



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые
процессы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по выполнению
расчетных работ и домашних заданий

«Надежность гидромашин, гидроприводов и средств ГПА»

Составитель
Антоненко В.И.

Ростов-на-Дону, 2013



Аннотация

Методические указания к практическим занятиям по выполнению расчетных работ домашних заданий по курсу «Надежность гидромашин, гидроприводов и средств ГПА» и «Надежность и эксплуатация ГМ, СГПП с средств ГПА» содержат домашние задания, методику выполнения, примеры решения задач и предназначены для студентов по направлению 141100 Энергетическое машиностроение профиль "Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника" и по направлению 151000 Технологические машины и оборудование программа Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника

Составитель

Антоненко В.И., к.т.н., доцент.





Оглавление

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ	5
2.1 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	5
2.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	8
3. ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ.	15
3.1 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 1...15	
3.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 2...18	
ЛИТЕРАТУРА.....	20



1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Изучение курса «Надежность гидромашин, гидроприводов и средств ГПА» и «Надежность и эксплуатация ГМ, СГПП с средств ГПА» является частью общеинженерной подготовки студентов по направлению 141100 Энергетическое машиностроение профиль «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника» и по направлению 151000 Технологические машины и оборудование программа «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника»

В процессе изучения курса студенты выполняют расчетные работы и домашние задания. Цель выполнения заданий: научиться производить определение основных показателей надежности элементов и систем для различных законов распределения (д.з.1), расчет показателей надежности преобразованием структурных схем в эквивалентные ей по надёжности с помощью метода минимальных путей и сечений (д.з.2)

Математическим аппаратом для решения перечисленных задач является: теория вероятности, математическая статистика, математическая логика (булева алгебра). Поэтому перед началом изучения рассматриваемого курса важно восстановить в памяти основные понятия, определения, законы и формулы, относящиеся к этим разделам.



2. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

2.1 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ТЕМА: Расчёт единичных и комплексных показателей надёжности гидромашин, гидроприводов и средств ГПА для различных законов распределения, характеризующих непрерывные случайные величины.

ЗАДАНИЕ. Определить основные показатели надежности в соответствии с условиями задач 1-4. Исходные данные по вариантам представлены в таблице 1.

Задача 1. Определить среднюю наработку T_{cp} и интенсивность отказов $\lambda(t)$ для ГПС, время безотказной работы которой подчиняется закону Вейбулла с параметрами δ ; λ за время работы t . Привести и охарактеризовать графики зависимостей основных показателей безотказной работы для рассматриваемого закона распределения вероятностей безотказной работы.

Задача 2 Определить комплексные показатели надежности, характеризующие безотказность и восстанавливаемость, функцию $G(t)$ и коэффициент готовности K_r ГПС, если известно, что интенсивность отказов системы λ а среднее время восстановления t_b . Привести и охарактеризовать график функции готовности $G(t)$ для рассматриваемого случая.

Задача 3. Нарботка водяной помпы системы охлаждения автомобиля до отказа описывается экспоненциальным распределением с параметром λ . *Определить* основные показатели надежности безотказной работы ГПС [вероятность безотказной работы $p(t)$ и плотность распределения наработки на отказ $\omega(t)$] за время работы t , а также среднюю наработку T_{cp} . *Для какого периода «жизненного цикла» систем характерен экспоненциальный закон распределения вероятностей безотказной работы.* Привести и охарактеризовать графики зависимостей основных показателей безотказной работы для рассматриваемого закона распределения вероятностей безотказной работы.

Задача 4. Нарботка до отказа для ГПС со «старееющими» элементами подчинена усеченному нормальному закону с параметрами T_{cp} , σ_T . Введя нормирующий множитель, для сохранения условия нормирования плотности распределения, *определить* основные показатели надежности безотказной работы



Гидравлика

ГПС [плотность распределения наработки до отказа $\omega(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$, среднее время безотказной работы $(T_{cp})_{yc}$] за время t . Привести и охарактеризовать графики зависимостей основных показателей безотказной работы для рассматриваемого закона распределения вероятностей безотказной работы



