

Рис. 4. Структурная схема с поэлементным резервированием:
 1 – станок; 2 – накопитель инструментов;
 3 – режущий инструмент; 4 – устройство
 транспортировки режущего инструмента
 в рабочую зону

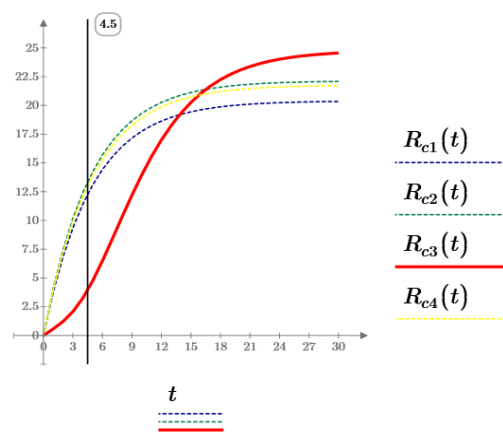


Рис. 5. График риска всей системы
 с резервированием каждого элемента
 в отдельности при $t = 0-30$ мин

Подводя итог, можем сделать следующий вывод: при общем резервировании элементов риск возникновения аварийной ситуации составляет $R_{c_0} = 2,985$, а при поэлементном резервировании $R_{c_3} = 3,963$. Как видно из полученных результатов расчета, в обоих случаях риск аварийной ситуации не превышает допустимый $[R_c] = 4,47$. Однако во втором случае оптимизация технологической системы будет наиболее эффективна и экономически выгодна, так как резервируется только режущий инструмент.

Литература

1. Михайлов, М. И. Надежность и диагностика технологических систем : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / М. И. Михайлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

С. И. Воробей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Постановка задачи. Произвести оптимизацию технологической системы состоящей из станка, накопителя инструмента, режущего инструмента и устройства его транспортировки из накопителя в рабочую зону при постоянном резервировании с восстановлением.

Исходные данные: среднее время безотказной работы: $T_1 = 1200$ мин; $T_2 = 2400$ мин; $T_3 = 12$ мин; $T_4 = 600$ мин; риск отказа: $r_1 = 120$; $r_2 = 12$; $r_3 = 12$; $r_4 = 24$; рассматриваем момент времени $t = 10,8$ мин.

Исходная структурная схема без резервирования изображена на рис. 1.



Рис. 1. Исходная структурная схема без резервирования:
1 – станок; 2 – накопитель инструментов; 3 – режущий инструмент;
4 – устройство транспортировки режущего инструмента в рабочую зону

Все расчеты будем выполнять в Mathcad Prime 6.0.

Расчет без резервирования элементов. Расчет начинаем с нахождения интенсивности отказа, вероятности безотказности и вероятности отказа для каждого элемента, используя для нахождения формулы (1)–(3):

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}; \quad (1)$$

$$P_i = e^{-\lambda_i t}; \quad (2)$$

$$Q_i = 1 - P_i. \quad (3)$$

Для нахождения риска отказа всей системы воспользуемся формулой (4), подставив в нее исходные данные риска отказа r_i , полученные результаты вероятности безотказности P_i и производную вероятности отказа Q_i' .

Риск отказа всей системы:

$$R_c = r_1 \int_0^t Q_1'(t) P_2(t) P_3(t) P_4(t) dt + r_2 \int_0^t Q_2'(t) P_1(t) P_3(t) P_4(t) dt + r_3 \int_0^t Q_3'(t) P_1(t) P_2(t) P_4(t) dt + r_4 \int_0^t Q_4'(t) P_1(t) P_2(t) P_3(t) dt. \quad (4)$$

Далее определяем предельно допустимое значение риска возникновения аварийной ситуации, подставив результаты расчета риска отказа всей системы R_c в формулу (5):

$$[R_c] = \frac{R_c}{3}. \quad (5)$$

Все полученные результаты вносим в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов без резервирования

Номер расчета	T_i	r_i	λ_i	λ_c	P_i	P_c	Q_i	Q_c	R_c	$[R_c]$
1	1200	120	0,00083	0,101	0,991	0,335	0,009	0,665	9,884	3,295
2	2400	12	0,00041		0,996		0,004			
3	12	12	0,083		0,407		0,593			
4	600	24	0,0016		0,835		0,165			

После полученных результатов без резервирования элементов (табл. 1) выполним расчет с общим и поэлементным резервированием элементов.

