого типа. Необходимо установить, насколько увеличатся показатели надежности, и сравнить со стратегией ПП в модели П2.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i p_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 1$ . Расчет проводим по формулам (8.11), (8.68), (8.69) модели ПЭД2(111) в следующем порядке: сначала по формулам (8.58) после нормирования и приведения к безразмерному виду находим коэффициенты:

$$a_0 = (4 + kp)(kp)^2 / 2 = 0,0205, a_1 = 0,5kp(5 + 4kp) = 0,27, a_2 = 1 + 2,5kp = 1,25.$$

Затем с помощью численной процедуры находим корни полинома третьей степени и обнаруживаем, что два корня комплексно-сопряженные:

$$a = 0,124675803, b = 0,070304059, s_2 = c = 1,000648395.$$

По формулам (8.68) рассчитываем:

$$C_1 = 2,1039114, C_2 = 0,9734721, C_3 = 0,0265279.$$

Далее по формулам (8.68) рассчитываем коэффициент готовности однородной подсистемы и для системы в целом по наихудшему циклу  $K_c^*(1, ПЭД111)$  и в среднем по периоду пополнения  $K_c(1, ПЭД111)$ .

Оценки первого и второго типов находим по формулам (8.69). В оценках первого типа коэффициент  $\beta = 21,746$ , в оценках второго типа  $a = 0,108$ ,  $b = 0,068818602$ . Оценки дают двустороннее приближение для точного значения, но вторая оценка очень близка к точному значению.

Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.15.

Таблица П8.15. Модель ПЭД2. Стратегия 111

$A$	$D$	$kp$	$K_c^*(1)$	$K_c(1)$	$K_{зип1}^*(1)$	$K_{зип2}^*(1)$	$K_{зип2}(1)$	$K_c(1, П2)$
1	10	0,1	0,99035	0,99641	0,99542	0,99026	0,99608	0,95460
3	10	0,1	0,97134	0,98928	0,98633	0,97107	0,98828	0,86990
2	10	0,2	0,96206	0,98291	0,97852	0,96334	0,98263	0,79484
6	10	0,2	0,89045	0,94960	0,93693	0,89401	0,94880	0,50216

Из данных табл. П8.15 следует:

- при введении одной запасной части коэффициент неготовности уменьшается в 4 раза при  $A = 3$  и в 2,5 раза при  $A = 6$ . По сравнению со стратегией периодического пополнения коэффициент уменьшается соответственно в 12,5 и 10 раз;
- оценка коэффициента готовности, полученная по медленному движению, при  $A = 3$  является оценкой снизу и имеет малую погрешность, меньшую, чем оценка первого типа на основе экспоненциальной модели.

## Пример П8.7

В условиях примера П8.6 количество запасных частей каждого типа в комплекте ЗИП увеличивается до двух. Необходимо установить, насколько увеличатся показатели надежности, и сравнить со стратегией ПП в модели П2.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 2$ . Расчет проводим по формулам (8.70)–(8.72) модели ПЭД2(111) в следующем порядке: сначала по формулам (8.58) после нормирования и приведения к безразмерному виду находим коэффициенты:

$$A_0 = (5 + k\rho)(k\rho)^3 / 2 = 0,00255, A_1 = 0,5(9 + 5k\rho)(k\rho)^2 = 0,0475, \\ A_2 = 0,5k\rho(7 + 9k\rho) = 0,395, A_3 = 1 + 3,5k\rho = 1,35.$$

Затем с помощью численной процедуры находим корни полинома четвертой степени и обнаруживаем, что два корня комплексно-сопряженные, а два — действительные:

$$a = 0,086020663, b = 0,083215604, s_2 = c = 0,99992778, s_3 = d = 0,178030893.$$

По формулам (8.66, г) рассчитываем:

$$C_1 = 2,2452323, C_2 = 0,128634, C_3 = 0,003684378, C_4 = 1,13231839.$$

Далее по формулам (8.70) рассчитываем коэффициент готовности однородной подсистемы и для системы в целом по наихудшему циклу  $K_c^*(2, \text{ПЭД111})$  и в среднем по периоду пополнения  $K_c(2, \text{ПЭД111})$ .

Оценки первого и второго типов находим по формулам (8.72). В оценках первого типа коэффициент  $\beta = 95,114$ , в оценках второго типа  $a = 0,0601266$ ,  $b = 0,0532963$ . Оценки дают двустороннее приближение для точного значения, но вторая оценка очень близка к точному значению.

Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.16.

Таблица П8.16. Модель ПЭД2. Стратегия 111

$A$	$D$	$k\rho$	$K_c^*(2)$	$K_c(2)$	$K_{emp1}^*(2)$	$K_{emp2}^*(2)$	$K_{emp2}(2)$	$K_c(2, \text{П2})$
1	10	0,1	0,99719	0,99923	0,99895	0,99581	0,99844	0,98951
3	10	0,1	0,99159	0,99770	0,99685	0,98748	0,99534	0,96886
2	10	0,2	0,97953	0,99333	0,99118	0,97949	0,99152	0,91301
6	10	0,2	0,93983	0,98012	0,97378	0,93972	0,97476	0,76106

Из данных табл. П8.16 следует:

- при введении еще одной запасной части коэффициент неготовности уменьшается в 4,7 раза при  $A = 3$  и в 2,5 раза при  $A = 6$ . По сравнению со стратегией периодического пополнения коэффициент уменьшается соответственно в 13,5 и 12 раз;
- оценка коэффициента готовности, полученная по медленному движению, при  $A = 3$  является оценкой снизу и имеет малую погрешность, меньшую, чем оценка первого типа на основе экспоненциальной модели.

## Пример П8.8

В условиях примеров П8.6 и П8.7 стратегия пополнения ПЭД2(111) заменяется стратегией ПЭД2(121). Необходимо найти коэффициент готовности системы и сравнить со стратегией ПЭД2(111) и ПП в модели П2.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$  или 2,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или 2. Расчет проводим по формулам (8.70), (8.75), (8.76). Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.17.

Таблица П8.17. Модель ПЭД2. Стратегия 121

A	L	k $\rho$	K $_c^*(L,T)$		K $_c(L,T)$		$\delta_1\%$	$\delta_2\%$	K $_c(L,T,П2)$
			121	111	121	111			
1	0	0,1	0,97174	0,97174	0,98517	0,98517	0	0	0,63212
1	1	0,1	0,98907	0,99035	0,99611	0,99641	11,8	7,9	0,95460
1	2	0,1	0,99692	0,99719	0,99918	0,99923	8,57	6,2	0,98951
2	0	0,2	0,92413	0,92413	0,95529	0,95529	0	0	0,43233
2	1	0,2	0,95086	0,96206	0,97986	0,98291	22,8	15,2	0,79484
2	2	0,2	0,97499	0,97953	0,99236	0,99333	18,1	12,6	0,91301
3	0	0,1	0,91760	0,91760	0,95618	0,95618	0	0	0,25258
3	1	0,1	0,96756	0,97134	0,98836	0,98928	11,6	7,89	0,86990
3	2	0,1	0,99080	0,99159	0,99755	0,99770	8,55	6,17	0,96886
6	0	0,2	0,78922	0,78922	0,87178	0,87178	0	0	0,08081
6	1	0,2	0,85971	0,89045	0,94079	0,94960	21,9	14,9	0,50216
6	2	0,2	0,92684	0,93983	0,97726	0,98012	17,8	12,5	0,76106

$$\delta_1 = 100(K_c^*(T,L,111) - K_c^*(T,L,121))/(1 - K_c^*(T,L,121)),$$

$$\delta_2 = 100(K_c(T,L,111) - K_c(T,L,121))/(1 - K_c(T,L,121)).$$

При  $L = 0$  переход к стратегии 121 не изменяет коэффициента готовности системы. При  $L = 1$  и 2 переход от стратегии 111 к стратегии 121 увеличивает коэффициент простоя системы по наихудшему циклу и в среднем по периоду пополнения на 10–20 %.

## Пример П8.9

В системе с групповым дублированием, рассмотренной в примере П8.5, используется экстренная доставка  $L + 1$  одинаковых запасных частей после отказа комплекта ЗИП по запасам данного типа. Найти вероятность безотказной работы и среднюю наработку до отказа системы при  $L_i = 0, 1$  и 2, сравнить со стратегиями 111 и 121.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$  или 2,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или 2. При  $L = 0$  расчет вероятности безотказной работы и средней наработки до отказа проводим по формулам (8.80) и (8.88) модели ПЭД2(211). Сначала после нормирования находим по формуле (8.80) значения корней полинома:  $s_1$  и  $s_2$ , затем  $Q(t, 0)$ . Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.18.

Таблица П8.18. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$D$	$k\rho$	$s_1$	$s_2$	$P(T, 0)$	$P(T, 0, \Pi 2)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$\delta\%$
1	10	0,1	0,00436	1,14564	0,96096	0,84518	25,148	3,97
2	10	0,2	0,00436	1,14564	0,86631	0,60042	14,009	2,99
3	10	0,1	0,01557	1,28443	0,88738	0,60374	8,383	3,52
6	10	0,2	0,01557	1,28443	0,65016	0,21646	4,670	2,24

$$\delta = 100(1 - P(T, 0, \Pi 2)) / (1 - P(T, 0, \text{ПЭД2}))$$

При  $L = 1$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам

$$a_0 = (k\rho)^3 / 2, a_1 = 2k\rho(1 + k\rho), a_2 = 1 + 2,5k\rho$$

вычисляем коэффициенты полинома третьей степени и убеждаемся, что все корни действительные. При  $k\rho = 0,1$  расчеты дают:  $a_0 = 0,0005$ ,  $a_1 = 0,22$ ,  $a_2 = 1,25$ .

Затем по формуле (8.82) находим вероятность отказа для дублированных групп и вероятность безотказной работы для системы в целом.

Для расчета приближенных значений вероятности отказа используем формулы (8.83) и (8.86), а для расчета средней наработки до отказа — формулы (8.87) и (8.88). Результаты расчетов представлены в табл. П8.19–П8.20.

Таблица П8.19. Модель ПЭД2. Стратегия 211.  $L = 1$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$s_2$	$s_1$	$s_0$	$Q(T,1)$	$P(T,1)$	$P(T,1,П2)$
1	0,1	10	1,03865	0,20905	0,00230	0,01141	0,98859	0,84518
2	0,2	10	1,04382	0,44762	0,00856	0,05680	0,94320	0,60042
3	0,3	10	1,03865	0,20905	0,00230	0,03384	0,96616	0,60374
6	0,6	10	1,04382	0,44762	0,00856	0,16090	0,83910	0,21646

Таблица П8.20. Модель ПЭД2. Стратегия 211.  $L = 1$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{срnp1}(1)$	$k\lambda T_{срnp2}(1)$	$k\lambda T_{ср}(1,П2)$	$\delta\%$
1	0,1	10	0,01200	0,00822	82,86	124,5	21,7	5,2
2	0,2	10	0,05737	0,04097	33,87	51,3	9,1	1,0
3	0,3	10	0,03557	0,02445	27,62	41,5	7,2	5,1
6	0,6	10	0,16241	0,11794	11,29	17,1	3,0	0,9

$$\delta = 100 (Q_{np1}(T,1) - Q(T,1)) / Q(T,1)$$

Из приближенных формул наиболее точной является формула (8.83). Она дает погрешность всего в несколько процентов. Соответственно наиболее точной формулой для расчета средней наработки является формула (8.87).

При  $L = 2$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам

$$a_0 = (k\rho)^4 / 2, a_1 = 0,5(k\rho)^2(6 + 5k\rho + (k\rho)^2), a_2 = 3k\rho(1 + 5k\rho), a_3 = 1 + 3,5k\rho$$

вычисляем коэффициенты полинома четвертой степени и убеждаемся, что два корня — комплексно-сопряженные, а два — действительные. При  $k\rho = 0,1$  расчеты дают:  $a_0 = 0,00005$ ,  $a_1 = 0,0325$ ,  $a_2 = 0,345$ ,  $a_3 = 1,35$ . Затем по формуле (8.82) находим вероятность отказа для дублированных групп и вероятность безотказной работы для системы в целом. Результаты расчетов приведены в табл. П8.21–П8.22.

Таблица П8.21. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$k\rho$	$D$	$a$	$b$	$c = s_2$	$d = s_3$	$Q(T,2)$	$P(T,2)$	$P(T,2,П2)$
1	0,1	10	0,14864	0,09119	1,05116	0,00156	0,00309	0,99691	0,98951
2	0,2	10	0,29175	0,19195	1,11060	0,00591	0,02566	0,97434	0,91301
3	0,3	10	0,14864	0,09119	1,05116	0,00156	0,00923	0,99077	0,96886
6	0,6	10	0,29175	0,19195	1,11060	0,00591	0,07501	0,92499	0,76106



Таблица П8.22. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$Q_{nrcp}(T,2)$	$k\lambda T_{cnp2}(2)$	$k\lambda T_{cnp2}(2)$	$k\lambda T_{cp,сн}(2)$	$\delta\%$
1	0,1	10	0,00541	0,00176	0,00359	184,4	369,1	276,8	16
2	0,2	10	0,03037	0,01439	0,02238	65,0	130,8	97,9	-13
3	0,3	10	0,01615	0,00526	0,01072	61,5	123,0	92,3	16
6	0,6	10	0,08837	0,04254	0,06564	21,7	43,6	32,6	-12

$$\delta = 100 (Q_{np1}(T,2) - Q(T,2)) / Q(T,2)$$

Здесь ошибка  $\delta$  знакопеременная, и среднее арифметическое приближенных оценок наиболее близко к точному значению.

## Пример П8.10

Система, рассмотренная в примере П8.9, переходит из режима НПДП в режим МКЦП. Необходимо найти коэффициент готовности системы и оценить изменение показателей надежности при пропорциональном увеличении системы в 1,5 и 2 раза.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ , 1,5 или 2,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0$ , 1 или 2. При  $L = 0$  расчет проводим по формулам (8.102)–(8.103) модели ПЭД2(211). Сначала после нормирования находим значения корней полинома:  $s_1$  и  $s_2$ , затем  $Q(t,0)$ . Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.23.

Таблица П8.23. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$D$	$k_p$	$s_0$	$s_1$	$K_z^*(T,0)$	$K_z(T,0)$	$K_z^*(T,0,П2)$	$K_z(T,0,П2)$
1	10	0,1	0,85000	1,30000	0,99548	0,99636	0,36788	0,63212
1,5	10	0,15	0,83608	1,38892	0,99032	0,99217	0,22313	0,51791
2	10	0,2	0,82984	1,47016	0,98362	0,98670	0,13534	0,43233
3	10	0,3	0,85000	1,30000	0,98649	0,98911	0,04979	0,25258
4,5	10	0,45	0,83608	1,38892	0,97123	0,97669	0,01111	0,13892
6	10	0,6	0,82984	1,47016	0,95165	0,96062	0,00248	0,08081

При  $L = 1$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам (8.106) вычисляем коэффициенты полинома третьей степени и убеждаемся, что пара корней — комплексно-сопряженные, а один корень — действительный. Затем по формулам (8.68) находим коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и коэффициенты готовности по наихудшему циклу и в среднем по периоду пополнения. Предельное значение коэффициента готовности при неограниченном  $T$  надо взять из формулы (8.104). Для расчета приближенных значений вероятности отказа используем формулы (8.107) и (8.108). Результаты расчетов представлены в табл. П8.24–П8.25.

Таблица П8.24. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$D$	$k\rho$	$a$	$b$	$c$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_c(T,1,\Pi_2)$
1,0	10	0,10	1,02243	0,07182	0,20514	0,99815	0,99904	0,987152
1,5	10	0,15	1,03186	0,11344	0,31128	0,99542	0,99740	0,965522
2,0	10	0,20	1,04084	0,16075	0,41833	0,99173	0,99497	0,934488
3,0	10	0,30	1,02243	0,07182	0,20514	0,99445	0,99711	0,96195
4,5	10	0,45	1,03186	0,11344	0,31128	0,98633	0,99223	0,90009
6,0	10	0,60	1,04084	0,16075	0,41833	0,97540	0,98500	0,81606

Таблица П8.25. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$D$	$k\rho$	$K_{emp2}^*(T,1)$	$K_{emp2}(T,1)$	$\delta_1\%$	$\delta_2\%$
1,0	10	0,10	0,99817	0,9990364	1,12	0,09
1,5	10	0,15	0,99495	0,9972129	-10,24	-7,33
2,0	10	0,20	0,99148	0,9949100	-3,01	-1,27
3,0	10	0,30	0,99451	0,99711	1,12	0,09
4,5	10	0,45	0,98493	0,99166	-10,19	-7,31
6,0	10	0,60	0,97466	0,98481	-2,99	-1,26

$$\delta_1 = 100(K_{emp2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1)),$$

$$\delta_2 = 100(K_{emp2}(T,1) - K_c(T,1))/(1 - K_c(T,1)).$$

Приближенная формула второго типа имеет приемлемую погрешность (несколько процентов).

При  $L = 2$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам

$$A_0 = ((3 + 2k\rho + (k\rho)^2 / 2)(k\rho)^2 / 2, A_1 = 0,5k\rho(6 + 15k\rho + (k\rho)^2)$$

$$A_2 = 1 + 13k\rho / 2 + 4,5(k\rho)^2, A_3 = 2 + 3,5k\rho$$

вычисляем коэффициенты полинома четвертой степени и убеждаемся, что два корня — комплексно-сопряженные, а два действительные. При  $k\rho = 0,1$  расчеты дают:  $a_0 = 0,03205$ ,  $a_1 = 0,3775$ ,  $a_2 = 1,695$ ,  $a_3 = 2,35$ . Затем по формулам (8.109) и (8.110) находим коэффициент готовности для дублированных групп и коэффициент готовности системы в целом. При расчете приближенного значения коэффициента готовности по формулам (8.111) и (8.112) выясняем, что корни — комплексно-сопряженные. Поэтому приближенное значение находим по формуле (8.69), где предельное значение коэффициента готовности берем из формулы (8.111). Результаты расчетов представлены в табл. П8.26.

Таблица П8.26. Модель ПЭД2. Стратегия 211

$A$	$D$	$k_p$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{cnp2}^*(T,2)$	$K_{cnp2}(T,2)$	$\delta_1\%$	$\delta_2\%$
1,0	10	0,10	0,99931	0,99976	0,99865	0,99938	-94,6	-159,2
1,5	10	0,15	0,99770	0,99911	0,99635	0,99810	-58,6	-113,8
2,0	10	0,20	0,99511	0,99791	0,99333	0,99609	-36,4	-87,1
3,0	10	0,30	0,99793	0,99928	0,99597	0,99814	-94,5	-159,1
4,5	10	0,45	0,99310	0,99733	0,98908	0,99430	-58,4	-113,6
6,0	10	0,60	0,98540	0,99374	0,98013	0,98830	-36,1	-86,7

$$\delta_1 = 100(K_{cnp2}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2)),$$

$$\delta_2 = 100(K_{cnp2}(T,2) - K_c(T,2))/(1 - K_c(T,2)).$$

Видим, что здесь погрешность приближенной формулы больше, чем при  $L = 1$ , но она уменьшается с ростом  $A$ .

## Пример П8.11

В условиях примера П8.9 в системе используется стратегия 221 для экстренной доставки ЗЧ в комплект ЗИП. Найти показатели безотказности.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1$ , 1,5 или 2,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0$ , 1 или 2. Расчет проводим по формулам (8.120) модели ПЭД2(221). Сначала находим значения корней полинома:  $s_0$  и  $s_1$ , затем  $Q(t,L)$ . Результаты расчетов при  $L = 1$  и 2 для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.27. При  $L = 0$  показатели безотказности для стратегий 211 и 221 совпадают.