Расчет с общим резервированием элементов. Расчет начинаем с нахождения интенсивности восстановления, вероятности безотказности и вероятности отказа каждого элемента, подставив полученные значения (табл. 1) в формулы (6)–(8).

Интенсивность восстановления:

$$\mu_i = \frac{1}{T_{B_i}}. \quad (6)$$

Вероятность безотказности каждого элемента:

$$P_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{-(\lambda_i + \mu_i)t}. \quad (7)$$

Вероятность отказа каждого элемента:

$$Q_i = 1 - P_i. \quad (8)$$

Для нахождения риска системы воспользуемся формулой (9):

$$R_1 = r_1 \int_0^t Q_1'(t) P_2(t) P_3(t) P_4(t) dt + r_2 \int_0^t Q_2'(t) P_1(t) P_3(t) P_4(t) dt + \\ + r_3 \int_0^t Q_3'(t) P_1(t) P_2(t) P_4(t) dt + r_4 \int_0^t Q_4'(t) P_1(t) P_2(t) P_3(t) dt. \quad (9)$$

Определим время на замещение всей системы, подставив полученные значения в формулу (10):

$$B_3 = \mu_c + (3\lambda_c); \quad (10)$$

$$z_i = \frac{-B_3 \pm \sqrt{B_3^2 - 8\lambda_c^2}}{2}.$$

Определим вероятность безотказности системы, вероятность отказа системы и риск системы по формулам (11)–(13).

Вероятность безотказности системы:

$$P_c = \frac{z_i + B_3}{z_i - z_{i+1}} e^{z_i t} - \frac{z_{i+1} + B_3}{z_i - z_{i+1}} e^{z_{i+1} t}. \quad (11)$$

Вероятность отказа системы:

$$F_c = 1 - P_c. \quad (12)$$

Риск системы:

$$R_c = R_1 F_c. \quad (13)$$

Далее выполняем проверку.

По условию риск системы должен быть меньше предельно допустимого значения риска возникновения аварийной ситуации:

$$R_c = 2,992 < [R_c] = 3,295.$$

В нашем случае условие выполняется. Если условие не выполняется, то необходимо увеличить количество резервных подсистем.

Все полученные результаты вносим в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов с общим резервированием

Номер расчета	μ_i	μ_c	λ_i	λ_c	P_i	Q_i	R_1	B_3	P_c	F_c	R_c	$[R_c]$
1	0,001	0,03	0,0008	0,101	0,991	0,009	7,167	0,334	0,583	0,41	2,992	3,295
2	0,0005		0,0004		0,996	0,004						
3	0,1		0,083		0,407	0,593						
4	0,02		0,0016		0,835	0,165						

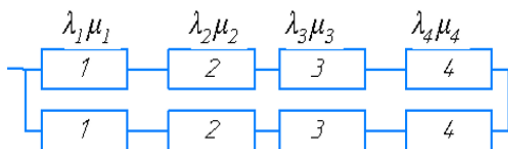


Рис. 2. Структурная схема с поэлементным резервированием:

1 – станок; 2 – накопитель инструментов;
3 – режущий инструмент; 4 – устройство транспортировки режущего инструмента в рабочую зону

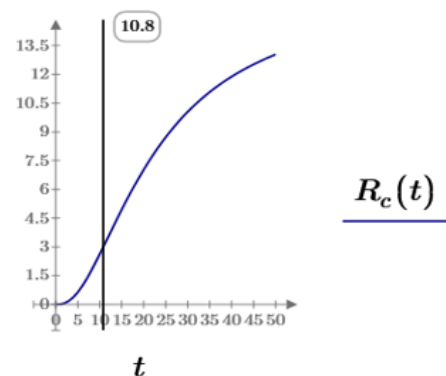


Рис. 3. График риска всей системы с общим резервированием при $t = 0-40$ мин

Расчет с поэлементным резервированием. Расчет начинаем с нахождения времени на замещение каждого элемента по формуле (14):

$$B_{zi} = \mu_c + (3\lambda_c); \quad (14)$$

$$z_{i,j} = \frac{-B_{zi} \pm \sqrt{B_{zi}^2 - 8\lambda_i^2}}{2}.$$

Определим вероятность безотказности каждого элемента, всей системы и вероятность отказа каждого элемента по формулам (15)–(17):

$$P_i = \frac{z_{i,j} + B_{zi}}{z_{i,j} - z_{i,j+1}} e^{z_{i,j}t} - \frac{z_{i,j+1} + B_{zi}}{z_{i,j} - z_{i,j+1}} e^{z_{i,j+1}t}; \quad (15)$$

$$P_c = \prod P_i; \quad (16)$$

$$Q_i = 1 - P_i. \quad (17)$$

Для нахождения риска отказа всей системы воспользуемся формулой (18), подставив в нее исходные данные риска отказа r_i , полученные результаты вероятности безотказности P_i и производную вероятности отказа Q'_i .

Риск отказа всей системы:

$$R_c = r_1 \int_0^t Q'_1(t) P_2(t) P_3(t) P_4(t) dt + r_2 \int_0^t Q'_2(t) P_1(t) P_3(t) P_4(t) dt + r_3 \int_0^t Q'_3(t) P_1(t) P_2(t) P_4(t) dt + r_4 \int_0^t Q'_4(t) P_1(t) P_2(t) P_3(t) dt. \quad (18)$$

Далее выполняем проверку.

По условию риск системы должен быть меньше предельно допустимого значения риска возникновения аварийной ситуации:

$$R_c = 0,997 < [R_c] = 3,295.$$

В нашем случае условие выполняется.

Все полученные результаты вносим в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов резервирования каждого элемента в отдельности

Номер расчета	μ_i	μ_c	λ_i	λ_c	P_i	Q_i	P_c	B_{zi}	R_c	$[R_c]$
1	0,001	0,03	0,00083	0,101	1	0,009	0,694	0,004	0,997	3,295
2	0,0005		0,00041		0,99	0,004		0,002		
3	0,1		0,083		0,712	0,593		0,35		
4	0,02		0,0016		0,975	0,165		0,07		

На рис. 4 представлена структурная схема с поэлементным резервированием, а на рис. 5 – график риска всей системы.

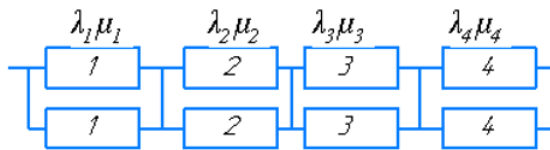


Рис. 4. Структурная схема с поэлементным резервированием:

1 – станок; 2 – накопитель инструментов; 3 – режущий инструмент; 4 – устройство транспортировки режущего инструмента в рабочую зону

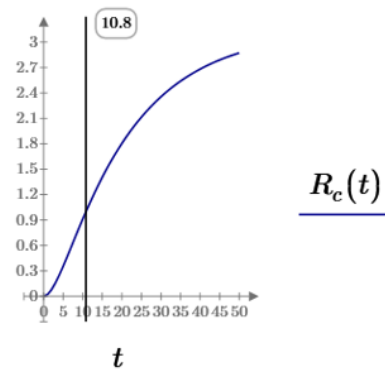


Рис. 5. График риска всей системы с резервированием каждого элемента в отдельности при $t = 0-50$ мин

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующий вывод: при общем резервировании элементов риск возникновения аварийной ситуации составляет $R_c = 2,992$, а при поэлементном резервировании $R_c = 0,997$. Как видно из полученных результатов расчета, в обоих случаях риск аварийной ситуации не превышает допустимый $[R_c] = 3,295$. Однако во втором случае оптимизация технологической системы будет наиболее эффективна, так как риск возникновения аварийной ситуации при равном количестве резервных элементов меньше.

Литература

1. Михайлов, М. И. Надежность и диагностика технологических систем : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / М. И. Михайлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ МАХОВИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРЕЗАНИЯ АБРАЗИВНО-ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ ЗАКАЛЕННЫХ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Д. В. Певнев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. А. Старовойтов

Принцип работы маховика. Кинетическая механическая энергия передается на маховик и обратно при помощи ротора электродвигателя, который также способен преобразовывать кинетическую механическую энергию обратно в электрическую.

Маховик работает в двух режимах: в режиме запасания энергии и режиме отдачи. При работе в режиме запасания энергии подводимая энергия создает вращающий мо-