Таблица П8.27. Модель ПЭД2. Стратегия 221

$A$	$D$	$k_p$	$L$	$P(T,L)$		$k\lambda T_{cp}(L)$		$\delta\%$	
				211	221	211	221	$Q$	$T_{cp}$
1,0	10	0,10	1	0,98859	0,98642	82,86	73,28	19,02	13,07
1,5	10	0,15	1	0,96998	0,96227	48,1	39,24	25,68	22,58
2,0	10	0,20	1	0,94320	0,92592	33,87	26,28	30,42	28,88
3,0	10	0,30	1	0,96616	0,95980	27,62	24,43	18,79	13,06
4,5	10	0,45	1	0,91262	0,89102	16,02	13,08	24,72	22,48
6,0	10	0,60	1	0,83910	0,79381	11,29	8,76	28,15	28,88
1,0	10	0,10	2	0,99691	0,99665	369,1	297,89	8,41	23,90
1,5	10	0,15	2	0,98883	0,98671	197,0	112,45	18,98	75,19

Таблица П8.27 (окончание)

A	D	k <sub>p</sub>	L	P(T,L)		kλT <sub>cp</sub> (L)		δ%	
				211	221	211	221	Q	T <sub>cp</sub>
2,0	10	0,20	2	0,97434	0,96710	130,8	60,22	28,22	117,20
3,0	10	0,30	2	0,99077	0,98997	123,0	99,30	8,67	23,87
4,5	10	0,45	2	0,96686	0,96066	65,66	37,48	18,71	75,19
6,0	10	0,60	2	0,92499	0,90453	43,6	20,07	27,28	117,24

$$\delta Q = 100(P(T,1,221) - P(T,1,211))/(1 - P(T,1,211)),$$

$$\delta T = 100(T_{cp}(L,221) - T_{cp}(L,211))/T_{cp}(L,211).$$

Из данных табл. П8.27 следует, что при увеличении количества запасных частей в комплекте ЗИП различия в показателях безотказности для различных стратегий увеличиваются.

## Пример П8.12

В условиях примера П8.10 в системе используется стратегия 221 для экстренной доставки ЗЧ в комплект ЗИП. Найти показатели готовности системы и сравнить со стратегией 211.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1, 1,5$  или  $2$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_{ip_i} = A_i/D = 0,1$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или  $2$ . Расчет проводим по формулам (8.124) и (8.127). Сначала находим значения корней полинома:  $s_0$  и  $s_1$ , затем коэффициент готовности. Результаты расчетов при  $L = 1$  и  $2$  для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.28. При  $L = 0$  показатели готовности для стратегий 211 и 221 совпадают.

Таблица П8.28. Модель ПЭД2. Стратегия 221

A	D	k <sub>p</sub>	L	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T, L)		K <sub>z</sub> (T, L)		δ%	
				211	221	211	221	K <sub>z</sub> <sup>*</sup>	K <sub>z</sub>
1,0	10	0,10	0	0,99548	0,99548	0,99636	0,99636	0,00	0,00
1,5	10	0,15	0	0,99032	0,99032	0,99217	0,99217	0,00	0,00
2,0	10	0,20	0	0,98362	0,98362	0,98670	0,98670	0,00	0,00
3,0	10	0,30	0	0,98649	0,98649	0,98911	0,98911	0,00	0,00
4,5	10	0,45	0	0,97123	0,97123	0,97669	0,97669	0,00	0,00
6,0	10	0,60	0	0,95165	0,95165	0,96062	0,96062	0,00	0,00
1,0	10	0,10	1	0,99815	0,99752	0,99904	0,99884	34,05	20,83

Таблица П8.28 (окончание)

A	D	k <sub>p</sub>	L	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T, L)		K <sub>z</sub> (T, L)		δ%	
				211	221	211	221	K <sub>z</sub> <sup>*</sup>	K <sub>z</sub>
1,5	10	0,15	1	0,99542	0,99326	0,99740	0,99666	47,16	28,46
2,0	10	0,20	1	0,99173	0,98699	0,99497	0,99320	57,32	35,19
3,0	10	0,30	1	0,99445	0,99257	0,99711	0,99651	33,87	20,76
4,5	10	0,45	1	0,98633	0,97993	0,99223	0,99001	46,82	28,57
6,0	10	0,60	1	0,97540	0,96147	0,98500	0,97975	56,63	35,00
1,0	10	0,10	2	0,99931	0,99912	0,99976	0,99972	27,54	16,67
1,5	10	0,15	2	0,99770	0,99669	0,99911	0,99886	43,91	28,09
2,0	10	0,20	2	0,99511	0,99215	0,99791	0,99713	60,53	37,32
3,0	10	0,30	2	0,99793	0,99736	0,99928	0,99915	27,54	18,06
4,5	10	0,45	2	0,99310	0,99011	0,99733	0,99659	43,33	27,72
6,0	10	0,60	2	0,98540	0,97664	0,99374	0,99141	60,00	37,22

$$\delta_1 = 100(K_z^*(T, L, 221) - K_z^*(T, L, 211)) / (1 - K_z^*(T, L, 211)),$$

$$\delta_2 = 100(K_z(T, L, 221) - K_z(T, L, 211)) / (1 - K_z(T, L, 211)).$$

С увеличением  $L$  при небольших  $A$  различия в стратегиях уменьшаются.

## Пример П8.13

В однородной дублированной системе (модель ПЭД2) период пополнения может меняться от одной десятой до двух значений среднего интервала между отказами элементов. Заявка на экстренную доставку формируется после отказа системы (при очередном отказе элемента после исчерпания запасов) или после отказа комплекта ЗИП. Среднее время экстренной доставки в 2–20 раз меньше периода пополнения. Необходимо провести расчет показателей безотказности и готовности системы для стратегий 111, 121, 211 и 221 при отсутствии запасов, одной или двух запасных частей в комплекте ЗИП, выполнить анализ зависимостей показателей от основных параметров и факторов. Сравнить со стратегией периодического пополнения запасов.

## Решение

По исходным данным находим:  $A = 0,1-2$ ,  $k_p = 0,01-0,2$ ,  $D = 1-20$ ,  $L = 0, 1$  или  $2$ . Расчет надежности выполняется по формулам (8.45)–(8.53), (8.55), (8.56). Результаты расчетов приведены в табл. П8.29–П8.58 и на рис. П8.3–П8.8.

Таблица П8.29. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 111

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,0)$	$K_c(T,0)$	$K_c^*(T,0,П2)$	$K_c(T,0,П2)$	$K_c^*(T,1,П2)$	$K_c^*(T,2,П2)$
0,1	0,1	1	0,99825	0,99936	0,997621	0,999197	0,999922	0,999998
0,2	0,1	2	0,99486	0,99799	0,990944	0,996905	0,999411	0,999971
0,3	0,1	3	0,99116	0,99633	0,980598	0,993288	0,998132	0,999863
0,4	0,1	4	0,98759	0,99458	0,967141	0,988493	0,995835	0,999596
0,5	0,1	5	0,98428	0,99285	0,951071	0,982655	0,992346	0,999079
0,6	0,1	6	0,98126	0,99116	0,932825	0,975898	0,987551	0,998217
0,8	0,1	8	0,97603	0,98801	0,891311	0,960061	0,973830	0,995083
1	0,1	10	0,97174	0,98517	0,845182	0,941757	0,954605	0,989511
1,5	0,1	15	0,96412	0,97932	0,721603	0,889109	0,885380	0,961914
2	0,1	20	0,95950	0,97490	0,600424	0,831909	0,794841	0,913006

Таблица П8.30. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 111

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,0)$	$K_c(T,0)$	$K_c^*(T,0,П2)$	$K_c(T,0,П2)$	$K_c^*(T,1,П2)$	$K_c^*(T,2,П2)$
0,1	0,01	10	0,99957	0,99980	0,9976214	0,999197	0,9999217	0,999998
0,2	0,02	10	0,99837	0,99923	0,9909441	0,996905	0,9994113	0,999971
0,3	0,03	10	0,99650	0,99833	0,9805977	0,993288	0,9981318	0,999863
0,4	0,04	10	0,99407	0,99713	0,9671415	0,988493	0,9958349	0,999596
0,5	0,05	10	0,99116	0,99567	0,9510709	0,982655	0,9923458	0,999079
0,6	0,06	10	0,98785	0,99396	0,9328248	0,975898	0,9875510	0,998217
0,8	0,08	10	0,98026	0,98991	0,8913111	0,960061	0,9738301	0,995083
1	0,1	10	0,97174	0,98517	0,8451819	0,941757	0,9546049	0,989511
1,5	0,15	10	0,94832	0,97117	0,7216029	0,889109	0,8853805	0,961914
2	0,2	10	0,92413	0,95529	0,6004236	0,831909	0,7948413	0,913006

Таблица П8.31. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{cnp1}^*(T,1) - K_c^*(T,1)) / (1 - K_c^*(T,1))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{cnp1}^*(T,1)$	$K_{cnp2}^*(T,1)$	$K_{cnp2}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,1	1	0,999938	0,999984	0,9999922	0,999814	0,999992	58,8	-28,9
0,20	0,1	2	0,999622	0,999895	0,9999411	0,999307	0,999944	58,2	-25,7
0,30	0,1	3	0,999005	0,999709	0,9998131	0,998550	0,999825	57,5	-22,7
0,40	0,1	4	0,998124	0,999428	0,9995832	0,997602	0,999616	56,9	-20,1

Таблица П8.31 (окончание)

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,1)$	$K_{\varepsilon}(T,1)$	$K_{\text{зп}1}^*(T,1)$	$K_{\text{зп}2}^*(T,1)$	$K_{\text{зп}2}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,50	0,1	5	0,997038	0,999061	0,9992336	0,996515	0,999304	56,2	-17,8
0,60	0,1	6	0,995807	0,998623	0,9987525	0,995330	0,998883	55,6	-15,7
0,80	0,1	8	0,993111	0,997586	0,9973710	0,992810	0,997702	54,1	-12,2
1,00	0,1	10	0,990352	0,996414	0,9954227	0,990263	0,996078	52,6	-9,38
1,25	0,1	12,5	0,987114	0,994872	0,9922261	0,987255	0,993471	50,5	-6,59
1,50	0,1	15	0,984293	0,993338	0,9882685	0,984588	0,990301	48,2	-4,46
1,75	0,1	17,5	0,981962	0,991873	0,9836608	0,982329	0,986658	45,9	-2,85
2,00	0,1	20	0,980114	0,990514	0,9785183	0,980484	0,982632	43,4	-1,63

$$\delta_1 = (K_{\text{зп}2}^*(T,1) - K_{\lambda}^*(T,1)) / (1 - K_{\lambda}^*(T,1))$$

Таблица П8.32. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{\text{зп}1}^*(T,1) - K_{\lambda}^*(T,1)) / (1 - K_{\lambda}^*(T,1))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,1)$	$K_{\varepsilon}(T,1)$	$K_{\text{зп}1}^*(T,1)$	$K_{\text{зп}2}^*(T,1)$	$K_{\text{зп}2}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	0,99998	0,99999	0,99999	0,999978	0,999992	59	-18
0,2	0,02	10	0,99986	0,99995	0,99994	0,9998376	0,999944	58	-15
0,3	0,03	10	0,99956	0,99986	0,99981	0,999505	0,999825	58	-12
0,4	0,04	10	0,99903	0,99968	0,99958	0,998936	0,999616	57	-10
0,5	0,05	10	0,99825	0,99941	0,99923	0,998109	0,999304	56	-8,0
0,6	0,06	10	0,99719	0,99904	0,99875	0,997021	0,998883	56	-6,1
0,8	0,08	10	0,99427	0,99795	0,99737	0,994091	0,997702	54	-3,3
1	0,1	10	0,99035	0,99641	0,99542	0,990263	0,996078	53	-0,9
1,25	0,125	10	0,98430	0,99387	0,99223	0,984469	0,993471	50	1,1
1,50	0,15	10	0,97733	0,99071	0,98827	0,977862	0,990301	48	2,3
1,75	0,175	10	0,96982	0,98703	0,98366	0,970739	0,986658	46	3,1
2,00	0,2	10	0,96206	0,98291	0,97852	0,963344	0,982632	43	3,4

$$\delta_1 = (K_{\text{зп}2}^*(T,1) - K_{\lambda}^*(T,1)) / (1 - K_{\lambda}^*(T,1))$$

Таблица П8.33. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зпп1}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2))$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{зпп1}^*(T,2)$	$K_{зпп2}^*(T,2)$	$K_{зпп2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,1	1	0,999998	1,000000	0,999999	0,999939	0,999980	23,6	-3683
0,20	0,1	2	0,999980	0,999996	0,999987	0,999766	0,999921	38,0	-1055
0,30	0,1	3	0,999918	0,999982	0,999957	0,999496	0,999827	47,0	-517
0,40	0,1	4	0,999791	0,999951	0,999901	0,999139	0,999701	52,7	-311
0,50	0,1	5	0,999581	0,999900	0,999817	0,998709	0,999547	56,4	-208
0,60	0,1	6	0,999280	0,999823	0,999704	0,998217	0,999367	58,8	-148
0,80	0,1	8	0,998402	0,999585	0,999385	0,997083	0,998941	61,5	-82,6
1,00	0,1	10	0,997188	0,999232	0,998950	0,995809	0,998444	62,7	-49,0
1,25	0,1	12,5	0,995311	0,998641	0,998261	0,994110	0,997748	62,9	-25,6
1,50	0,1	15	0,993199	0,997912	0,997444	0,992375	0,996997	62,4	-12,1
1,75	0,1	17,5	0,991020	0,997083	0,996537	0,990674	0,996215	61,4	-3,84
2,00	0,1	20	0,988911	0,996192	0,995572	0,989058	0,995420	60,1	1,33

$$\delta_1 = (K_{зпп2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1))$$

Таблица П8.34. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зпп1}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2))$ 

$A$	$k\rho$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{зпп1}^*(T,2)$	$K_{зпп2}^*(T,2)$	$K_{зпп2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000	66	-1066
0,2	0,02	10	0,99999	1,00000	1,00000	0,99995	0,99998	66	-498,4
0,3	0,03	10	0,99996	0,99999	1,00000	0,99984	0,99994	66	-309,6
0,4	0,04	10	0,99988	0,99997	0,99996	0,99963	0,99987	65	-215,5
0,5	0,05	10	0,99974	0,99993	0,99991	0,99932	0,99976	65	-159,3
0,6	0,06	10	0,99950	0,99987	0,99982	0,99889	0,99960	64	-122,0
0,8	0,08	10	0,99865	0,99964	0,99951	0,99762	0,99914	64	-76,03
1	0,1	10	0,99719	0,99923	0,99895	0,99581	0,99844	63	-49,03
1,25	0,125	10	0,99437	0,99839	0,99783	0,99279	0,99725	61	-28,2
1,5	0,15	10	0,99042	0,99715	0,99617	0,98899	0,99568	60	-14,9
1,75	0,175	10	0,98542	0,99546	0,99395	0,98452	0,99377	59	-6,2
2	0,2	10	0,97953	0,99333	0,99118	0,97949	0,99152	57	-0,2

$$\delta_1 = (K_{зпп2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1))$$



Таблица П8.35. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$		$K_c(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,10	0,1	1	0,999938	0,999998	0,999984	0,999984	96,78	2,64
0,20	0,1	2	0,999619	0,99998	0,999894	0,999895	94,75	1,03
0,30	0,1	3	0,998987	0,999918	0,999705	0,999709	91,91	1,20
0,40	0,1	4	0,998067	0,999791	0,999416	0,999428	89,19	1,99
0,50	0,1	5	0,996907	0,999581	0,999034	0,999061	86,45	2,78
0,60	0,1	6	0,995557	0,99928	0,998569	0,998623	83,79	3,74
0,80	0,1	8	0,992460	0,998402	0,997438	0,997586	78,81	5,77
1,00	0,1	10	0,989067	0,997188	0,996106	0,996414	74,3	7,91
1,25	0,1	12,5	0,984722	0,995311	0,994263	0,994872	69,3	10,6
1,50	0,1	15	0,980504	0,993199	0,992319	0,993338	65,1	13,3
1,75	0,1	17,5	0,976570	0,99102	0,990346	0,991873	61,7	15,8
2,00	0,1	20	0,973000	0,988911	0,988397	0,990514	58,9	18,2

$$\delta = (K_c^*(T,1,111) - K_c^*(T,1,121))/(1 - K_c^*(T,1,121)),$$

$$\delta_1 = (K_c(T,1,111) - K_c(T,1,121))/(1 - K_c(T,1,121)).$$

Таблица П8.36. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$		$K_c(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,10	0,01	10	0,9999808	0,9999810	0,9999940	0,9999941	1,14	0,81
0,20	0,02	10	0,9998559	0,9998593	0,9999545	0,9999552	2,33	1,59
0,30	0,03	10	0,9995440	0,9995598	0,9998537	0,9998572	3,46	2,39
0,40	0,04	10	0,9989858	0,9990328	0,9996696	0,9996801	4,63	3,17
0,50	0,05	10	0,9981403	0,9982486	0,9993850	0,9994095	5,82	3,98
0,60	0,06	10	0,9969816	0,9971932	0,9989867	0,9990351	7,01	4,77
0,80	0,08	10	0,9936780	0,9942717	0,9978136	0,9979526	9,39	6,36
1,00	0,1	10	0,9890670	0,9903524	0,9961061	0,9964143	11,76	7,92
1,25	0,125	10	0,9816055	0,9843036	0,9932070	0,9938742	14,67	9,82
1,50	0,15	10	0,9725279	0,9773347	0,9894878	0,9907147	17,50	11,67
1,75	0,175	10	0,9621685	0,9698161	0,9850120	0,9870276	20,21	13,45
2,00	0,2	10	0,9508611	0,9620633	0,9798608	0,9829110	22,80	15,15

$$\delta = (K_c^*(T,1,111) - K_c^*(T,1,121))/(1 - K_c^*(T,1,121)),$$

$$\delta_1 = (K_c(T,1,111) - K_c(T,1,121))/(1 - K_c(T,1,121)).$$

Таблица П8.37. ПЭД2, L = 2. Стратегия 121

A	кр	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,1)		K <sub>z</sub> (T,1)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			121	111	121	111		
0,10	0,1	1	0,999998	0,999998	1,000000	1,000000	-24,2	100
0,20	0,1	2	0,999980	0,99998	0,999996	0,999996	1,66	9,19
0,30	0,1	3	0,999917	0,999918	0,999981	0,999982	0,97	2,92
0,40	0,1	4	0,999786	0,999791	0,999951	0,999951	2,21	0,66
0,50	0,1	5	0,999568	0,999581	0,999898	0,9999	2,94	2,37
0,60	0,1	6	0,999251	0,99928	0,999818	0,999823	3,86	2,91
0,80	0,1	8	0,998298	0,998402	0,999566	0,999585	6,12	4,42
1,00	0,1	10	0,996924	0,997188	0,999182	0,999232	8,57	6,16
1,25	0,1	12,5	0,994685	0,995311	0,998515	0,998641	11,8	8,48
1,50	0,1	15	0,991992	0,993199	0,997658	0,997912	15,1	10,9
1,75	0,1	17,5	0,988991	0,99102	0,996637	0,997083	18,4	13,3
2,00	0,1	20	0,985825	0,988911	0,995484	0,996192	21,8	15,7
3,00	0,1	30	0,973580	0,982656	0,990170	0,992609	34,4	24,8
0,10	0,1	1	0,999998	0,999998	1,000000	1,000000	-24,2	100

$$\delta = (K_z^*(T,2,111) - K_z^*(T,2,121)) / (1 - K_z^*(T,1,221)),$$

$$\delta_1 = (K_z(T,2,111) - K_z(T,2,121)) / (1 - K_z(T,2,121)).$$

Таблица П8.38. ПЭД2, L = 2. Стратегия 121

A	кр	D	K <sub>z</sub> <sup>*</sup> (T,1)		K <sub>z</sub> (T,1)		δ%	δ <sub>1</sub> %
			121	111	121	111		
0,10	0,01	10	0,99999942	0,99999942	0,99999986	0,99999986	0,79	0,83
0,20	0,02	10	0,99999131	0,99999145	0,99999793	0,99999796	1,61	1,21
0,30	0,03	10	0,99995907	0,99996007	0,99999012	0,99999030	2,43	1,80
0,40	0,04	10	0,99987963	0,99988357	0,99997054	0,99997125	3,27	2,41
0,50	0,05	10	0,99972645	0,99973773	0,99993210	0,99993416	4,12	3,03
0,60	0,06	10	0,99947180	0,99949815	0,99986706	0,99987191	4,99	3,65
0,80	0,08	10	0,99855089	0,99864881	0,99962499	0,99964337	6,76	4,90
1,00	0,1	10	0,99692445	0,99718811	0,99918163	0,99923214	8,57	6,17
1,25	0,125	10	0,99368378	0,99437221	0,99825996	0,99839527	10,90	7,78
1,50	0,15	10	0,98895603	0,99042240	0,99685049	0,99714629	13,28	9,39
1,75	0,175	10	0,98270450	0,98541864	0,99489513	0,99545724	15,69	11,01
2,00	0,2	10	0,97499491	0,97952807	0,99236330	0,99332763	18,13	12,63

$$\delta = (K_z^*(T,2,111) - K_z^*(T,2,121)) / (1 - K_z^*(T,1,221)),$$

$$\delta_1 = (K_z(T,2,111) - K_z(T,2,121)) / (1 - K_z(T,2,121)).$$

Таблица П8.39. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,0)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$Q(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,1	1	0,001764	56,67	0,002379	1,35	37,8
0,20	0,1	2	0,005287	37,75	0,009056	1,71	25,2
0,30	0,1	3	0,009356	31,94	0,019402	2,07	21,3
0,40	0,1	4	0,013587	29,27	0,032859	2,42	19,5
0,50	0,1	5	0,017856	27,79	0,048929	2,74	18,5
0,60	0,1	6	0,022125	26,85	0,067175	3,04	17,9
0,80	0,1	8	0,030620	25,76	0,108689	3,55	17,2
1,00	0,1	10	0,039044	25,15	0,154818	3,97	16,8
1,25	0,1	12,5	0,049472	24,68	0,215982	4,37	16,5
1,50	0,1	15	0,059787	24,37	0,278397	4,66	16,2
1,75	0,1	17,5	0,069990	24,16	0,340050	4,86	16,1
2,00	0,1	20	0,080082	24,00	0,399576	4,99	16,0

$$\delta = Q(T,0,\Pi_2)/Q(T,0), \delta_1 = T_{cp}(0)/T_{cp}(0,\Pi_2)$$

Таблица П8.40. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,0)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$Q(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,0004440	225,18	0,0023786	5,36	150,1
0,20	0,02	10	0,0017520	114,07	0,0090559	5,17	76,0
0,30	0,03	10	0,0038879	77,02	0,0194023	4,99	51,3
0,40	0,04	10	0,0068160	58,50	0,0328585	4,82	39,0
0,50	0,05	10	0,0105004	47,39	0,0489291	4,66	31,6
0,60	0,06	10	0,0149059	39,98	0,0671752	4,51	26,7
0,80	0,08	10	0,0257402	30,71	0,1086889	4,22	20,5
1,00	0,1	10	0,0390444	25,15	0,1548181	3,97	16,8
1,25	0,125	10	0,0587438	20,70	0,2159819	3,68	13,8
1,50	0,15	10	0,0813915	17,73	0,2783971	3,42	11,8
1,75	0,175	10	0,1065197	15,60	0,3400499	3,19	10,4
2,00	0,2	10	0,1336915	14,01	0,3995764	2,99	9,3

$$\delta = Q(T,0,\Pi_2)/Q(T,0), \delta_1 = T_{cp}(0)/T_{cp}(0,\Pi_2)$$

Таблица П8.41. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{cp,1}(1)$	$k\lambda T_{cp,2}(1)$	$\delta Q \%$	$\delta T$
0,10	0,1	1	6,20E-05	1,89E-04	5,66E-05	529,8	794,6	97,7	0,52
0,20	0,1	2	3,81E-04	7,14E-04	3,24E-04	280,2	420,3	36,2	1,03
0,30	0,1	3	0,001015	0,00152	0,000821	197,2	295,9	15,3	1,54
0,40	0,1	4	0,001940	0,00256	0,001512	155,9	233,9	5,0	2,03
0,50	0,1	5	0,003111	0,00380	0,002364	131,3	197,0	-1,0	2,52
0,60	0,1	6	0,004497	0,00521	0,003348	114,9	172,5	-4,9	2,99
0,80	0,1	8	0,007731	0,00841	0,005628	94,7	142,3	-9,2	3,91
1,00	0,1	10	0,011408	0,01200	0,008217	82,9	124,5	-11,4	4,77
1,25	0,1	12,5	0,016391	0,01685	0,011754	73,6	110,6	-12,7	5,77
1,50	0,1	15	0,021627	0,02196	0,015510	67,5	101,7	-13,4	6,70
1,75	0,1	17,5	0,027001	0,02723	0,019400	63,4	95,5	-13,6	7,54
2,00	0,1	20	0,032442	0,03260	0,023367	60,3	91,0	-13,7	8,31

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2).$$

Таблица П8.42. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{cp,1}(1)$	$k\lambda T_{cp,2}(1)$	$\delta Q \%$	$\delta T$
0,10	0,01	10	1,9E-05	2,286E-05	1,399E-05	4373,7	6560,5	-4,1	4,28
0,20	0,02	10	0,00014	0,0001680	0,0001047	1190,2	1785,4	-5,5	4,38
0,30	0,03	10	0,00046	0,0005230	0,0003312	573,5	860,3	-6,7	4,47
0,40	0,04	10	0,00102	0,0011476	0,0007376	348,4	522,7	-7,7	4,54
0,50	0,05	10	0,00188	0,0020818	0,0013562	239,9	360,0	-8,6	4,60
0,60	0,06	10	0,00307	0,0033516	0,0022101	178,7	268,3	-9,4	4,65
0,80	0,08	10	0,00650	0,0069532	0,0046817	114,7	172,2	-10,5	4,73
1,00	0,1	10	0,01141	0,0120008	0,0082175	82,9	124,5	-11,4	4,77
1,25	0,125	10	0,01961	0,0203129	0,0141374	60,9	91,7	-12,2	4,78
1,50	0,15	10	0,03002	0,0307464	0,0216552	48,1	72,4	-12,7	4,77
1,75	0,175	10	0,04247	0,0431526	0,0306485	39,7	60,0	-13,1	4,73
2,00	0,2	10	0,05680	0,0573658	0,0409681	33,9	51,3	-13,4	4,67

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2).$$

Таблица П8.43. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$k\lambda T_{cp,1}(2)$	$k\lambda T_{cp,2}(2)$	$\delta Q \%$	$\delta T$
0,10	0,1	1	0,000002	7,02E-05	1,40E-06	1424	2847	2125	0,04
0,20	0,1	2	0,000020	0,000272	1,59E-05	734	1468	609	0,16
0,30	0,1	3	0,000083	0,000595	5,97E-05	504	1009	295	0,35
0,40	0,1	4	0,000214	0,001026	1,45E-04	390	779	174	0,59
0,50	0,1	5	0,000432	0,001557	2,78E-04	321	642	113	0,89
0,60	0,1	6	0,000749	0,002179	4,65E-04	275	551	76,4	1,23
0,80	0,1	8	0,001705	0,003660	0,001002	218	437	36,7	2,02
1,00	0,1	10	0,003087	0,005414	0,001756	184	369	16,1	2,91
1,25	0,1	12,5	0,005356	0,007916	0,002976	157	315	1,7	4,12
1,50	0,1	15	0,008123	0,010694	0,004462	140	280	-6,7	5,38
1,75	0,1	17,5	0,011267	0,013688	0,006164	127	255	-11,9	6,64
2,00	0,1	20	0,014679	0,016849	0,008036	118	236	-15,2	7,88

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2).$$

Таблица П8.44. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$k\lambda T_{cp,1}(2)$	$k\lambda T_{cp,2}(2)$	$\delta Q \%$	$\delta T$
0,10	0,01	10	0,00000058	7,95E-06	3,46E-07	12587	25173	610	0,37
0,20	0,02	10	0,00000869	6,07E-05	5,12E-06	3297	6593	279	0,72
0,30	0,03	10	0,00004093	0,000196	2,40E-05	1533	3067	168	1,05
0,40	0,04	10	0,00012040	0,000444	7,02E-05	902	1803	113	1,37
0,50	0,05	10	0,00027368	0,000830	0,000159	603	1205	80,6	1,66
0,60	0,06	10	0,00052863	0,001374	0,000305	437	873	58,8	1,95
0,80	0,08	10	0,00145186	0,003000	0,000832	266	533	31,9	2,46
1,00	0,1	10	0,00308674	0,005414	0,001756	184	369	16,1	2,91
1,25	0,125	10	0,00635995	0,009620	0,003597	130	259	3,9	3,39
1,50	0,15	10	0,01117248	0,015186	0,006293	98,2	197	-3,9	3,78
1,75	0,175	10	0,01760597	0,022113	0,009889	78,4	158	-9,1	4,10
2,00	0,2	10	0,02565527	0,030369	0,014387	65,0	131	-12,8	4,35

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,2) + Q_{np2}(T,2)) - Q(T,2))/Q(T,2),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(2) + T_{cp,2}(2))/T_{cp}(2,П2).$$

Таблица П8.45. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\alpha}^*(T,0)$	$K_{\alpha}(T,0)$	$K_{\alpha}^*(T,0,\Pi_2)$	$K_{\alpha}(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,1	1	0,99873	0,99950	0,99762	0,99920	1,88	1,60
0,20	0,1	2	0,99723	0,99872	0,99094	0,99691	3,27	2,41
0,30	0,1	3	0,99632	0,99805	0,98060	0,99329	5,28	3,45
0,40	0,1	4	0,99586	0,99756	0,96714	0,98849	7,94	4,71
0,50	0,1	5	0,99565	0,99719	0,95107	0,98266	11,2	6,18
0,60	0,1	6	0,99555	0,99693	0,93282	0,97590	15,1	7,84
0,80	0,1	8	0,99549	0,99657	0,89131	0,96006	24,1	11,7
1,00	0,1	10	0,99548	0,99636	0,84518	0,94176	34,2	16,0
1,25	0,1	12,5	0,99548	0,99618	0,78402	0,91637	47,7	21,9
1,50	0,1	15	0,99548	0,99606	0,72160	0,88911	61,5	28,2
1,75	0,1	17,5	0,99548	0,99598	0,65995	0,86076	75,2	34,6
2,00	0,1	20	0,99548	0,99592	0,60042	0,83191	88,3	41,2

$$\delta = (1 - K_{\alpha}^*(T,0, \Pi_2)) / (1 - K_{\alpha}^*(T,0)), \quad \delta_1 = (1 - K_{\alpha}(T,0,\Pi_2)) / (1 - K_{\alpha}(T,0))$$

Таблица П8.46. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\alpha}^*(T,0)$	$K_{\alpha}(T,0)$	$K_{\alpha}^*(T,0,\Pi_2)$	$K_{\alpha}(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,99995	0,99996	0,99762	0,99920	48,07	20,26
0,20	0,02	10	0,99980	0,99984	0,99094	0,99691	46,22	19,71
0,30	0,03	10	0,99956	0,99965	0,98060	0,99329	44,45	19,17
0,40	0,04	10	0,99923	0,99938	0,96714	0,98849	42,77	18,66
0,50	0,05	10	0,99881	0,99905	0,95107	0,98266	41,17	18,17
0,60	0,06	10	0,99831	0,99864	0,93282	0,97590	39,65	17,70
0,80	0,08	10	0,99705	0,99762	0,89131	0,96006	36,81	16,81
1,00	0,1	10	0,99548	0,99636	0,84518	0,94176	34,23	15,98
1,25	0,125	10	0,99311	0,99443	0,78402	0,91637	31,34	15,03
1,50	0,15	10	0,99032	0,99217	0,72160	0,88911	28,75	14,16
1,75	0,175	10	0,98714	0,98958	0,65995	0,86076	26,45	13,36
2,00	0,2	10	0,98362	0,98670	0,60042	0,83191	24,39	12,63

$$\delta = (1 - K_{\alpha}^*(T,0, \Pi_2)) / (1 - K_{\alpha}^*(T,0)), \quad \delta_1 = (1 - K_{\alpha}(T,0,\Pi_2)) / (1 - K_{\alpha}(T,0))$$

Таблица П8.47. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,1)$	$K_{\lambda}(T,1)$	$K_{\text{emp2}}^*(T,1)$	$K_{\text{emp2}}(T,1)$	$K_{\lambda}(T,1,\Pi_2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,1	1	0,999955	0,999956	0,999910	0,999968	0,999980	-97,8	28,1
0,2	0,1	2	0,999780	0,999916	0,999708	0,999892	0,999849	-32,5	-29,3
0,3	0,1	3	0,999529	0,999825	0,999461	0,999790	0,999515	-14,4	-20,3
0,4	0,1	4	0,999265	0,999709	0,999209	0,999676	0,998905	-7,71	-11,4
0,5	0,1	5	0,999022	0,999584	0,998970	0,999558	0,997963	-5,23	-6,21
0,6	0,1	6	0,998810	0,999460	0,998757	0,999442	0,996646	-4,51	-3,29
0,8	0,1	8	0,998485	0,999231	0,998411	0,999225	0,992773	-4,91	-0,71
1,0	0,1	10	0,998266	0,999036	0,998166	0,999036	0,987152	-5,76	0,09
1,25	0,1	12,5	0,998091	0,998837	0,997966	0,998841	0,977647	-6,54	0,30
1,50	0,1	15	0,997987	0,998681	0,997847	0,998684	0,965522	-6,95	0,27
1,75	0,1	17,5	0,997924	0,998556	0,997777	0,998559	0,951031	-7,11	0,19
2,00	0,1	20	0,997887	0,998457	0,997736	0,998459	0,934488	-7,15	0,13

$$\delta = (K_{\text{emp2}}^*(T,1) - K_{\lambda}^*(T,1))/(1 - K_{\lambda}^*(T,1)), \delta_1 = (K_{\text{emp2}}(T,1) - K_{\lambda}(T,1))/(1 - K_{\lambda}(T,1))$$

Таблица П8.48. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,1)$	$K_{\lambda}(T,1)$	$K_{\text{emp2}}^*(T,1)$	$K_{\text{emp2}}(T,1)$	$K_{\lambda}(T,1,\Pi_2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99998	-0,48	-2,40
0,2	0,02	10	0,99999	1,00000	0,99999	1,00000	0,99985	-0,58	-0,34
0,3	0,03	10	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99952	-0,66	-0,09
0,4	0,04	10	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99891	-0,70	-0,024
0,5	0,05	10	0,99998	0,99999	0,99998	0,99999	0,99796	-0,72	-0,004
0,6	0,06	10	0,99998	0,99999	0,9999829	0,99999	0,99665	-0,73	0,003
0,8	0,08	10	0,99998	0,99999	0,9999804	0,99999	0,99277	-0,74	0,006
1,0	0,1	10	0,99998	0,99999	0,9999787	0,99999	0,98715	-0,74	0,005
1,25	0,125	10	0,99998	0,99999	0,9999773	0,99998	0,97765	-0,75	0,003
1,50	0,15	10	0,99998	0,99998	0,9999765	0,99998	0,96552	-0,75	0,002
1,75	0,175	10	0,99998	0,99998	0,9999760	0,99998	0,95103	-0,75	0,001
2,00	0,2	10	0,99998	0,99998	0,9999757	0,99998	0,93449	-0,75	0,001

$$\delta = (K_{\text{emp2}}^*(T,1) - K_{\lambda}^*(T,1))/(1 - K_{\lambda}^*(T,1)), \delta_1 = (K_{\text{emp2}}(T,1) - K_{\lambda}(T,1))/(1 - K_{\lambda}(T,1))$$

Таблица П8.49. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\zeta}^*(T,1)$	$K_{\zeta}(T,1)$	$K_{\text{emp2}}^*(T,1)$	$K_{\text{emp2}}(T,1)$	$K_{\zeta}(T,1,\Pi_2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,1	1	0,999999	1,000000	0,999968	0,999940	1,000000	1,5	1,38
0,2	0,1	2	0,999986	0,999997	0,999883	0,999911	0,999994	2,1	1,85
0,3	0,1	3	0,999952	0,999988	0,999759	0,999868	0,999972	2,9	2,42
0,4	0,1	4	0,999896	0,999973	0,999608	0,999812	0,999915	3,9	3,10
0,5	0,1	5	0,999819	0,999950	0,999442	0,999748	0,999805	5,1	3,89
0,6	0,1	6	0,999727	0,999921	0,999269	0,999678	0,999617	6,5	4,81
0,8	0,1	8	0,999520	0,999847	0,998937	0,999528	0,998920	10,3	7,05
1,0	0,1	10	0,999309	0,999760	0,998655	0,999378	0,997641	15,2	9,84
1,25	0,1	12,5	0,999069	0,999645	0,998404	0,999206	0,994981	23,3	14,2
1,50	0,1	15	0,998873	0,999532	0,998267	0,999060	0,990913	33,8	19,4
1,75	0,1	17,5	0,998723	0,999427	0,998224	0,998944	0,985274	46,9	25,7
2,00	0,1	20	0,998615	0,999332	0,998244	0,998855	0,977985	62,8	32,9

$$\delta = (K_{\text{emp2}}^*(T,2) - K_{\zeta}^*(T,2))/(1 - K_{\zeta}^*(T,2)), \delta_1 = (K_{\text{emp2}}(T,2) - K_{\zeta}(T,2))/(1 - K_{\zeta}(T,2))$$

Таблица П8.50. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\zeta}^*(T,2)$	$K_{\zeta}(T,2)$	$K_{\text{emp2}}^*(T,2)$	$K_{\text{emp2}}(T,2)$	$K_{\zeta}(T,2,\Pi_2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	0,9 <sup>6</sup> 85	0,9 <sup>7</sup> 57	0,9 <sup>6</sup> 48	0,9 <sup>6</sup> 76	0,9 <sup>6</sup> 61	-247	-451
0,2	0,02	10	0,9 <sup>5</sup> 779	0,9 <sup>6</sup> 352	0,9 <sup>5</sup> 292	0,9 <sup>5</sup> 708	0,9 <sup>5</sup> 406	-220	-350
0,3	0,03	10	0,9 <sup>4</sup> 8974	0,9 <sup>5</sup> 6933	0,9 <sup>4</sup> 6960	0,9 <sup>4</sup> 8768	0,9 <sup>4</sup> 7163	-196	-302
0,4	0,04	10	0,9 <sup>4</sup> 7028	0,9 <sup>5</sup> 0931	0,9 <sup>4</sup> 1810	0,9 <sup>4</sup> 6666	0,9 <sup>4</sup> 1534	-176	-268
0,5	0,05	10	0,9 <sup>4</sup> 3352	0,9 <sup>4</sup> 7928	0,9 <sup>3</sup> 8288	0,9 <sup>4</sup> 2933	0,9 <sup>3</sup> 80476	-158	-241
0,6	0,06	10	0,9 <sup>3</sup> 8736	0,9 <sup>4</sup> 5976	0,9 <sup>3</sup> 6945	0,9 <sup>3</sup> 87161	0,9996175	-128	-219
0,8	0,08	10	0,9 <sup>3</sup> 66409	0,9 <sup>3</sup> 8883	0,9 <sup>3</sup> 2763	0,9 <sup>3</sup> 68240	0,9989198	-115	-184
1,0	0,1	10	0,9 <sup>3</sup> 30893	0,9 <sup>3</sup> 7602	0,998655	0,9 <sup>3</sup> 37840	0,9976408	-94,6	-159
1,25	0,125	10	0,998633	0,9 <sup>3</sup> 4996	0,997618	0,998835	0,9949806	-74,3	-133
1,50	0,15	10	0,997696	0,9 <sup>3</sup> 1101	0,996346	0,998098	0,9909129	-58,6	-114
1,75	0,175	10	0,996511	0,998581	0,994899	0,997179	0,9852743	-46,2	-99
2,00	0,2	10	0,995110	0,997907	0,993331	0,996086	0,9779849	-36,4	-87

$$\delta = (K_{\text{emp2}}^*(T,2) - K_{\zeta}^*(T,2))/(1 - K_{\zeta}^*(T,2)), \delta_1 = (K_{\text{emp2}}(T,2) - K_{\zeta}(T,2))/(1 - K_{\zeta}(T,2))$$

Здесь степень в выражении  $0,9^n$  указывает на количество девяток, например:  $0,9^45 = 0,99995$ .



Таблица П8.51. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q(T,1,П2)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(1)$	$k\lambda T_{cp}(1,П2)$	$\delta T$
0,10	0,1	1	0,000062	7,830E-05	1,26	1605	1277	1,26
0,20	0,1	2	0,000387	0,000589	1,52	516	339,7	1,52
0,30	0,1	3	0,001048	0,001868	1,78	286	160,5	1,78
0,40	0,1	4	0,002043	0,004165	2,0	195	95,9	2,0
0,50	0,1	5	0,003348	0,007654	2,3	148,2	65,2	2,3
0,60	0,1	6	0,004935	0,012449	2,5	120,4	48,0	2,5
0,80	0,1	8	0,008848	0,026170	3,0	89,2	30,3	2,9
1,00	0,1	10	0,013585	0,045395	3,3	72,3	21,7	3,3
1,25	0,1	12,5	0,020420	0,076600	3,8	59,8	16,0	3,7
1,50	0,1	15	0,028036	0,114620	4,1	52,0	12,6	4,1
1,75	0,1	17,5	0,036237	0,157978	4,4	46,7	10,5	4,4
2,00	0,1	20	0,044868	0,205159	4,6	42,8	9,1	4,7

$$\delta Q = Q(T,1,П2)/Q(T,1), \quad \delta T = T_{cp}(1)/T_{cp}(1,П2)$$

Таблица П8.52. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q(T,1,П2)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(1)$	$k\lambda T_{cp}(1,П2)$	$\delta T$
0,10	0,01	10	0,000020	7,830E-05	3,99	5090	1277	3,99
0,20	0,02	10	0,000151	0,000589	3,91	1327	339,7	3,91
0,30	0,03	10	0,000488	0,001868	3,83	615,1	160,5	3,83
0,40	0,04	10	0,001109	0,004165	3,76	360,6	95,93	3,76
0,50	0,05	10	0,002078	0,007654	3,68	240,5	65,19	3,69
0,60	0,06	10	0,003447	0,012449	3,61	173,9	48,03	3,62
0,80	0,08	10	0,007534	0,026170	3,47	105,9	30,35	3,49
1,00	0,1	10	0,013585	0,045395	3,34	73,28	21,75	3,37
1,25	0,125	10	0,024049	0,076600	3,19	51,55	15,95	3,23
1,50	0,15	10	0,037731	0,114620	3,04	39,24	12,64	3,11
1,75	0,175	10	0,054488	0,157978	2,90	31,50	10,54	2,99
2,00	0,2	10	0,074084	0,205159	2,77	26,28	9,11	2,88

$$\delta Q = Q(T,1,П2)/Q(T,1), \quad \delta T = T_{cp}(1)/T_{cp}(1,П2)$$

Таблица П8.53. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q(T,2,П2)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(2)$	$k\lambda T_{cp}(2,П2)$	$\delta T$
0,10	0,1	1	0,0000016	0,0000019	1,20	61931	51473	1,20
0,20	0,1	2	0,0000206	0,0000290	1,41	9724	6898	1,41
0,30	0,1	3	0,0000847	0,0001370	1,62	3540	2190	1,62
0,40	0,1	4	0,0002220	0,0004040	1,82	1802	990,1	1,82
0,50	0,1	5	0,0004561	0,0009207	2,02	1096	543,0	2,02
0,60	0,1	6	0,0008059	0,0017827	2,21	744	336,4	2,21
0,80	0,1	8	0,0019071	0,0049172	2,58	419	162,5	2,58
1,00	0,1	10	0,0035977	0,0104889	2,92	278	95,11	2,92
1,25	0,1	12,5	0,0065777	0,0216670	3,29	190	57,40	3,30
1,50	0,1	15	0,0105046	0,0380858	3,63	142	39,03	3,65
1,75	0,1	17,5	0,0153182	0,0599260	3,91	114	28,77	3,95
2,00	0,1	20	0,0209330	0,0869937	4,16	95	22,48	4,22

$$\delta Q = Q(T,2,П2)/Q(T,2), \quad \delta T = T_{cp}(2)/T_{cp}(2,П2)$$

Таблица П8.54. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q(T,2,П2)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(2)$	$k\lambda T_{cp}(2,П2)$	$\delta T$
0,10	0,01	10	0,00000059	0,0000019	3,27	168522	51473	3,27
0,20	0,02	10	0,00000897	0,0000290	3,23	22298	6898	3,23
0,30	0,03	10	0,00004291	0,0001370	3,19	6991	2190	3,19
0,40	0,04	10	0,00012820	0,0004040	3,15	3120	990,1	3,15
0,50	0,05	10	0,00029597	0,0009207	3,11	1689	543,0	3,11
0,60	0,06	10	0,00058053	0,0017827	3,07	1033	336,4	3,07
0,80	0,08	10	0,00164326	0,0049172	2,99	487	162,5	2,99
1,00	0,1	10	0,00359770	0,0104889	2,92	278	95,1	2,92
1,25	0,125	10	0,00767863	0,0216670	2,82	162	57,4	2,83
1,50	0,15	10	0,01394678	0,0380858	2,73	107	39,0	2,75
1,75	0,175	10	0,02267582	0,0599260	2,64	76,7	28,8	2,67
2,00	0,2	10	0,03401406	0,2051587	6,03	57,2	9,11	6,28

$$\delta Q = Q(T,2,П2)/Q(T,2), \quad \delta T = T_{cp}(2)/T_{cp}(2,П2)$$

Таблица П8.55. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_\lambda^*(T,1)$	$K_\lambda(T,1)$	$K_\lambda^*(T,1,П2)$	$K_\lambda(T,1,П2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,1	1	0,999932	0,999980	0,999922	0,9999802	1,14	1,01
0,20	0,1	2	0,999697	0,999903	0,999411	0,9998491	1,94	1,55
0,30	0,1	3	0,999380	0,999783	0,998132	0,9995151	3,01	2,23
0,40	0,1	4	0,999045	0,9	0,995835	0,9989054	4,36	3,04
0,50	0,1	5	0,998721	0,999488	0,992346	0,9979634	5,99	3,98
0,60	0,1	6	0,998419	0,999335	0,987551	0,9966463	7,88	5,04
0,80	0,1	8	0,997889	0,999038	0,973830	0,9927733	12,4	7,51
1,00	0,1	10	0,997452	0,998763	0,954605	0,9871519	17,8	10,4
1,25	0,1	12,5	0,997015	0,998455	0,923400	0,9776470	25,7	14,5
1,50	0,1	15	0,996675	0,998186	0,885380	0,9655223	34,5	19,0
1,75	0,1	17,5	0,996409	0,997950	0,842022	0,9510309	44,0	23,9
2,00	0,1	20	0,996203	0,997744	0,794841	0,9344881	54,0	29,0

$$\delta = (1 - K_\lambda^*(T,1, П2))/(1 - K_\lambda^*(T,1)), \delta_1 = (1 - K_\lambda(T,1,П2))/(1 - K_\lambda(T,1))$$

Таблица П8.56. ПЭД2,  $L = 1$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_\lambda^*(T,1)$	$K_\lambda(T,1)$	$K_\lambda^*(T,1,П2)$	$K_\lambda(T,1,П2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,999996	0,999998	0,999922	0,999980	19,6	11,4
0,20	0,02	10	0,999970	0,999987	0,999411	0,999849	19,4	11,3
0,30	0,03	10	0,999903	0,999957	0,998132	0,999515	19,2	11,2
0,40	0,04	10	0,999782	0,999901	0,995835	0,998905	19,1	11,1
0,50	0,05	10	0,999594	0,999814	0,992346	0,997963	18,9	11,0
0,60	0,06	10	0,999333	0,999691	0,987551	0,996646	18,7	10,9
0,80	0,08	10	0,998566	0,999320	0,973830	0,992773	18,3	10,6
1,00	0,1	10	0,997452	0,998763	0,954605	0,987152	17,8	10,4
1,25	0,125	10	0,995562	0,997784	0,923400	0,977647	17,3	10,1
1,50	0,15	10	0,993133	0,996477	0,885380	0,965522	16,7	9,79
1,75	0,175	10	0,990198	0,994841	0,842022	0,951031	16,1	9,49
2,00	0,2	10	0,986800	0,992881	0,794841	0,934488	15,5	9,20

$$\delta = (1 - K_\lambda^*(T,1,П2))/(1 - K_\lambda^*(T,1)), \delta_1 = (1 - K_\lambda(T,1,П2))/(1 - K_\lambda(T,1))$$

Таблица П8.57. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 221. Показатели готовности

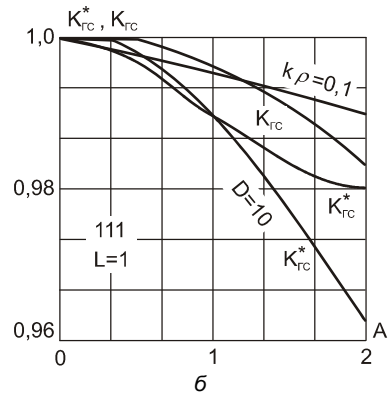
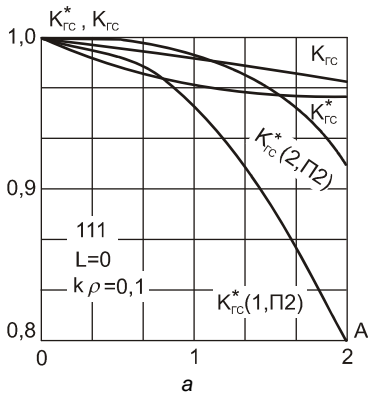
$A$	$k\rho$	$D$	$K_{\Sigma}^*(T,2)$	$K_{\Sigma}(T,2)$	$K_{\Sigma}^*(T,2,\Pi 2)$	$K_{\Sigma}(T,2,\Pi 2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,1	1	0,999998	0,9999996	0,999998	1,000000	1,01	0,93
0,20	0,1	2	0,999981	0,9999956	0,999971	0,999994	1,56	1,34
0,30	0,1	3	0,999939	0,9999846	0,999863	0,999972	2,26	1,84
0,40	0,1	4	0,999870	0,9999652	0,999596	0,999915	3,11	2,43
0,50	0,1	5	0,999776	0,9999371	0,999079	0,999805	4,10	3,10
0,60	0,1	6	0,999661	0,9999009	0,998217	0,999617	5,25	3,86
0,80	0,1	8	0,999384	0,9998073	0,995083	0,998920	7,99	5,61
1,00	0,1	10	0,999071	0,9996918	0,989511	0,997641	11,3	7,66
1,25	0,1	12,5	0,998661	0,9995268	0,978333	0,994981	16,2	10,6
1,50	0,1	15	0,998256	0,9993485	0,961914	0,990913	21,8	13,9
1,75	0,1	17,5	0,997874	0,9991648	0,940074	0,985274	28,2	17,6
2,00	0,1	20	0,997526	0,9989813	0,913006	0,977985	35,2	21,6

$$\delta = (1 - K_{\Sigma}^*(T, 2, \Pi 2)) / (1 - K_{\Sigma}^*(T, 2)), \quad \delta_1 = (1 - K_{\Sigma}(T, 2, \Pi 2)) / (1 - K_{\Sigma}(T, 2))$$

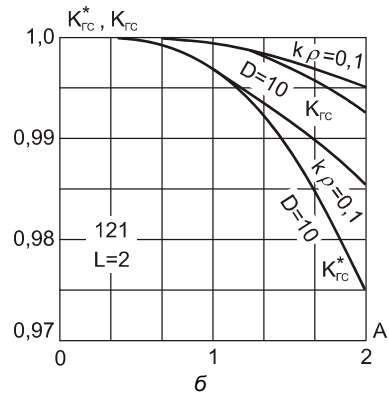
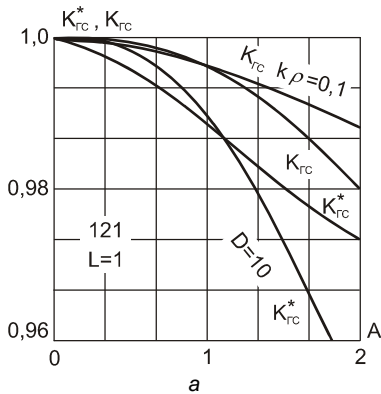
Таблица П8.58. ПЭД2,  $L = 2$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k\rho$	$D$	$K_{\Sigma}^*(T,2)$	$K_{\Sigma}(T,2)$	$K_{\Sigma}^*(T,2,\Pi 2)$	$K_{\Sigma}(T,2,\Pi 2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,9999998	1,0000000	0,999998	1,000000	11,5	7,87
0,20	0,02	10	0,9999975	0,9999992	0,999971	0,999994	11,5	7,87
0,30	0,03	10	0,9999881	0,9999964	0,999863	0,999972	11,5	7,87
0,40	0,04	10	0,9999648	0,9999892	0,999596	0,999915	11,5	7,85
0,50	0,05	10	0,9999197	0,9999750	0,999079	0,999805	11,5	7,83
0,60	0,06	10	0,9998441	0,9999509	0,998217	0,999617	11,4	7,80
0,80	0,08	10	0,9995676	0,9998603	0,995083	0,998920	11,4	7,73
1,00	0,1	10	0,9990712	0,9996918	0,989511	0,997641	11,3	7,66
1,25	0,125	10	0,9980608	0,9993352	0,978333	0,994981	11,2	7,55
1,50	0,15	10	0,9965488	0,9987781	0,961914	0,990913	11,0	7,44
1,75	0,175	10	0,9944933	0,9979877	0,940074	0,985274	10,9	7,32
2,00	0,2	10	0,9918817	0,9969397	0,913006	0,977985	10,7	7,19

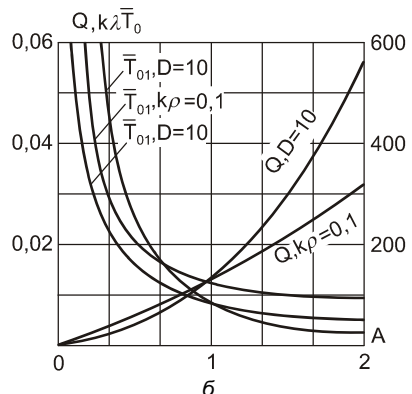
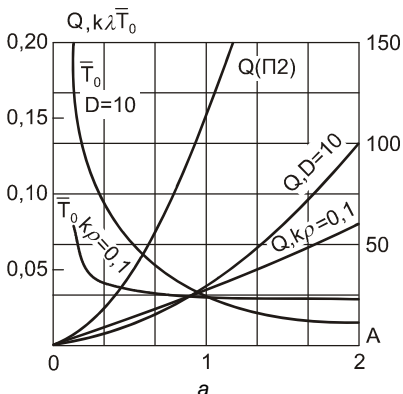
$$\delta = (1 - K_{\Sigma}^*(T, 2, \Pi 2)) / (1 - K_{\Sigma}^*(T, 2)), \quad \delta_1 = (1 - K_{\Sigma}(T, 2, \Pi 2)) / (1 - K_{\Sigma}(T, 2))$$



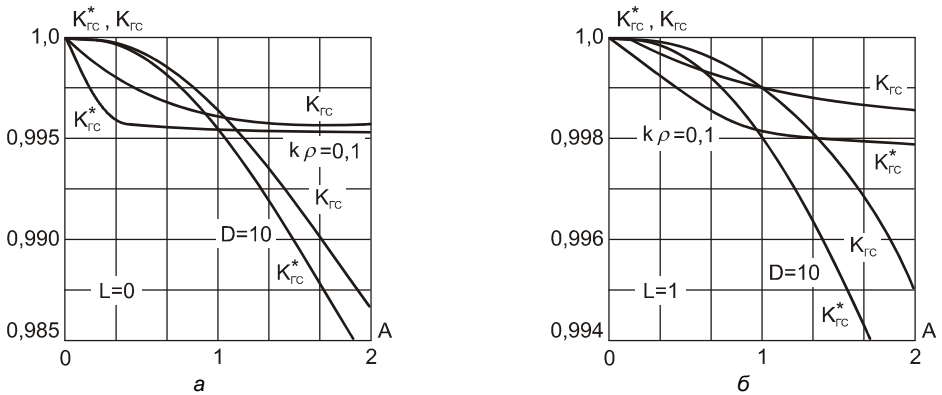
**Рис. П8.3.** Зависимость показателей готовности дублированной системы при стратегии пополнения 111 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭД2)



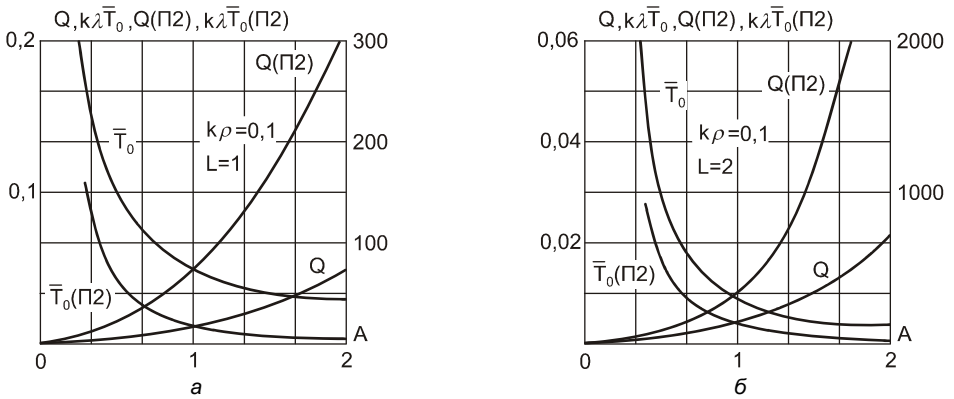
**Рис. П8.4.** Зависимость показателей готовности дублированной системы при стратегии пополнения 121 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 1$ ; б —  $L = 2$  (модель ПЭД2)



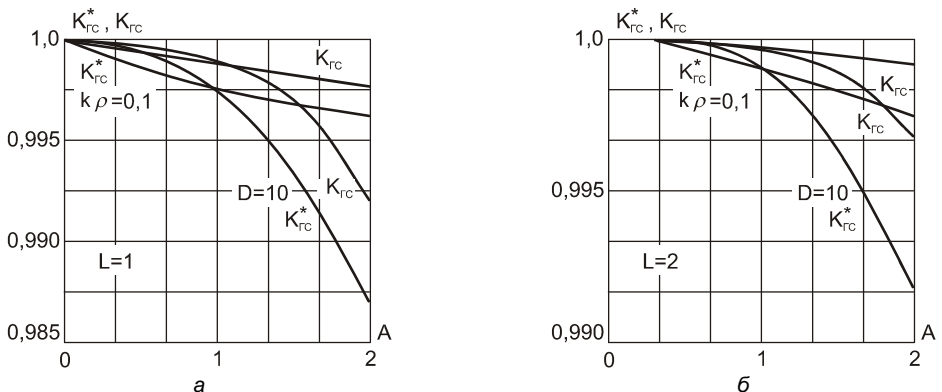
**Рис. П8.5.** Зависимость показателей безотказности дублированной системы при стратегии пополнения 211 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭД2)



**Рис. П8.6.** Зависимость показателей готовности дублированной системы при стратегии пополнения 211 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L=0$ ; б —  $L=1$  (модель ПЭД2)



**Рис. П8.7.** Зависимость показателей безотказности дублированной системы при стратегии пополнения 221 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L=1$ ; б —  $L=2$  (модель ПЭД2)



**Рис. П8.8.** Зависимость показателей готовности дублированной системы при стратегии пополнения 221 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД и при постоянном соотношении  $D$  между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L=1$ ; б —  $L=2$  (модель ПЭД2)

Из данных табл. П8.29–П8.58 и рис. П8.3–П8.8 следует:

- применение экстренных доставок в дублированной системе даже при отсутствии запасных частей в комплекте ЗИП существенно увеличивает показатели готовности системы. Так при стратегии пополнения 111,  $A = 1$  и  $k_p = 0,1$  коэффициент готовности по наихудшему циклу увеличивается от 0,8452 до 0,9717, а средний коэффициент готовности от 0,9418 до 0,9852. При  $A = 2$  и  $k_p = 0,1$  эти же показатели изменяются от 0,6004 до 0,9595 и от 0,8319 до 0,9749. Здесь рост  $A$  достигается за счет увеличения периода пополнения при неизменном значении среднего времени экстренной доставки;
- если при увеличении  $A$  пропорции между периодом пополнения и средним временем ЭД сохраняются (значение  $D$  постоянно), то различия между показателями готовности не столь заметны. Так при  $A = 1$ ,  $k_p = 0,1$  и  $D = 10$  коэффициент готовности по наихудшему циклу увеличивается от 0,8452 до 0,9717, а средний коэффициент готовности от 0,9418 до 0,9852. При  $A = 2$ ,  $k_p = 0,2$  и  $D = 10$  эти же показатели изменяются от 0,6004 до 0,9241 и от 0,8319 до 0,9553;
- при наличии одной запасной части и стратегии 111 введение ЭД также дает существенный прирост коэффициента готовности. Так при  $A = 1$  и  $k_p = 0,1$  коэффициент готовности по наихудшему циклу увеличивается от 0,9546 до 0,9904, а при  $A = 2$  и  $k_p = 0,1$  от 0,7948 до 0,9801;
- при использовании стратегии 111 расчет по формулам экспоненциальной модели дает всегда оценку сверху для точного значения коэффициента готовности, а по формулам модели медленного движения — оценку снизу. Причем относительная погрешность по коэффициенту неготовности в первом случае достигает 40–50 %, а во втором случае не более 10 % (при  $A = 1$  и  $k_p = 0,1$ : 52,6 % и –9,38 %, а при  $A = 2$  и  $k_p = 0,1$ : 43,4 % и –1,63 %);
- при стратегии 211 введение экстренных доставок улучшает не только показатели готовности, но и показатели безотказности. При отсутствии запасных частей в комплекте ЗИП вероятность отказа уменьшается в несколько раз: при  $A = 1$  и  $k_p = 0,1$  в 3,97 раза, а при  $A = 2$  и  $k_p = 0,1$  в 4,99 раза. Средняя наработка до отказа увеличивается еще существенно: при  $A = 1$  и  $k_p = 0,1$  в 16,8 раза, при  $A = 0,1$  и  $k_p = 0,1$  в 37,8 раза, а при  $A = 0,1$  и  $k_p = 0,01$  в 150,1 раза;
- при стратегии 211 введение экстренных доставок улучшает показатели готовности, уменьшая коэффициент неготовности в несколько раз, и даже в десятки раз. Так при  $A = 1$ ,  $D = 10$  и  $k_p = 0,1$  коэффициент неготовности по наихудшему циклу уменьшается в 34,2 раза, а средний коэффициент неготовности — в 16 раз. При  $A = 2$ ,  $D = 20$  и  $k_p = 0,1$  — в 88,3 и 41,2 раза соответственно, а при  $A = 2$ ,  $D = 10$  и  $k_p = 0,2$  — в 24,4 и 12,6 раза;
- при стратегии 211 и одной запасной части расчет вероятности отказа по приближенной формуле (8.83) дает оценку сверху, причем с небольшой погрешностью. Среднее арифметическое оценок является оценкой снизу, и для нее погрешность больше, чем для верхней оценки первого типа. Поэтому следует отдавать предпочтение оценке (8.83) и рассчитанной на ее основе нижней оценке для средней наработки до отказа  $k\lambda T_{cp,2}(1)$ ;
- при стратегии 211 и одной запасной части приближенная оценка первого типа совпадает с точным значением коэффициента готовности. Оценка второго типа по формуле модели медленного движения (8.107) является оценкой снизу для коэффициента готовности и при больших  $A$  дает небольшую погрешность: для коэффициента неготовности по наихудшему циклу до 10 %. Погрешность по среднему коэффициенту неготовности знакопеременная, но небольшая: от нескольких процентов до долей процента;

- переход от полной ЭД (стратегия 211) к одиночной ЭД (стратегия 221) ухудшает показатели безотказности. Но при небольшом количестве запасных частей это ухудшение не велико. Так при  $L = 1, A = 1$  и  $k_p = 0,1$  вероятность отказа увеличивается от 0,01141 до 0,013585, а при  $L = 1, A = 2$  и  $k_p = 0,1$  — от 0,03244 до 0,04487. При  $L = 2, A = 2$  и  $k_p = 0,1$  вероятность отказа увеличивается от 0,014679 до 0,0209330, а при  $L = 2, A = 2$  и  $k_p = 0,2$  — от 0,02566 до 0,03401. Ухудшаются и значения коэффициента готовности. Так при  $L = 1, A = 2$  и  $k_p = 0,1$  коэффициент готовности по наихудшему циклу уменьшается от 0,99789 до 0,99620, а средний коэффициент готовности — от 0,998457 до 0,997744, при  $L = 1, A = 2$  и  $k_p = 0,2$ : от 0,99173 до 0,98680 и от 0,99497 до 0,99288 соответственно.

## Пример П8.14

В системе, рассмотренной в примере П8.5, вместо группового дублирования использовано мажорирование по схеме «два из трех». При этом количество модулей увеличилось:  $k_1 = 3, k_2 = 6, k_3 = 9$ . В состав комплекта ЗИП может быть включено до двух запасных частей каждого типа. Найти коэффициент готовности системы и сравнить со случаем дублирования.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1,5, D = \mu T = 8400/840 = 10, k_{ip_i} = A_i/D = 0,15, L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или 2. Расчет проводим по формулам (8.12), (8.128)–(8.149) модели ПЭДЗ. Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.59.

**Таблица П8.59.** ПЭДЗ. Стратегия 111.  $L = 0$ . Показатели готовности

$A$	$D$	$k_p$	$L$	$K_s^*(L)$	$K_s(L)$	$K_{зип1}^*(L)$	$K_{зип1}(L)$	$K_{зип2}^*(L)$	$K_{зип2}(L)$
1,5	10	0,15	0	0,94862	0,96816	0,94862	0,96816	0,94862	0,96816
3,0	10	0,3	0	0,89339	0,92148	0,89339	0,92148	0,89339	0,92148
4,5	10	0,45	0	0,85365	0,90750	0,85365	0,90750	0,85365	0,90750
9,0	10	0,9	0	0,71305	0,78244	0,71305	0,78244	0,71305	0,78244
1,5	10	0,15	1	0,97406	0,98952	0,98521	0,98667	0,97441	0,98910
3,0	10	0,3	1	0,92135	0,93728	0,94501	0,95021	0,92181	0,95967
4,5	10	0,45	1	0,92418	0,96889	0,95629	0,96054	0,92518	0,96765
9,0	10	0,9	1	0,78212	0,82341	0,84394	0,85794	0,78331	0,88383
1,5	10	0,15	2	0,99000	0,99715	0,99514	0,99563	0,98664	0,99470
3,0	10	0,3	2	0,94171	0,97991	0,97004	0,97295	0,94876	0,97592
4,5	10	0,45	2	0,97029	0,99147	0,98550	0,98694	0,96044	0,98420
9,0	10	0,9	2	0,83512	0,94092	0,91280	0,92102	0,85401	0,92949



Отсюда следует, что оценка 2 является обычно оценкой снизу и имеет меньшую погрешность, чем оценка 1. Сравнивая со схемой дублирования, видим, что здесь коэффициент готовности существенно меньше. Так при дублировании  $A = 1$ :  $K_2(0) = 0,95618$ ,  $K_2(1) = 0,98928$ ,  $K_2(2) = 0,99770$ , а при мажорировании соответственно  $0,90750$ ,  $0,96889$  и  $0,99147$ .

## Пример П8.15

В системе, рассмотренной в примере П8.8, вместо группового дублирования использовано мажорирование по схеме «два из трех». При этом количество модулей увеличилось:  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 6$ ,  $k_3 = 9$ . В состав комплекта ЗИП может быть включено до двух запасных частей каждого типа. Найти коэффициент готовности системы и сравнить со случаем дублирования.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1,5$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,15$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0$ , 1 или 2. При  $L = 0$  изменение стратегии не меняет показатели надежности. Поэтому для этого случая результаты следует брать из примера П8.7. При  $L = 1$  и 2 расчет проводим по формулам (8.12), (8.128)–(8.149) модели ПЭДЗ. Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.60.

**Таблица П8.60.** ПЭДЗ. Стратегии 111 и 121.  $L = 1$  и 2. Показатели готовности

A	D	k <sub>p</sub>	L	K <sub>2</sub> <sup>*</sup> (L)		K <sub>2</sub> (L)		δ <sub>1</sub> %	δ <sub>2</sub> %
				121	111	121	111		
1,5	10	0,15	1	0,96410	0,974061	0,98624	0,98952	27,74	23,86
3,0	10	0,3	1	0,87390	0,91983	0,94112	0,96217	36,42	35,75
4,5	10	0,45	1	0,89612	0,92418	0,95927	0,96889	27,01	23,61
9,0	10	0,9	1	0,66740	0,77827	0,83356	0,89076	33,33	34,36
1,5	10	0,15	2	0,98555	0,99000	0,99587	0,99715	30,8	30,9
3,0	10	0,3	2	0,91385	0,94171	0,96984	0,97991	32,3	33,4
4,5	10	0,45	2	0,95726	0,97029	0,98767	0,99147	30,5	30,8
9,0	10	0,9	1	0,76318	0,83511	0,91222	0,94092	30,4	32,7

Изменение стратегии увеличивает коэффициент простоя системы на 20–40 %.

## Пример П8.16

В системе, рассмотренной в примере П8.9, вместо группового дублирования использовано мажорирование по схеме «два из трех». При этом количество модулей увеличилось:  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 6$ ,  $k_3 = 9$ . В состав комплекта ЗИП может быть включено до двух запасных частей каждого типа. Найти вероятность безотказной работы и среднюю наработку до отказа системы при  $L_i = 0$ , 1 и 2, сравнить со стратегиями 111 и 121.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1,5$  или  $3$ ,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i \rho_i = A_i/D = 0,15$  или  $0,3$ ,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или  $2$ . При  $L = 0$  расчет проводим по формулам (8.156) модели ПЭДЗ(211). Сначала значения корней полинома:  $s_0$  и  $s_1$ , затем  $Q(t,0)$ . Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.61.

**Таблица П8.61.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 0$ . Показатели безотказности

$A$	$D$	$k\rho$	$L$	$s_0$	$s_1$	$P(T,0)$	$P(T,0,ПЗ)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$\delta$
1,5	10	0,15	0	0,01212	1,23788	0,89464	0,65738	13,53	3,25
3,0	10	0,3	0	0,04113	1,45887	0,68203	0,30643	7,94	2,18
4,5	10	0,45	0	0,01212	1,23788	0,71604	0,28408	4,51	2,52
9,0	10	0,90	0	0,04113	1,45887	0,31726	0,02877	2,65	1,42

Экстренные доставки позволяют уменьшить вероятность отказа в  $\delta$  раз.

При  $L = 1$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам

$$a_0 = 2r\rho(k\rho)^2, A_1 = 1 + 8k\rho/3, A_2 = (2 + 7r\rho)k\rho$$

вычисляем коэффициенты полинома третьей степени. При  $k\rho = 0,15$  расчеты дают:  $a_0 = 0,00225$ ,  $A_1 = 0,35250$ ,  $A_2 = 1,40000$ . Затем вычисляем корни полинома третьей степени и убеждаемся, что все корни действительные. Затем по формуле (8.161) находим вероятность отказа для мажорированных групп и вероятность безотказной работы для системы в целом.

Для расчета приближенных значений вероятности отказа используем формулы (8.172), (8.173) и (8.176), а для расчета средней наработки до отказа — формулы (8.174) и (8.177). Результаты расчетов представлены в табл. П8.62–П8.63.

**Таблица П8.62.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 1$ . Показатели безотказности

$A$	$k\rho$	$D$	$L$	$s_2$	$s_1$	$s_0$	$P(T,1)$	$P(T,1,ПЗ)$	$\delta$
1,5	0,15	10	1	1,07363	0,31982	0,00655	0,96082	0,88538	2,93
3,0	0,3	10	1	1,03206	0,74451	0,02343	0,83577	0,59380	2,47
4,5	0,45	10	1	1,07363	0,31982	0,00655	0,88700	0,69405	2,71
9,0	0,90	10	1	1,03206	0,74451	0,02343	0,58378	0,20937	1,90

**Таблица П8.63.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 1$ . Показатели безотказности

$A$	$k\rho$	$D$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{срnp1}(1)$	$k\lambda T_{срnp2}(1)$	$k\lambda T_{ср}(1,ПЗ)$	$\delta\%$
1,5	0,15	10	0,02166	0,04008	46,22	36,8	12,64	-21,2
3,0	0,3	10	0,09235	0,16380	21,69	17,0	6,31	-22,0
4,5	0,45	10	0,06357	0,11549	15,41	12,28	4,21	-20,5
9,0	0,90	10	0,25224	0,41530	7,23	5,68	2,10	-19,0

$$\delta\% = 100(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1))/(2 Q(T,1))$$

Из приближенных формул наиболее точной является оценка второго типа по формуле (8.176). Она дает погрешность всего в несколько процентов. Соответственно наиболее точной формулой для расчета средней наработки является формула (8.177).

При  $L = 2$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам (8.168, а) вычисляем коэффициенты полинома четвертой степени и убеждаемся, что два корня — комплексно-сопряженные, а два — действительные. Затем по формуле (8.170) находим вероятность отказа для мажорированных групп и вероятность безотказной работы для системы в целом (табл. П8.64 и П8.65).

**Таблица П8.64.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 2$ . Показатели безотказности

$A$	$k_p$	$D$	$a$	$b$	$c = s_2$	$d = s_3$	$P(T,2)$	$P(T,2,ПЗ)$	$\delta$
1,5	0,15	10	0,22081	0,13893	1,10389	0,00449	0,98538	0,96191	2,61
3,0	0,3	10	0,42519	0,29384	1,23322	0,01639	0,90738	0,76441	2,54
4,5	0,45	10	0,22081	0,13893	1,10389	0,00449	0,95678	0,89004	2,54
9,0	0,90	10	0,42519	0,29384	1,23322	0,01639	0,74707	0,44666	2,19

**Таблица П8.65.** Стратегия 211.  $L = 2$ . Показатели безотказности

$A$	$k_p$	$D$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$Q_{nrcp}(T,2)$	$k\lambda T_{cp1}(2)$	$k\lambda T_{cp2}(2)$	$k\lambda T_{cp,c}(2)$	$\delta\%$
1,5	0,15	10	0,01981	0,00629	0,01305	75,3	151,0	113,1	-10,7
3,0	0,3	10	0,09643	0,04037	0,06840	29,9	61,0	45,5	-26,2
4,5	0,45	10	0,05826	0,01876	0,03864	25,1	50,3	37,7	-10,6
9,0	0,90	10	0,26228	0,11628	0,19148	10,0	20,3	15,2	-24,3

$$\delta\% = 100(Q_{np1}(T,2) + Q_{np2}(T,2))/(2 Q(T,2))$$

Здесь ошибка по вероятности отказа имеет постоянный знак, и среднее арифметическое приближенных оценок наиболее близко к точному значению.

## Пример П8.17

В системе, рассмотренной в примере П8.10, вместо группового дублирования использовано мажорирование по схеме «два из трех». При этом количество модулей увеличилось:  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 6$ ,  $k_3 = 9$ . В состав комплекта ЗИП может быть включено до двух запасных частей каждого типа. Необходимо найти коэффициент готовности системы и оценить изменение показателей надежности при пропорциональном увеличении системы в 2 раза при  $L_i = 0, 1$  и 2.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1,5$  или 3,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i p_i = A_i/D = 0,15$  или 0,3,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или 2. При  $L = 0$  расчет проводим по формулам (8.156). Сначала находим значения корней полинома:  $s_0$  и  $s_1$ , затем коэффициент готовности. Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.66.

**Таблица П8.66.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 0$ . Показатели готовности

$A$	$D$	$k_p$	$s_0$	$s_1$	$K_c^*(T,0)$	$K_c(T,0)$	$K_c^*(T,0,ПЗ)$	$K_c(T,0,ПЗ)$
1,5	10	0,15	0,80779	1,44221	0,98713	0,98961	0,65738	0,86054
3	10	0,3	0,80000	1,70000	0,95591	0,96399	0,30643	0,66352
4,5	10	0,45	0,80779	1,44221	0,96190	0,96915	0,28408	0,63724
9	10	0,9	0,80000	1,70000	0,87348	0,89581	0,02877	0,29212

При  $L = 1$  порядок расчетов следующий. Сначала вычисляем коэффициенты полинома третьей степени и убеждаемся, что пара корней — комплексно-сопряженные, а один корень — действительный. Затем по формулам (8.185) находим коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и коэффициенты готовности по наихудшему циклу и в среднем по периоду пополнения. Предельное значение коэффициента готовности при неограниченном  $T$  надо взять из формулы (8.183, а). Для расчета приближенных значений вероятности отказа используем формулы (8.182). Результаты расчетов представлены в табл. П8.67–П8.68.

**Таблица П8.67.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 1$ . Показатели готовности

$A$	$D$	$k_p$	$a$	$b$	$c$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_c(T,1,ПЗ)$
1,5	10	0,15	1,04739	0,12691	0,30522	0,99399	0,99659	0,95621
3	10	0,3	1,10863	0,29809	0,58274	0,97681	0,98448	0,82319
4,5	10	0,45	1,04739	0,12691	0,30522	0,98208	0,98981	0,87431
9	10	0,9	1,10863	0,29809	0,58274	0,93204	0,95417	0,55783

**Таблица П8.68.** ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 1$ . Показатели готовности

$A$	$D$	$k_p$	$K_{emp2}^*(T,1)$	$K_{emp2}(T,1)$	$\delta_1\%$	$\delta_2\%$
1,5	10	0,15	0,99336	0,99454	-10,49	-60,3
3	10	0,3	0,97683	0,97963	0,06	-31,3
4,5	10	0,45	0,98022	0,98370	-10,42	-60,0
9	10	0,9	0,93208	0,94013	0,06	-30,6

При  $L = 2$  порядок расчетов следующий. Сначала по формулам (8.192) вычисляем коэффициенты полинома четвертой степени и убеждаемся, что два корня — комплексно-сопряженные, а два — действительные. При  $k_p = 0,15$  расчеты дают:  $a_0 = 0,0757125$ ,  $a_1 = 0,640125$ ,  $a_2 = 2,1125$ ,  $a_3 = 2,55$ . Затем по формулам (8.70), используя предельное значение  $K_c(2)$  из формулы (8.192), находим коэффициент готовности для мажорированных групп и коэффициент готовности системы в целом. При расчете приближенного значения коэффициента готовности выясняем, что корни — комплексно-сопряженные. Поэтому приближенное значение находим по формуле (8.188), где предельное значение коэффициента готовности берем из формулы (8.192). Результаты расчетов представлены в табл. П8.69.

Таблица П8.69. ПЭДЗ. Стратегия 211.  $L = 2$ . Показатели готовности

$A$	$D$	$k_p$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{зnp1}^*(T,2)$	$K_{зnp2}^*(T,2)$	$K_{зnp2}(T,2)$	$\delta_1\%$	$\delta_2\%$
1,5	10	0,15	0,99699	0,99883	0,99683	0,99521	0,99758	-32,1	-159
3	10	0,3	0,98451	0,99205	0,98776	0,98251	0,98771	4,06	-113
4,5	10	0,45	0,99099	0,99651	0,99052	0,98569	0,99277	-32,0	-87
9	10	0,9	0,95424	0,97634	0,96372	0,94846	0,96359	4,00	-159

Видим, что здесь погрешность приближенной формулы больше, чем при  $L = 1$ , но она уменьшается с ростом  $A$ .

## Пример П8.18

В системе, рассмотренной в примерах П8.11 и П8.12, вместо группового дублирования использовано мажорирование по схеме «два из трех». При этом количество модулей увеличилось:  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 6$ ,  $k_3 = 9$ . В состав комплекта ЗИП может быть включено до двух запасных частей каждого типа. Необходимо найти показатели безотказности и готовности системы, оценить изменение показателей надежности при пропорциональном увеличении системы в 2 раза при  $L_i = 0, 1$  и 2 и сравнить со стратегией 211.

## Решение

По условиям задачи исходные данные для расчета коэффициента готовности следующие:  $T = 8400$  час,  $A_1 = A_2 = A_3 = 1,5$  или 3,  $D = \mu T = 8400/840 = 10$ ,  $k_i p_i = A_i/D = 0,15$  или 0,3,  $L_1 = L_2 = L_3 = 0, 1$  или 2. При  $L = 0$  показатели надежности системы при стратегиях 211 и 221 совпадают. Поэтому результаты расчетов следует взять из примеров П8.10 и П8.11. При  $L = 1$  и 2 расчет проводим по формулам (8.112), (8.116) и (8.119) модели ПЭДЗ(221). Результаты расчетов для каждого типа модулей и для системы в целом приведены в табл. П8.70 и П8.71.

Таблица П8.70. ПЭДЗ. Стратегия 221.  $L = 2$ . Показатели безотказности

$A$	$D$	$k_p$	$L$	$P(T,L)$		$k\lambda T_{cp}(L)$		$\delta\%$	
				211	221	211	221	$P$	$T_{cp}$
1,0	10	0,10	1	0,96082	0,95107	36,8	30,1	24,89	23,02
1,5	10	0,15	1	0,83577	0,78101	17,0	12,5	33,34	39,13
4,5	10	0,45	1	0,88700	0,86026	12,28	10,04	23,66	24,78
9	10	0,9	1	0,58378	0,47640	5,68	4,18	25,80	47,17
1,0	10	0,10	2	0,98538	0,98187	75,3	82,4	24,01	-8,72
1,5	10	0,15	2	0,90738	0,86766	29,9	21,8	42,88	38,94
4,5	10	0,45	2	0,95678	0,94660	25,1	27,47	23,55	-8,95
9	10	0,9	2	0,74707	0,65320	10,0	7,27	37,11	43,54

Таблица П8.71. ПЭДЗ. Стратегия 221.  $L = 2$ . Показатели готовности

A	D	$k_p$	L	$K_z^*(T, L)$		$K_z(T, L)$		$\delta\%$	
				211	221	211	221	$K_z^*$	$K_z$
1,0	10	0,10	1	0,99399	0,99106	0,99659	0,99557	48,8	29,9
1,5	10	0,15	1	0,97681	0,96013	0,98448	0,97728	71,9	46,4
4,5	10	0,45	1	0,98208	0,97342	0,98981	0,98677	48,3	29,8
9	10	0,9	1	0,93204	0,88510	0,95417	0,93337	69,1	45,4
1,0	10	0,10	2	0,99699	0,99561	0,99883	0,99849	45,8	29,1
1,5	10	0,15	2	0,98451	0,96949	0,99205	0,98745	97,0	57,9
4,5	10	0,45	2	0,99099	0,98690	0,99651	0,99549	45,4	29,2
9	10	0,9	2	0,95424	0,91123	0,97634	0,96282	94,0	57,1

## Пример П8.19

В однородной мажорированной системе (модель ПЭДЗ) период пополнения может меняться от одной десятой до двух значений среднего интервала между отказами элементов. Заявка на экстренную доставку формируется после отказа системы (при очередном отказе элемента после исчерпания запасов) или после отказа комплекта ЗИП. Среднее время экстренной доставки в 2–20 раз меньше периода пополнения. Необходимо провести расчет показателей безотказности и готовности системы при отсутствии запасов, одной или двух запасных частей в комплекте ЗИП, выполнить анализ зависимостей показателей от основных параметров и факторов. Сравнить со стратегией периодического пополнения запасов.

## Решение

По исходным данным находим:  $A = 0, 1 \dots 2$ ,  $k_p = 0, 01 \dots 0, 2$ ,  $D = 1 \dots 20$ ,  $L = 0, 1$  или  $2$ . Расчет надежности выполняется по формулам (8.45)–(8.53), (8.55), (8.56). Результаты расчетов приведены в табл. П8.72–П8.101 и на рис. П8.9–П8.14.

Таблица П8.72. Модель ПЭДЗ,  $L = 0$ . Стратегия 111. Показатели готовности

A	$k_p$	D	$K_z^*(T, 0)$	$K_z(T, 0)$	$K_z^*(T, 0, ПЗ)$	$K_z(T, 0, ПЗ)$	$K_z^*(T, 1, ПЗ)$	$K_z^*(T, 2, ПЗ)$
0,2	0,2	1	0,99129	0,99677	0,98806	0,99591	0,99922	0,999962
0,3	0,2	1,5	0,98393	0,99373	0,97456	0,99116	0,99754	0,999819
0,4	0,2	2	0,97637	0,99033	0,95714	0,98491	0,99454	0,999469
0,5	0,2	2,5	0,96920	0,98681	0,93653	0,97734	0,99001	0,998793
0,6	0,2	3	0,96270	0,98332	0,91334	0,96864	0,98381	0,997671
0,8	0,2	4	0,95199	0,97677	0,86128	0,94844	0,96626	0,993619
1	0,2	5	0,94414	0,97098	0,80449	0,92538	0,94196	0,986482
1,5	0,2	7,5	0,93316	0,95993	0,65738	0,86054	0,85648	0,951756
2	0,2	10	0,92876	0,95261	0,52012	0,79224	0,74835	0,891700
3	0,2	15	0,92636	0,94414	0,30643	0,66352	0,52100	0,716616

Таблица П8.73. ПЭДЗ,  $L = 0$ . Стратегия 111. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,0)$	$K_c(T,0)$	$K_c^*(T,0,ПЗ)$	$K_c(T,0,ПЗ)$	$K_c^*(T,1,ПЗ)$	$K_c^*(T,2,ПЗ)$
0,2	0,02	10	0,99793	0,99901	0,98806	0,99591	0,99922	0,999962
0,3	0,03	10	0,99567	0,99788	0,97456	0,99116	0,99754	0,999819
0,4	0,04	10	0,99283	0,99641	0,95714	0,98491	0,99454	0,999469
0,5	0,05	10	0,98954	0,99464	0,93653	0,97734	0,99001	0,998793
0,6	0,06	10	0,98592	0,99263	0,91334	0,96864	0,98381	0,997671
0,8	0,08	10	0,97803	0,98800	0,86128	0,94844	0,96626	0,993619
1	0,1	10	0,96967	0,98277	0,80449	0,92538	0,94196	0,986482
1,5	0,15	10	0,94862	0,96816	0,65738	0,86054	0,85648	0,951756
2	0,2	10	0,92876	0,95261	0,52012	0,79224	0,74835	0,891700
3	0,3	10	0,89339	0,92148	0,30643	0,66352	0,52100	0,716616

Таблица П8.74. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зпп1}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{зпп1}^*(T,1)$	$K_{зпп2}^*(T,1)$	$K_{зпп2}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,2	0,2	1	0,99945	0,99956	0,99951	0,99884	0,99960	11,2	-110
0,3	0,2	1,5	0,99848	0,99935	0,99873	0,99751	0,99914	16,2	-63,7
0,4	0,2	2	0,99703	0,99895	0,99764	0,99581	0,99853	20,6	-41,2
0,5	0,2	2,5	0,99515	0,99838	0,99633	0,99379	0,99778	24,3	-28,2
0,6	0,2	3	0,99293	0,99766	0,99487	0,99152	0,99693	27,5	-19,8
0,8	0,2	4	0,98773	0,99585	0,99171	0,98649	0,99496	32,4	-10,1
1	0,2	5	0,98197	0,99365	0,98841	0,98111	0,99273	35,7	-4,75
1,5	0,2	7,5	0,96770	0,98734	0,98039	0,96800	0,98663	39,3	0,93
2	0,2	10	0,95629	0,98092	0,97332	0,95735	0,98058	39,0	2,42
2,5	0,2	12,5	0,94884	0,97519	0,96743	0,95004	0,97514	36,3	2,34
3,00	0,2	15	0,94487	0,97042	0,96266	0,94577	0,97057	32,3	1,64
3,50	0,2	17,5	0,94338	0,96664	0,95885	0,94381	0,96686	27,3	0,77
4,00	0,2	20	0,94332	0,96372	0,95586	0,94333	0,96394	22,1	0,01

$$\delta_1 = (K_{зпп2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1))$$

Таблица П8.75. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зпп1}^*(T,1) - K_z^*(T,1))/(1 - K_z^*(T,1))$ 

$A$	$kp$	$D$	$K_z^*(T,1)$	$K_z(T,1)$	$K_{зпп1}^*(T,1)$	$K_{зпп2}^*(T,1)$	$K_{зпп2}(T,1)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	0,999975	0,999992	0,999990	0,999971	0,999990	57,9	-17,7
0,2	0,02	10	0,999821	0,999943	0,999922	0,999795	0,999929	56,5	-14,2
0,3	0,03	10	0,999451	0,999820	0,999754	0,999388	0,999783	55,2	-11,4
0,4	0,04	10	0,998813	0,999604	0,999453	0,998705	0,999533	54,0	-9,11
0,5	0,05	10	0,997881	0,999279	0,998999	0,997729	0,999167	52,8	-7,18
0,6	0,06	10	0,996645	0,998837	0,998377	0,996459	0,998679	51,6	-5,56
0,8	0,08	10	0,993283	0,997585	0,996606	0,993077	0,997334	49,5	-3,06
1	0,1	10	0,988830	0,995843	0,994133	0,988690	0,995511	47,5	-1,25
1,25	0,125	10	0,981987	0,993010	0,990122	0,982044	0,992611	45,2	0,32
1,5	0,15	10	0,974061	0,989520	0,985214	0,974412	0,989098	43,0	1,35
1,75	0,175	10	0,965396	0,985460	0,979562	0,966095	0,985058	40,9	2,02
2	0,2	10	0,956295	0,980922	0,973321	0,957351	0,980577	39,0	2,42

$$\delta_1 = (K_{зпп2}^*(T,1) - K_z^*(T,1))/(1 - K_z^*(T,1))$$

Таблица П8.76. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зпп1}^*(T,2) - K_z^*(T,2))/(1 - K_z^*(T,2))$ 

$A$	$kp$	$D$	$K_z^*(T,2)$	$K_z(T,2)$	$K_{зпп1}^*(T,2)$	$K_{зпп2}^*(T,2)$	$K_{зпп2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,20	0,2	1	0,99997	0,999994	0,99998	0,99947	0,99982	5,29	-1957
0,30	0,2	1,5	0,99990	0,999977	0,99991	0,99886	0,99961	9,78	-997
0,40	0,2	2	0,99973	0,999938	0,99977	0,99806	0,99932	14,5	-623
0,50	0,2	2,5	0,99945	0,999871	0,99956	0,99709	0,99898	19,1	-432
0,60	0,2	3	0,99904	0,999769	0,99926	0,99598	0,99857	23,4	-318
0,80	0,2	4	0,99774	0,999437	0,99843	0,99342	0,99761	30,7	-191
1,00	0,2	5	0,99578	0,998913	0,99731	0,99055	0,99649	36,4	-123,7
1,25	0,2	6,25	0,99239	0,997964	0,99557	0,98673	0,99492	41,8	-74,4
1,50	0,2	7,5	0,98811	0,996690	0,99354	0,98285	0,99323	45,6	-44,3
1,75	0,2	8,75	0,98316	0,995117	0,99131	0,97905	0,99148	48,4	-24,4
2,00	0,2	10	0,97784	0,993292	0,98898	0,97546	0,98970	50,3	-10,8
3,00	0,2	15	0,95858	0,984725	0,97983	0,96424	0,98293	51,3	13,7
4,00	0,2	20	0,95098	0,976953	0,97235	0,95835	0,97742	43,6	15,0

$$\delta_1 = (K_{зпп2}^*(T,2) - K_z^*(T,2))/(1 - K_z^*(T,2))$$



Таблица П8.77. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 111.  $\delta = (K_{зп1}^*(T,2) - K_z^*(T,2))/(1 - K_z^*(T,2))$ 

$A$	$k_p$	$D$	$K_z^*(T,2)$	$K_z(T,2)$	$K_{зп1}^*(T,2)$	$K_{зп2}^*(T,2)$	$K_{зп2}(T,2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	1,00000	1,00000	0,9999997	0,9999991	0,9999997	64,8	-1070
0,2	0,02	10	0,99999	1,00000	0,9999996	0,9999935	0,999978	62,9	-525
0,3	0,03	10	0,99995	0,99999	0,999982	0,999794	0,999929	61,2	-342
0,4	0,04	10	0,99987	0,99997	0,999947	0,999539	0,999839	59,7	-250
0,5	0,05	10	0,99971	0,99993	0,999879	0,999149	0,999700	58,4	-194
0,6	0,06	10	0,99946	0,99986	0,999767	0,998610	0,999504	57,2	-156
0,8	0,08	10	0,99857	0,99963	0,999361	0,997051	0,998922	55,2	-107
1,00	0,1	10	0,99707	0,99921	0,998646	0,994836	0,998069	53,7	-76,4
1,25	0,125	10	0,99416	0,99838	0,997221	0,991180	0,996605	52,4	-51,1
1,5	0,15	10	0,99000	0,99715	0,995143	0,986636	0,994705	51,4	-33,6
1,75	0,175	10	0,98454	0,99546	0,992390	0,981344	0,992391	50,8	-20,7
2	0,2	10	0,97784	0,99329	0,988984	0,975456	0,989697	50,3	-10,8
3,00	0,3	10	0,94171	0,97991	0,970045	0,948756	0,975921	48,6	12,1
4,00	0,4	10	0,90164	0,96050	0,946188	0,921880	0,959173	45,3	20,6

$$\delta_1 = (K_{зп2}^*(T,1) - K_z^*(T,1))/(1 - K_z^*(T,1))$$

Таблица П8.78. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_z^*(T,1)$		$K_z(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,50	0,2	2,5	0,99407	0,99515	0,99825	0,99838	18,2	7,4
0,60	0,2	3	0,99118	0,99293	0,99732	0,99766	19,9	12,7
0,80	0,2	4	0,98420	0,98773	0,99494	0,99585	22,4	18,0
1,00	0,2	5	0,97622	0,98197	0,99200	0,99365	24,2	20,6
1,25	0,2	6,25	0,96568	0,96770	0,98780	0,98734	5,9	-3,7
1,50	0,2	7,5	0,95521	0,95629	0,98323	0,98092	2,4	-13,8
1,75	0,2	8,75	0,94530	0,94884	0,97851	0,97519	6,5	-15,5
2,00	0,2	10	0,93621	0,94487	0,97378	0,97042	13,6	-12,8
3,00	0,2	15	0,90928	0,94338	0,95636	0,96664	37,6	23,6
4,00	0,2	20	0,89487	0,94332	0,94258	0,96372	46,1	36,8

$$\delta = 100(K_z^*(T,1,111) - K_z^*(T,1,121))/(1 - K_z^*(T,1,121)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,1,111) - K_z(T,1,121))/(1 - K_z(T,1,121)).$$

Таблица П8.79. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_z^*(T,1)$		$K_z(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,50	0,05	10	0,99754	0,997881	0,99919	0,999279	13,97	11,53
0,60	0,06	10	0,99601	0,996645	0,99866	0,998837	15,96	13,28
0,80	0,08	10	0,99166	0,993283	0,99711	0,997585	19,45	16,35
1,00	0,1	10	0,98562	0,988830	0,99487	0,995843	22,34	18,95
1,25	0,125	10	0,97588	0,981987	0,99108	0,993010	25,31	21,64
1,50	0,15	10	0,96410	0,974061	0,98624	0,989520	27,74	23,86
1,75	0,175	10	0,95073	0,965396	0,98043	0,985460	29,77	25,69
2,00	0,2	10	0,93621	0,956295	0,97378	0,980922	31,49	27,23

$$\delta = 100(K_z^*(T,1,111) - K_z^*(T,1,121))/(1 - K_z^*(T,1,121)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,1,111) - K_z(T,1,121))/(1 - K_z(T,1,121)).$$

Таблица П8.80. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_z^*(T,2)$		$K_z(T,2)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,50	0,2	2,5	0,99921	0,99945	0,99982	0,999871	30,0	27,9
0,60	0,2	3	0,99859	0,99904	0,99967	0,999769	32,0	29,8
0,80	0,2	4	0,99661	0,99774	0,99917	0,999437	33,3	31,8
1,00	0,2	5	0,99362	0,99578	0,99838	0,998913	33,8	32,9
1,25	0,2	6,25	0,98856	0,99239	0,99695	0,997964	33,5	33,3
1,50	0,2	7,5	0,98229	0,98811	0,99504	0,996690	32,9	33,3
1,75	0,2	8,75	0,97515	0,98316	0,99272	0,995117	32,2	33,0
2,00	0,2	10	0,96748	0,97784	0,99004	0,993292	31,9	32,6
3,00	0,2	15	0,93704	0,95858	0,97735	0,984725	34,2	32,6
4,00	0,2	20	0,91368	0,95098	0,96416	0,976953	43,2	35,7

$$\delta = 100(K_z^*(T,2,111) - K_z^*(T,2,121))/(1 - K_z^*(T,2,121)),$$

$$\delta_1 = 100(K_z(T,2,111) - K_z(T,2,121))/(1 - K_z(T,2,121)).$$

Таблица П8.81. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 121

$A$	$k_p$	$D$	$K_2^*(T,1)$		$K_2(T,1)$		$\delta\%$	$\delta_1\%$
			121	111	121	111		
0,50	0,05	10	0,999638	0,999710	0,999910	0,999927	20	19
0,60	0,06	10	0,999301	0,999456	0,999824	0,999861	22	21
0,80	0,08	10	0,998087	0,998574	0,999505	0,999626	25	25
1,00	0,1	10	0,995950	0,997073	0,998921	0,999213	28	27
1,25	0,125	10	0,991708	0,994164	0,997713	0,998384	30	29
1,50	0,15	10	0,985547	0,989996	0,995871	0,997148	31	31
1,75	0,175	10	0,977436	0,984538	0,993327	0,995459	31	32
2,00	0,2	10	0,967480	0,977838	0,990045	0,993292	32	33
3,00	0,3	10	0,913853	0,941706	0,969839	0,979907	32	33
4,00	0,4	10	0,850931	0,901639	0,940821	0,960498	34	33

$$\delta = 100(K_2^*(T,2,111) - K_2^*(T,2,121))/(1 - K_2^*(T,1,121)),$$

$$\delta_1 = 100(K_2(T,2,111) - K_2(T,2,121))/(1 - K_2(T,2,121)).$$

Таблица П8.82. ПЭДЗ,  $L = 0$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$\underline{Q}(T,0)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$\underline{Q}(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,2	0,5	0,00270	37,0	0,00315	1,17	24,7
0,20	0,2	1	0,00894	22,3	0,01194	1,34	14,9
0,30	0,2	1,5	0,01696	17,6	0,02544	1,50	11,7
0,40	0,2	2	0,02586	15,3	0,04286	1,66	10,2
0,50	0,2	2,5	0,03516	14,0	0,06347	1,80	9,3
0,60	0,2	3	0,04463	13,2	0,08666	1,94	8,8
0,80	0,2	4	0,06362	12,2	0,13872	2,18	8,2
1,00	0,2	5	0,08239	11,7	0,19551	2,37	7,8
1,25	0,2	6,25	0,10537	11,3	0,26921	2,55	7,5
1,50	0,2	7,5	0,12780	11,0	0,34262	2,68	7,4
1,75	0,2	8,75	0,14966	10,9	0,41334	2,76	7,2
2,00	0,2	10	0,17098	10,7	0,47988	2,81	7,2

$$\delta = \underline{Q}(T,0,\Pi_3)/\underline{Q}(T,0), \delta_1 = T_{cp}(0)/T_{cp}(0,\Pi_3)$$

Таблица П8.83. ПЭДЗ,  $L = 0$ . Стратегия 211

$A$	$k\rho$	$D$	$Q(T,0)$	$k\lambda T_{cp}(0)$	$Q(T,0,\Pi_2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,00059	169	0,00315	5,34	113
0,20	0,02	10	0,00233	85,8	0,01194	5,13	57,2
0,30	0,03	10	0,00516	58,0	0,02544	4,93	38,7
0,40	0,04	10	0,00903	44,1	0,04286	4,75	29,4
0,50	0,05	10	0,01388	35,8	0,06347	4,57	23,9
0,60	0,06	10	0,01967	30,2	0,08666	4,41	20,1
0,80	0,08	10	0,03384	23,3	0,13872	4,10	15,5
1,00	0,1	10	0,05111	19,1	0,19551	3,82	12,7
1,25	0,125	10	0,07648	15,8	0,26921	3,52	10,5
1,50	0,15	10	0,10536	13,5	0,34262	3,25	9,0
1,75	0,175	10	0,13707	11,9	0,41334	3,02	8,0
2,00	0,2	10	0,17098	10,7	0,47988	2,81	7,2
3,00	0,3	10	0,31797	7,9	0,69357	2,18	5,3
4,00	0,4	10	0,46426	6,5	0,82818	1,78	4,4

$$\delta = Q(T,0,\Pi_3)/Q(T,0), \quad \delta_1 = T_{cp}(0)/T_{cp}(0,\Pi_3)$$

Таблица П8.84. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 211

$A$	$k\rho$	$D$	$Q(T,1)$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{cp,1}(1)$	$k\lambda T_{cp,2}(1)$	$\delta\%$	$\delta_1$
0,20	0,2	1	0,00062	0,00221	0,00157	191	127,6	154	0,56
0,30	0,2	1,5	0,00176	0,00603	0,00335	134	89,4	90,4	0,83
0,40	0,2	2	0,00355	0,01171	0,00567	105	70,4	59,7	1,10
0,50	0,2	2,5	0,00595	0,01901	0,00844	88,1	59,0	41,9	1,35
0,60	0,2	3	0,00889	0,02762	0,01160	76,7	51,5	30,5	1,60
0,80	0,2	4	0,01605	0,04775	0,01884	62,4	42,2	17,4	2,06
1,00	0,2	5	0,02446	0,07038	0,02700	53,8	36,7	10,4	2,48
1,25	0,2	6,25	0,03605	0,10043	0,03809	47,0	32,3	5,7	2,94
1,50	0,2	7,5	0,04831	0,13106	0,04981	42,4	29,5	3,12	3,36
1,75	0,2	8,75	0,06087	0,16134	0,06190	39,1	27,6	1,69	3,71
2,00	0,2	10	0,07354	0,19071	0,07419	36,7	26,1	0,87	4,03
3,00	0,2	15	0,12354	0,29445	0,12338	30,9	23,0	-0,13	4,90
4,00	0,2	20	0,17121	0,37516	0,17086	27,9	21,6	-0,20	5,35

$$\delta = 100(Q_{np2}(T,1) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = T_{cp,1}(1)/T_{cp}(1,\Pi_3).$$

Таблица П8.85. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q_{np1}(T,1)$	$Q_{np2}(T,1)$	$k\lambda T_{cp,1}(1)$	$k\lambda T_{cp,2}(1)$	$\delta\%$	$\delta_1$
0,2	0,02	10	0,00019	0,00022	0,00010	1343,3	895,5	-14,0	3,30
0,3	0,03	10	0,00061	0,00069	0,00033	648,2	432,1	-15,7	3,37
0,4	0,04	10	0,00135	0,00152	0,00074	394,4	262,9	-16,7	3,43
0,5	0,05	10	0,00249	0,00275	0,00136	272,1	181,3	-17,5	3,48
0,6	0,06	10	0,00406	0,00443	0,00221	203,0	135,3	-18,2	3,52
0,8	0,08	10	0,00857	0,00916	0,00468	130,7	87,0	-19,3	3,59
1	0,1	10	0,01500	0,01576	0,00822	94,8	63,1	-20,1	3,63
1,25	0,125	10	0,02569	0,02658	0,01414	70,1	46,5	-20,8	3,65
1,5	0,15	10	0,03918	0,04008	0,02166	55,6	36,8	-21,2	3,66
1,75	0,175	10	0,03494	0,05603	0,03065	46,2	30,5	24,0	3,64
2	0,2	10	0,07354	0,07419	0,04097	39,7	26,1	-21,7	3,61
3	0,3	10	0,16423	0,16380	0,09235	26,3	17,0	-22,0	3,43

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2).$$

Таблица П8.86. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 211

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$k\lambda T_{cp,1}(2)$	$k\lambda T_{cp,2}(2)$	$\delta Q\%$	$\delta_1$
0,20	0,2	1	0,000032	0,00002	0,00063	637	348	919	0,07
0,30	0,2	1,5	0,000138	0,00008	0,00137	437	239	430	0,15
0,40	0,2	2	0,000373	0,00021	0,00237	337	185	247	0,26
0,50	0,2	2,5	0,000786	0,00043	0,00360	277	152	157	0,40
0,60	0,2	3	0,001412	0,00075	0,00505	238	130	105	0,55
0,80	0,2	4	0,003392	0,00168	0,00849	188	103	50,0	0,90
1,00	0,2	5	0,006390	0,00302	0,01258	159	87,6	22,1	1,29
1,25	0,2	6,25	0,011493	0,00521	0,01843	135	75,1	2,9	1,83
1,50	0,2	7,5	0,017881	0,00790	0,02493	120	67,0	-8,2	2,39
1,75	0,2	8,75	0,025262	0,01099	0,03194	109	61,5	-15,0	2,96
2,00	0,2	10	0,033353	0,01439	0,03934	101	57,6	-19,5	3,53
3	0,2	15	0,068753	0,02965	0,07128	83	51,0	-26,6	5,64

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1),$$

$$\delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2).$$

Таблица П8.87. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 211

$A$	$k\rho$	$D$	$Q(T,2)$	$Q_{np1}(T,2)$	$Q_{np2}(T,2)$	$k\lambda T_{cp,1}(2)$	$k\lambda T_{cp,2}(2)$	$\delta Q \%$	$\delta_1$
0,20	0,02	10	0,000012	0,00008	0,000005	4961	2503	306,2	0,54
0,30	0,03	10	0,000054	0,00026	0,000024	2311	1171	195,5	0,79
0,40	0,04	10	0,000160	0,00059	0,000070	1361	693	140,1	1,04
0,50	0,05	10	0,000363	0,00110	0,000159	911	466	106,6	1,27
0,60	0,06	10	0,000700	0,00182	0,000305	661	340	84,1	1,49
0,80	0,08	10	0,001917	0,00395	0,000831	405	210	55,6	1,89
1,00	0,1	10	0,004065	0,00711	0,001756	281	148	36,7	2,25
1,25	0,125	10	0,008349	0,01259	0,003597	198	106	23,4	2,65
1,50	0,15	10	0,014619	0,01981	0,006293	151	82,2	13,2	2,99
1,75	0,175	10	0,022964	0,02875	0,009889	121	67,4	5,5	3,28
2,00	0,2	10	0,033353	0,03934	0,014387	101	57,6	-0,5	3,53
3	0,3	10	0,092625	0,09643	0,040367	61	40,4	-15,9	4,27

$$\delta = 100(0,5(Q_{np1}(T,1) + Q_{np2}(T,1)) - Q(T,1))/Q(T,1), \quad \delta_1 = 0,5(T_{cp,1}(1) + T_{cp,2}(1))/T_{cp}(1,П2)$$

Таблица П8.88. ПЭДЗ,  $L = 0$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k\rho$	$D$	$K_s^*(T,0)$	$K_s(T,0)$	$K_s^*(T,0,П3)$	$K_s(T,0,П3)$	$\delta$	$\delta_1$
0,20	0,2	1	0,99357	0,99742	0,98806	0,99591	1,86	1,59
0,30	0,2	1,5	0,98957	0,99545	0,97456	0,99116	2,44	1,94
0,40	0,2	2	0,98633	0,99356	0,95714	0,98491	3,14	2,34
0,50	0,2	2,5	0,98390	0,99186	0,93653	0,97734	3,94	2,78
0,60	0,2	3	0,98215	0,99038	0,91334	0,96864	4,85	3,26
0,80	0,2	4	0,98006	0,98803	0,86128	0,94844	6,96	4,31
1,00	0,2	5	0,97908	0,98632	0,80449	0,92538	9,35	5,46
1,25	0,2	6,25	0,97857	0,98482	0,73079	0,89385	12,6	6,99
1,50	0,2	7,5	0,97837	0,98376	0,65738	0,86054	15,8	8,59
1,75	0,2	8,75	0,97830	0,98298	0,58666	0,82642	19,0	10,2
2,00	0,2	10	0,97828	0,98239	0,52012	0,79224	22,1	11,8
3	0,2	15	0,97826	0,98102	0,30643	0,66352	31,9	17,7
4	0,2	20	0,97826	0,98033	0,17182	0,55599	38,10	22,6

$$\delta = (1 - K_s^*(T,0, П3))/(1 - K_s^*(T,0)), \quad \delta_1 = (1 - K_s(T,0,П3))/(1 - K_s(T,0))$$

Таблица П8.89. ПЭД2,  $L = 0$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,0)$	$K_c(T,0)$	$K_c^*(T,0,П2)$	$K_c(T,0,П2)$	$\delta$	$\delta_1$
0,1	0,01	10	0,99993	0,99995	0,99685	0,99893	47,8	20,2
0,2	0,02	10	0,99974	0,99979	0,98806	0,99591	45,7	19,6
0,3	0,03	10	0,99942	0,99953	0,97456	0,99116	43,7	19,0
0,4	0,04	10	0,99898	0,99918	0,95714	0,98491	41,9	18,4
0,5	0,05	10	0,99842	0,99873	0,93653	0,97734	40,1	17,8
0,6	0,06	10	0,99774	0,99819	0,91334	0,96864	38,4	17,3
0,8	0,08	10	0,99607	0,99684	0,86128	0,94844	35,3	16,3
1	0,1	10	0,99398	0,99515	0,80449	0,92538	32,5	15,4
1,25	0,125	10	0,99083	0,99261	0,73079	0,89385	29,4	14,4
1,5	0,15	10	0,98713	0,98961	0,65738	0,86054	26,6	13,4
1,75	0,175	10	0,98293	0,98619	0,58666	0,82642	24,2	12,6
2	0,2	10	0,97828	0,98239	0,52012	0,79224	22,1	11,8

$$\delta = (1 - K_c^*(T,0, П3))/(1 - K_c^*(T,0)), \delta_1 = (1 - K_c(T,0,П3))/(1 - K_c(T,0))$$

Таблица П8.90. ПЭД3,  $L = 1$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{\text{зп}2}^*(T,1)$	$K_{\text{зп}2}(T,1)$	$K_c(T,1,П3)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,20	0,2	1	0,99952	0,99986	0,99919	0,99971	0,99980	-68	-111
0,30	0,2	1,5	0,99879	0,99963	0,99840	0,99941	0,99936	-31,7	-61
0,40	0,2	2	0,99783	0,99931	0,99750	0,99905	0,99856	-15,1	-37
0,50	0,2	2,5	0,99677	0,99891	0,99656	0,99865	0,99733	-6,4	-23
0,60	0,2	3	0,99570	0,99846	0,99563	0,99822	0,99562	-1,5	-15
0,80	0,2	4	0,99376	0,99752	0,99392	0,99735	0,99062	2,6	-6,7
1,00	0,2	5	0,99223	0,99661	0,99249	0,99652	0,98342	3,35	-2,6
1,25	0,2	6,25	0,99004	0,99473	0,99020	0,99475	0,97139	1,61	0,36
1,50	0,2	7,5	0,98919	0,99343	0,98920	0,99347	0,95621	0,10	0,51
1,75	0,2	8,75	0,98888	0,99255	0,98884	0,99257	0,93829	-0,38	0,30
2	0,2	10	0,98876	0,99192	0,98872	0,99194	0,91807	-0,36	0,14
3	0,2	15	0,98872	0,99147	0,98870	0,99147	0,82319	-0,23	0,06
4	0,2	20	0,98871	0,99113	0,98870	0,99113	0,72291	-0,12	0,02

$$\delta = 100(K_{\text{зп}2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1)), \delta_1 = 100(K_{\text{зп}2}(T,1) - K_c(T,1))/(1 - K_c(T,1))$$

Таблица П8.91. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,1)$	$K_c(T,1)$	$K_{emp2}^*(T,1)$	$K_{emp2}(T,1)$	$K_c(T,1,П2)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,10	0,01	10	0,999995	0,999998	0,999965	0,999980	0,999974	-607	-880
0,20	0,02	10	0,999964	0,999984	0,999861	0,999915	0,999800	-288	-444
0,30	0,03	10	0,999888	0,999950	0,999687	0,999802	0,999360	-181	-298
0,40	0,04	10	0,999756	0,999889	0,999447	0,999639	0,998560	-127	-225
0,50	0,05	10	0,999560	0,999794	0,999145	0,999424	0,997329	-94,2	-180
0,60	0,06	10	0,999296	0,999663	0,998784	0,999156	0,995616	-72,5	-151
0,80	0,08	10	0,998560	0,999281	0,997901	0,998468	0,990615	-45,6	-113
1,00	0,1	10	0,997555	0,998728	0,996822	0,997579	0,983422	-29,7	-90,6
1,25	0,125	10	0,995948	0,997794	0,995219	0,996201	0,971387	-17,7	-72,4
1,50	0,15	10	0,993991	0,996592	0,993349	0,994543	0,956213	-10,5	-60,3
1,75	0,175	10	0,991727	0,995134	0,991219	0,992624	0,938288	-6,01	-51,7
2,00	0,2	10	0,989189	0,993432	0,988835	0,990460	0,918066	-3,26	-45,4
3,00	0,3	10	0,976812	0,984485	0,976907	0,979658	0,823189	0,06	-31,3

$$\delta = (K_{emp2}^*(T,1) - K_c^*(T,1))/(1 - K_c^*(T,1)), \delta_1 = (K_{emp2}(T,1) - K_c(T,1))/(1 - K_c(T,1))$$

Таблица П8.92. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{emp2}^*(T,2)$	$K_{emp2}(T,2)$	$K_c(T,2,П3)$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,20	0,2	1	0,99997	0,99999	0,99958	0,99986	0,99980	-1498	-2419
0,30	0,2	1,5	0,99990	0,99998	0,99912	0,99969	0,99936	-755	-1214
0,40	0,2	2	0,99975	0,99994	0,99855	0,99948	0,99856	-473	-762
0,50	0,2	2,5	0,99952	0,99988	0,99790	0,99923	0,99733	-333	-538
0,60	0,2	3	0,99921	0,99979	0,99721	0,99895	0,99562	-252	-409
0,80	0,2	4	0,99840	0,99955	0,99578	0,99834	0,99062	-164	-270
1,00	0,2	5	0,99746	0,99923	0,99445	0,99769	0,98342	-119	-199
1,25	0,2	6,25	0,99627	0,99875	0,99307	0,99690	0,97139	-85,7	-149
1,50	0,2	7,5	0,99519	0,99825	0,99210	0,99617	0,95621	-64,4	-119
1,75	0,2	8,75	0,99431	0,99775	0,99153	0,99554	0,93829	-49,0	-97,7
2,00	0,2	10	0,99364	0,99727	0,99130	0,99503	0,91807	-36,8	-82,4
3	0,2	15	0,99247	0,99581	0,99198	0,99386	0,82319	-6,4	-46,6
4	0,2	20	0,99233	0,99495	0,99251	0,99348	0,72291	2,3	-29,2

$$\delta = 100(K_{emp2}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2)), \delta_1 = 100(K_{emp2}(T,2) - K_c(T,2))/(1 - K_c(T,2))$$



**Таблица П8.93.** ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 211. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_c^*(T,2)$	$K_c(T,2)$	$K_{\text{эмп2}}^*(T,2)$	$K_{\text{эмп2}}(T,2)$	$K_c(T,2,\text{ПЗ})$	$\delta\%$	$\delta_1\%$
0,1	0,01	10	1,000000	1,0000000	0,999999	1,000000	1,000000	-247	-451
0,2	0,02	10	0,999997	0,9999994	0,999991	0,999997	0,999994	-220	-350
0,3	0,03	10	0,999986	0,9999969	0,999960	0,999988	0,999972	-196	-302
0,4	0,04	10	0,999961	0,9999909	0,999891	0,999967	0,999915	-176	-268
0,5	0,05	10	0,999912	0,9999793	0,999773	0,999929	0,999805	-158	-241
0,6	0,06	10	0,999833	0,9999598	0,999595	0,999872	0,999617	-142	-219
0,8	0,08	10	0,999557	0,9998884	0,999044	0,999682	0,998920	-116	-185
1	0,1	10	0,999091	0,9997604	0,998226	0,999378	0,997641	-95,1	-160
1,25	0,125	10	0,998207	0,9995003	0,996867	0,998834	0,994981	-74,8	-133
1,5	0,15	10	0,996986	0,9991114	0,995206	0,998096	0,990913	-59,1	-114
1,75	0,175	10	0,995450	0,9985830	0,993326	0,997177	0,985274	-46,7	-99
2	0,2	10	0,993640	0,9972731	0,991299	0,995025	0,977985	-36,8	-82

$$\delta = 100(K_{\text{эмп2}}^*(T,2) - K_c^*(T,2))/(1 - K_c^*(T,2)), \quad \delta_1 = 100(K_{\text{эмп2}}(T,2) - K_c(T,2))/(1 - K_c(T,2))$$

**Таблица П8.94.** ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q(T,1,\text{ПЗ})$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(1)$	$k\lambda T_{cp}(1,\text{ПЗ})$	$\delta T$
0,20	0,2	1	0,00061	0,00078	1,27	326	257	1,27
0,30	0,2	1,5	0,00177	0,00246	1,39	170	122	1,39
0,40	0,2	2	0,00362	0,00546	1,51	110	73,1	1,51
0,50	0,2	2,5	0,00616	0,00999	1,6	80	49,9	1,60
0,60	0,2	3	0,00935	0,01619	1,7	63,0	36,9	1,71
0,80	0,2	4	0,01747	0,03374	1,9	44,6	23,5	1,90
1,00	0,2	5	0,02754	0,05804	2,1	35,0	16,9	2,07
1,25	0,2	6,25	0,04226	0,09692	2,3	28,2	12,5	2,25
1,50	0,2	7,5	0,05875	0,14352	2,4	24,0	10,0	2,40
1,75	0,2	8,75	0,07648	0,19577	2,6	21,3	8,4	2,54
2,00	0,2	10	0,09507	0,25165	2,6	19,3	7,3	2,65
3,00	0,2	15	0,17275	0,47900	2,8	15,2	5,2	2,95
4,00	0,2	20	0,24906	0,66770	2,7	13,4	4,3	3,09

$$\delta Q = Q(T,1,\text{ПЗ})/Q(T,1), \quad \delta T = T_{cp}(1)/T_{cp}(1,\text{ПЗ})$$

Таблица П8.95. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,1)$	$Q(T,1,ПЗ)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(1)$	$k\lambda T_{cp}(1,ПЗ)$	$\delta T$
0,10	0,01	10	0,000026	0,000104	3,98	3824	962	3,98
0,20	0,02	10	0,000200	0,000778	3,89	999	257	3,89
0,30	0,03	10	0,000647	0,002460	3,80	464	122	3,80
0,40	0,04	10	0,001468	0,005461	3,72	272	73,1	3,72
0,50	0,05	10	0,002747	0,009994	3,64	182	49,9	3,64
0,60	0,06	10	0,004548	0,016187	3,56	132	36,9	3,57
0,80	0,08	10	0,009905	0,033742	3,41	80,5	23,5	3,43
1,00	0,1	10	0,017793	0,058040	3,26	55,9	16,9	3,30
1,25	0,125	10	0,031347	0,096916	3,09	39,5	12,5	3,15
1,50	0,15	10	0,048934	0,143517	2,93	30,1	10,0	3,02
1,75	0,175	10	0,070300	0,195771	2,78	24,3	8,39	2,89
2,00	0,2	10	0,095070	0,251649	2,65	20,3	7,30	2,78
3,00	0,3	10	0,218988	0,479001	2,19	12,5	5,16	2,43
4,00	0,4	10	0,361117	0,667699	1,85	9,42	4,33	2,17

$$\delta Q = Q(T,1,ПЗ)/Q(T,1), \quad \delta T = T_{cp}(1)/T_{cp}(1,ПЗ)$$

Таблица П8.96. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q(T,2,ПЗ)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(2)$	$k\lambda T_{cp}(2,ПЗ)$	$\delta T$
0,20	0,2	1	0,000031	0,000038	1,22	6357	5208	1,22
0,30	0,2	1,5	0,000137	0,000181	1,32	2187	1659	1,32
0,40	0,2	2	0,000376	0,000531	1,41	1064	753	1,41
0,50	0,2	2,5	0,000802	0,001207	1,50	624	414	1,51
0,60	0,2	3	0,001461	0,002329	1,59	411	257	1,60
0,80	0,2	4	0,003618	0,006381	1,76	221	125	1,77
1,00	0,2	5	0,007046	0,013518	1,92	142	73,7	1,92
1,25	0,2	6,25	0,013237	0,027685	2,09	94,2	44,9	2,10
1,50	0,2	7,5	0,021529	0,048244	2,24	69,4	30,7	2,26
1,75	0,2	8,75	0,031785	0,075253	2,37	54,7	22,8	2,40
2,00	0,2	10	0,043801	0,108300	2,47	45,2	18,0	2,52
3,00	0,2	15	0,104679	0,283384	2,71	27,8	9,71	2,86
4,00	0,2	20	0,175992	0,479304	2,72	21,4	7,03	3,04

$$\delta Q = Q(T,2,ПЗ)/Q(T,2), \quad \delta T = T_{cp}(2)/T_{cp}(2,ПЗ)$$

Таблица П8.97. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 221

$A$	$k_p$	$D$	$Q(T,2)$	$Q(T,2,ПЗ)$	$\delta Q$	$k\lambda T_{cp}(2)$	$k\lambda T_{cp}(2,ПЗ)$	$\delta T$
0,10	0,01	10	0,0000008	0,0000026	3,27	126602	38734	3,27
0,20	0,02	10	0,0000119	0,0000384	3,22	16779	5208	3,22
0,30	0,03	10	0,0000569	0,0001808	3,18	5270	1659	3,18
0,40	0,04	10	0,0001698	0,0005314	3,13	2356	753	3,13
0,50	0,05	10	0,0003914	0,0012071	3,08	1278	414	3,08
0,60	0,06	10	0,0007664	0,0023293	3,04	783	257	3,04
0,80	0,08	10	0,0021620	0,0063810	2,95	370	125	2,95
1,00	0,1	10	0,0047173	0,0135182	2,87	212	73,7	2,87
1,25	0,125	10	0,0100246	0,0276848	2,76	124	44,9	2,77
1,50	0,15	10	0,0181268	0,0482440	2,66	82,4	30,7	2,68
1,75	0,175	10	0,0293377	0,0752534	2,57	59,2	22,8	2,60
2,00	0,2	10	0,0438011	0,1083003	2,47	45,2	18,0	2,52
3,00	0,3	10	0,1323425	0,2833844	2,14	21,8	9,71	2,24

$$\delta Q = Q(T,2,ПЗ)/Q(T,2), \quad \delta T = T_{cp}(2)/T_{cp}(2,ПЗ)$$

Таблица П8.98. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_\lambda^*(T,1)$	$K_\lambda(T,1)$	$K_\lambda^*(T,1,ПЗ)$	$K_\lambda(T,1,ПЗ)$	$\delta$	$\delta_1$
0,20	0,2	1	0,99951	0,99986	0,99922	0,99980	1,59	1,45
0,30	0,2	1,5	0,99875	0,99963	0,99754	0,99936	1,96	1,72
0,40	0,2	2	0,99771	0,99928	0,99454	0,99856	2,39	2,01
0,50	0,2	2,5	0,99650	0,99885	0,99001	0,99733	2,86	2,32
0,60	0,2	3	0,99522	0,99835	0,98381	0,99562	3,38	2,66
0,80	0,2	4	0,99263	0,99724	0,96626	0,99062	4,58	3,40
1,00	0,2	5	0,99025	0,99608	0,94196	0,98342	6,0	4,23
1,25	0,2	6,25	0,98771	0,99465	0,90308	0,97139	7,9	5,3
1,50	0,2	7,5	0,98566	0,99331	0,85648	0,95621	10,0	6,6
1,75	0,2	8,75	0,98404	0,99210	0,80423	0,93829	12,3	7,8
2,00	0,2	10	0,98277	0,99101	0,74835	0,91807	14,6	9,1
3,00	0,2	15	0,97992	0,98771	0,52100	0,82319	23,9	14,4
4,00	0,2	20	0,97887	0,98561	0,33230	0,72291	31,6	19,3

$$\delta = (1 - K_\lambda^*(T,1,ПЗ))/(1 - K_\lambda^*(T,1)), \quad \delta_1 = (1 - K_\lambda(T,1,ПЗ))/(1 - K_\lambda(T,1))$$

Таблица П8.99. ПЭДЗ,  $L = 1$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,1)$	$K_{\lambda}(T,1)$	$K_{\lambda}^*(T,1,ПЗ)$	$K_{\lambda}(T,1,ПЗ)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,999995	0,999998	0,999896	0,999974	20,50	12,42
0,20	0,02	10	0,999961	0,999984	0,999222	0,999800	20,17	12,22
0,30	0,03	10	0,999876	0,999947	0,997540	0,999360	19,84	12,03
0,40	0,04	10	0,999720	0,999878	0,994539	0,998560	19,52	11,83
0,50	0,05	10	0,999479	0,999771	0,990006	0,997329	19,19	11,64
0,60	0,06	10	0,999142	0,999617	0,983813	0,995616	18,87	11,45
0,80	0,08	10	0,998148	0,999153	0,966258	0,990615	18,22	11,08
1,00	0,1	10	0,996700	0,998454	0,941960	0,983422	17,59	10,73
1,25	0,125	10	0,994235	0,997221	0,903084	0,971387	16,81	10,30
1,50	0,15	10	0,991060	0,995570	0,856483	0,956213	16,05	9,88
1,75	0,175	10	0,987218	0,993498	0,804229	0,938288	15,32	9,49
2,00	0,2	10	0,982767	0,991011	0,748351	0,918066	14,60	9,11

$$\delta = (1 - K_{\lambda}^*(T,1, ПЗ))/(1 - K_{\lambda}^*(T,1)), \delta_1 = (1 - K_{\lambda}(T,1,ПЗ))/(1 - K_{\lambda}(T,1))$$

Таблица П8.100. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 221. Показатели готовности

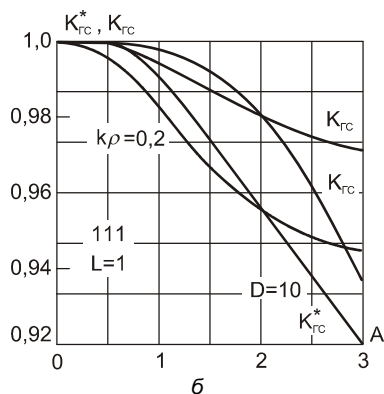
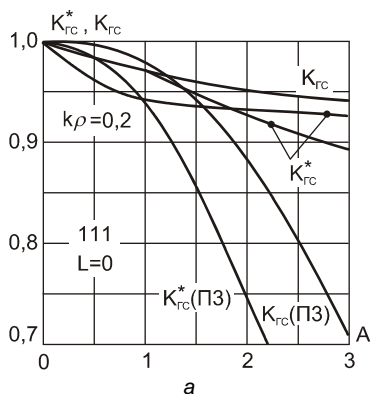
$A$	$k_p$	$D$	$K_{\lambda}^*(T,2)$	$K_{\lambda}(T,2)$	$K_{\lambda}^*(T,2,ПЗ)$	$K_{\lambda}(T,2,ПЗ)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	0,999974	0,999994	0,999962	0,999992	1,46	1,37
0,20	0,01	20	0,999895	0,999976	0,999819	0,999962	1,73	1,58
0,30	0,01	30	0,999738	0,999938	0,999469	0,999888	2,03	1,80
0,40	0,01	40	0,999487	0,999875	0,998793	0,999743	2,36	2,05
0,50	0,01	50	0,999142	0,999783	0,997671	0,999498	2,71	2,31
0,60	0,01	60	0,998186	0,999510	0,993619	0,998591	3,52	2,87
0,80	0,01	80	0,996951	0,999125	0,986482	0,996940	4,43	3,50
1,00	0,01	100	0,995167	0,998515	0,972315	0,993535	5,73	4,35
1,25	0,01	125	0,993273	0,997800	0,951756	0,988376	7,17	5,28
1,50	0,01	150	0,991395	0,997018	0,924747	0,981290	8,75	6,27
1,75	0,01	175	0,989616	0,996203	0,891700	0,972216	10,43	7,32
2,00	0,01	200	0,984097	0,993012	0,716616	0,917650	17,82	11,8

$$\delta = (1 - K_{\lambda}^*(T,2, ПЗ))/(1 - K_{\lambda}^*(T,2)), \delta_1 = (1 - K_{\lambda}(T,2,ПЗ))/(1 - K_{\lambda}(T,2))$$

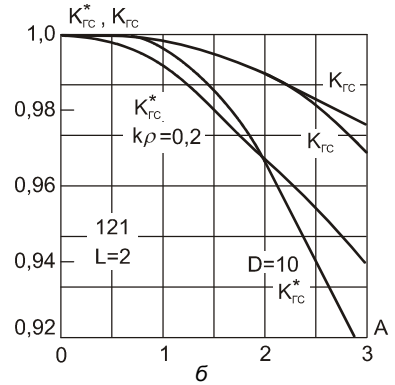
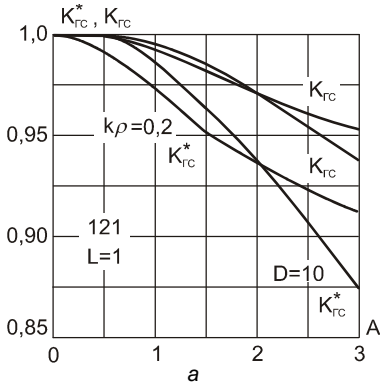
Таблица П8.101. ПЭДЗ,  $L = 2$ . Стратегия 221. Показатели готовности

$A$	$k\rho$	$D$	$K_{\Sigma}^*(T,2)$	$K_{\Sigma}(T,2)$	$K_{\Sigma}^*(T,2,П3)$	$K_{\Sigma}(T,2,П3)$	$\delta$	$\delta_1$
0,10	0,01	10	1,000000	1,000000	0,999997	0,999999	12,52	8,91
0,20	0,02	10	0,999997	0,999999	0,999962	0,999992	12,42	8,82
0,30	0,03	10	0,999985	0,999996	0,999819	0,999962	12,32	8,73
0,40	0,04	10	0,999956	0,999987	0,999469	0,999888	12,21	8,65
0,50	0,05	10	0,999900	0,999970	0,998793	0,999743	12,10	8,56
0,60	0,06	10	0,999806	0,999941	0,997671	0,999498	12,00	8,47
0,80	0,08	10	0,999458	0,999830	0,993619	0,998591	11,78	8,30
1,00	0,1	10	0,998831	0,999624	0,986482	0,996940	11,56	8,13
1,25	0,125	10	0,997546	0,999184	0,972315	0,993535	11,28	7,93
1,50	0,15	10	0,995614	0,998494	0,951756	0,988376	11,00	7,72
1,75	0,175	10	0,992977	0,997511	0,924747	0,981290	10,72	7,52
2,00	0,2	10	0,989616	0,996203	0,891700	0,972216	10,43	7,32
3,00	0,3	10	0,969487	0,987449	0,716616	0,917650	9,29	6,56
4,00	0,4	10	0,941467	0,973257	0,520696	0,842740	8,19	5,88

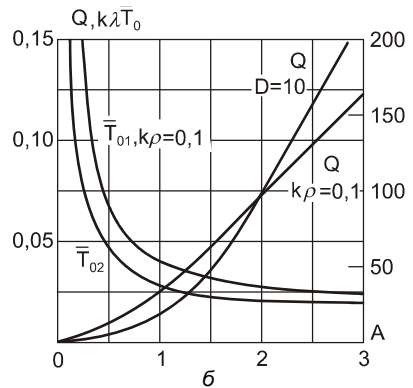
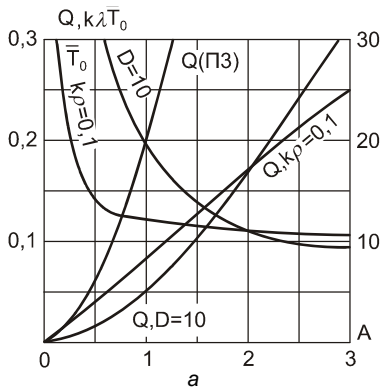
$$\delta = (1 - K_{\Sigma}^*(T,2, П3))/(1 - K_{\Sigma}^*(T,2)), \delta_1 = (1 - K_{\Sigma}(T,2,П3))/(1 - K_{\Sigma}(T,2))$$



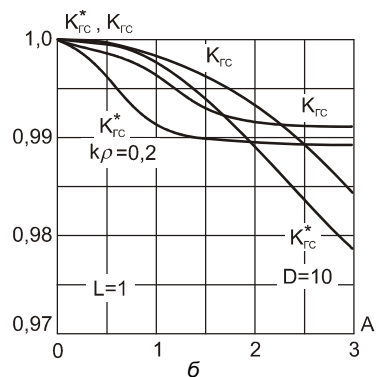
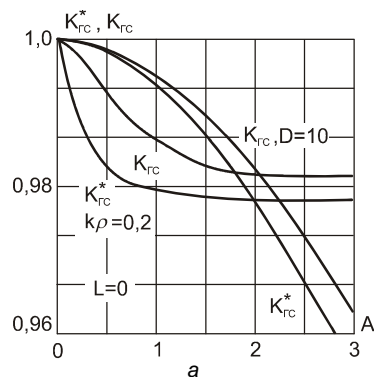
**Рис. П8.9.** Зависимость показателей готовности мажорированной системы при стратегии пополнения 111 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭДЗ)



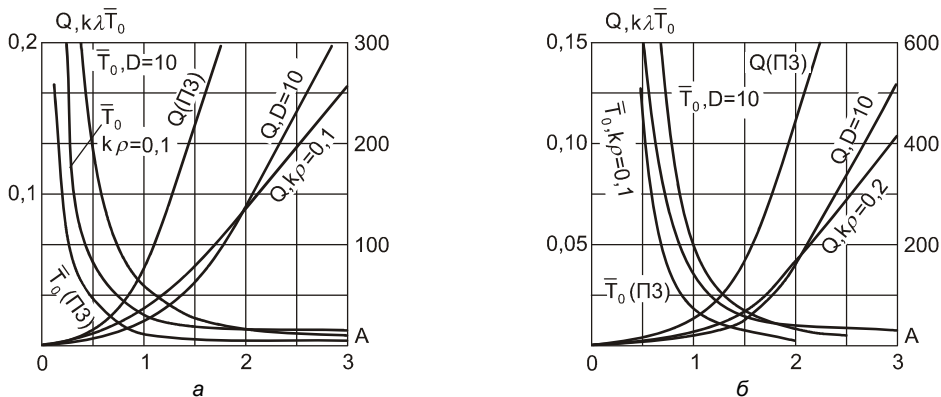
**Рис. П8.10.** Зависимость показателей готовности мажорированной системы при стратегии пополнения 121 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 1$ ; б —  $L = 2$  (модель ПЭДЗ)



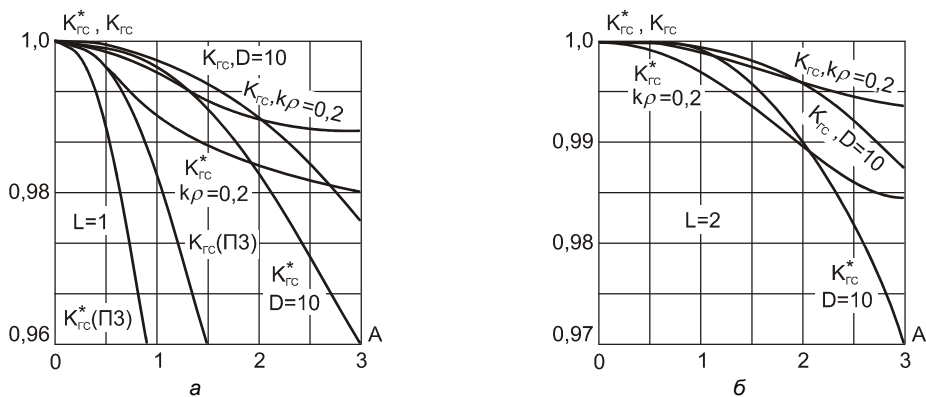
**Рис. П8.11.** Зависимость показателей безотказности мажорированной системы при стратегии пополнения 211 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭДЗ)



**Рис. П8.12.** Зависимость показателей готовности мажорированной системы при стратегии пополнения 211 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 0$ ; б —  $L = 1$  (модель ПЭДЗ)



**Рис. П8.13.** Зависимость показателей безотказности мажорированной системы при стратегии пополнения 221 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 1$ ; б —  $L = 2$  (модель ПЭДЗ)



**Рис. П8.14.** Зависимость показателей готовности мажорированной системы при стратегии пополнения 221 от периода пополнения запасов при неизменном среднем времени ЭД ( $k\rho = 0,2$ ) и при постоянном соотношении ( $D = 10$ ) между периодом пополнения и средним временем ЭД: а —  $L = 1$ ; б —  $L = 2$  (модель ПЭДЗ)

Из данных табл. П8.72–П8.101 и рис. П8.9–П8.14 следует:

- применение экстренных доставок в мажорированной системе даже при отсутствии запасных частей в комплекте ЗИП существенно увеличивает показатели готовности системы. Так при стратегии пополнения 111,  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$  коэффициент готовности по наихудшему циклу увеличивается от 0,80449 до 0,94414, а средний коэффициент готовности — от 0,92538 до 0,97098. При  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$  эти же показатели изменяются от 0,52012 до 0,92876 и от 0,79224 до 0,95261. Здесь рост  $A$  достигается за счет увеличения периода пополнения при неизменном значении среднего времени экстренной доставки;
- если при увеличении  $A$  пропорции между периодом пополнения и средним временем ЭД сохраняются (значение  $D$  постоянно), то различия между показателями готовности не столь заметны. Так при  $A = 1$ ,  $k\rho = 0,1$  и  $D = 10$  коэффициент готовности по наихудшему

циклу увеличивается от 0,80449 до 0,96967, а средний коэффициент готовности — от 0,92538 до 0,98277. При  $A = 2$   $k\rho = 0,2$  и  $D = 10$  эти же показатели изменяются от 0,52012 до 0,92876 и от 0,79224 до 0,95261;

- при наличии одной запасной части и стратегии 111 введение ЭД также дает существенный прирост коэффициента готовности. Так при  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$  коэффициент готовности по наихудшему циклу увеличивается от 0,94196 до 0,98197, а при  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$  — от 0,74835 до 0,95629. Средний коэффициент готовности увеличивается от 0,98342 до 0,99365 при  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$  и от 0,91807 до 0,98092 при  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$ ;
- при использовании стратегии 111 расчет по формулам экспоненциальной модели дает всегда оценку сверху для точного значения коэффициента готовности, а по формулам модели медленного движения — знакопеременную оценку. Причем относительная погрешность по коэффициенту неготовности в первом случае достигает 20–40 %, а во втором случае не более 20 % при значениях коэффициента готовности не более 0,99 (при  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$ : 35,7 % и –4,75 %, а при  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$ : 39 % и 2,4 %).
- переход при восстановлении от полной ЭД (стратегия 111) к одиночной ЭД (стратегия 121) приводит к снижению коэффициента готовности. Но снижение становится заметным только при больших запасах и низкой надежности исходной системы. При  $L = 1$ ,  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$  коэффициент готовности снижается от 0,97378 до 0,97042, а при  $L = 1$ ,  $A = 4$  и  $k\rho = 0,2$  — от 0,96372 до 0,94258. При двух запасных частях снижение составляет: от 0,9933 до 0,99004 и от 0,9770 до 0,9642;
- при стратегии 211 введение экстренных доставок улучшает не только показатели готовности, но и показатели безотказности. При отсутствии запасных частей в комплекте ЗИП вероятность отказа уменьшается в несколько раз: при  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$  в 2,4 раза, а при  $A = 2$  и  $k\rho = 0,2$  в 2,8 раза. Средняя наработка до отказа увеличивается еще существенно: при  $A = 1$  и  $k\rho = 0,2$  в 16,8 раза, при  $A = 0,1$  и  $k\rho = 0,2$  в 7,8 раза, а при  $A = 0,1$  и  $k\rho = 0,01$  в 24,7 раза;
- при стратегии 211 введение экстренных доставок улучшает показатели готовности, уменьшая коэффициент неготовности в несколько раз, и даже в десятки раз. Так при  $A = 1$ ,  $D = 5$  и  $k\rho = 0,2$  коэффициент неготовности по наихудшему циклу уменьшается в 9,4 раза, а средний коэффициент неготовности — в 5,5 раза. При  $A = 2$ ,  $D = 10$  и  $k\rho = 0,2$  — в 22,1 и 11,8 раза соответственно, а при  $A = 4$ ,  $D = 20$  и  $k\rho = 0,2$  — в 38,1 и 22,6 раза;
- при стратегии 211 и одной запасной части расчет вероятности отказа по приближенной формуле (8.176) дает оценку сверху для основного диапазона значений вероятности отказа, причем с небольшой погрешностью для диапазона вероятностей 0,01–0,1. Среднее арифметическое оценок является оценкой снизу, и для нее погрешность больше, чем для верхней оценки первого типа. Поэтому следует отдавать предпочтение оценке (8.176) и рассчитанной на ее основе нижней оценке для средней наработки до отказа  $k\lambda T_{cp,2}(1)$ ;
- при стратегии 211 и одной запасной части приближенная оценка первого типа совпадает с точным значением коэффициента готовности. Оценка второго типа по формуле модели медленного движения (8.187) является оценкой снизу для коэффициента готовности и при больших  $A$  дает приемлемую погрешность: для коэффициента неготовности по наихудшему циклу до 10 %. Оценка по среднему коэффициенту неготовности также нижняя, а погрешность небольшая: от нескольких процентов до долей процента. При двух запасных частях погрешность существенно возрастает (до десятков и сотен процентов);



- переход от полной ЭД (стратегия 211) к одиночной ЭД (стратегия 221) ухудшает показатели безотказности. Но при небольшом количестве запасных частей это ухудшение не велико. Так при  $L = 1$ ,  $A = 1$  и  $k_p = 0,2$  вероятность отказа увеличивается от 0,02446 до 0,05804, а при  $L = 1$ ,  $A = 2$  и  $k_p = 0,2$  — от 0,07354 до 0,09507. При  $L = 2$ ,  $A = 2$  и  $k_p = 0,2$  вероятность отказа увеличивается от 0,03335 до 0,1083, а при  $L = 2$ ,  $A = 3$  и  $k_p = 0,2$  — от 0,068753 до 0,283384. Ухудшаются и значения коэффициента готовности. Так при  $L = 1$ ,  $A = 2$  и  $k_p = 0,2$  коэффициент готовности по наихудшему циклу уменьшается от 0,98876 до 0,98277, а средний коэффициент готовности — от 0,99192 до 0,99101, при  $L = 2$ ,  $A = 2$  и  $k_p = 0,2$ : от 0,99364 до 0,9896 и от 0,9973 до 0,9962 соответственно.