Гидравлика

Таблица1. Варианты заданий и сходные данные к задачам

№ вариантов	Задача 1			За- дача 2		3 адача 3		Задача 4		
	δ	λ 10^{-4} 1/ч	t час	λ 10^{-3} 1/ч	t_b час	λ 10^{-4} 1/ч	t 10^3 час	T_{cp} 10^3 час	σ_T 10^3 час	t 10^3 час
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,31,61	1,0	1,1	200	10	39	1,5	2	8	1	6
2,32,62,92	2,0	2	50	25	90	1,8	1	9	2	5
3,33,63,93	1,4	1	110	12	68	2,4	3	10	1,5	4
4,34,64,94	1,5	3	100	1	76	1	2	11	1,8	7
5,35,65,95	2,0	1,5	150	14	9	1,1	1	8	1,3	3
6,36,66,96	1,8	1,4	80	16	12	1,5	1,4	7	2	4
7,37,7,97	1,0	1,1	70	6	58	1,8	1,5	10	1,4	5
8,38,68,98	2,0	2	60	12	8	2,4	1,8	9	1,8	5
9,39,69,99	1,9	1	100	10	83	1	1,2	8	1,6	4
10,40,70.	1,7	3	200	2	9	1,1	2	7	1,2	3
11,41,71	2,4	1,4	50	10	7	1,5	1,4	10	1,3	6
12,42,72	1,8	2	110	4	11	1,8	1	12	1,7	5
13,43,73	1,1	1,5	100	20	9	2,4	1,2	8	2,1	4
14,44,74	1,9	2	150	25	12	1	1,5	9	2,2	5
15,45,75	1,7	1	80	6	8	1,1	1,4	11	2,3	6
16,46,76	1,5	3	100	5	52	1,4	1,8	11	1,3	3
17,47,77	1,3	1,4	70	4	12	1,5	3	7	1,4	5
18,48,78	1,4	1,5	60	10	20	1,8	1,5	8	1,8	4
19,49,79	1,6	1,1	200	3	9	2,4	1,4	6	1,2	3
20,50,80	1,8	2	50	5	4	1	1,2	10	3	6
21,51,81	1,2	1,6	100	0	10	1,1	2	12	1,3	7
22,52,82	1,1	1	110	2	7	1,4	1,5	8	1,4	3
23,53,83	1,3	1,4	150	40	20	1,7	1,8	11	1,8	5
24,54,84	1,5	3	80	3	15	1,9	1,9	10	2	7
25,55,85	1,4	1,5	70	4	8	1,5	1,6	9	1,5	4
26,56,86	1,6	2	60	6	6	1,8	1,4	7	1,5	4
27,57,87	1,2	1	200	25	9	2,4	1	9	2,5	6
28,58,88	1,1	1,1	100	2,5	13	1	1,2	11	2,5	5
29,59,89	1,2	1,4	50	4	11	1,5	1,5	12	3	6
30,91,00	1,1	2	110	10	25	1,8	1,9	8	1,3	3



2.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ТЕМА: Расчёт надёжности невосстанавливаемых сложных систем с использованием структурных схем надёжности (ССН) методом минимальных путей и сечений.

ЗАДАНИЕ. Система описывается структурной схемой надёжности (ССН), представленной на рисунке 1. Элементы системы характеризуются следующими показателями надёжности:

- интенсивность отказов $\lambda_i, \text{ч}^{-1}$;
- оперативное время восстановления $t_{оп}, \text{ч}$.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Необходимо, используя метод минимальных путей и сечений рассчитать следующие показатели надёжности невосстанавливаемой системы:

- вероятность безотказной работы $P_C(t)$;
- среднюю наработку до отказа $T_{CP.C}$;
- интенсивность отказов $\lambda_C(t)$.

Таблица 2- Варианты заданий и исходные данные

№в.	№сх	$t_{оп}, \text{ч}$	$\lambda_1 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_2 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_3 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_4 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_5 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_6 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_7 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_8 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_9 \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	$\lambda_{10} \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,27,53,79	1	600	1	-	4	1	1,5	2,5	2	4	4,5	1
2,28,54,80	2	610	2	2,5	3	-	5	4	2,5	1,5	1	1
3,29,55,81	3	620	3	1	1	2,5	3	3	5	2,5	1-	2,5
4,30,56,82	4	630	4	2,5	2,5	1	1,5	1,5	3	-	2,5	3
5,31,57,83	5	640	5	1,5	2	3	1,5	-	2,5	1	2	4
6,32,58,84	6	650	1,5	1	2	3	2,5	3	3	2,5	-	1,5
7,33,59,85	7	660	3	1,5	2,5	2	4	1	-	1	2	2,5



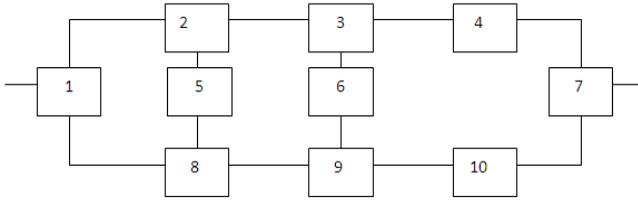
Гидравлика

8,34,60,86	8	670	6	1	1,5	2	-	1	4	2,5	3	-
9,35,61,..	9	680	2,5	2	4	-	1,5	2	5	3	1,5	2,5
10,36,62	10	690	4	1,5	2	5	3	4	-	2,5	2	-
11,37,63	11	700	2	3	5	1,5	1	1	5	2	2,5	-
12,38,64	12	710	-	1,5	2	1	4	2	3	1	5	1,5
13,39,65	13	720	3,5	2	3	1,5	2	1,5	2,5	3	1	-
14,40,66	14	730	6,5	2,5	4	2	1,5	1	22	4	2	2
15,41,67	15	740	3,5	1	1,5	5	4	2,5	3	1	5	4
16,42,...	16	750	2	1,5	3	2	1	5	2,5	3,5	2	3
17,43	17	760	6	4	1	5	3	3	1	4	1,5	1
18,44	18	770	4	1,5	2	3	1	2	1,5	3	2,5	2
19,45	19	780	3,5	4	1,5	1	2,5	4	1,5	1	2,5	3,5
20,46	20	790	1,5	2	1	5	2,5	1	5	2	3	1
21,47	21	800	4	1,5	2,5	2	4	3,5	2	1,5	1	-
22,47	22	810	2	3	1	1,5	1,5	2	1,5	4	3	2,5
23,49	23	820	1	5	2	4	1,5	3	1	2,5	2	-
24,50	24	830	3,5	1,5	1	3	2	2,5	2	5	1,5	1
25,51	25	840	2,5	2	5	1,5	1	2	4	2	1,5	3
26,52,78	26	850	1	1,5	3	2	4	2,5	5	3	1	2,5

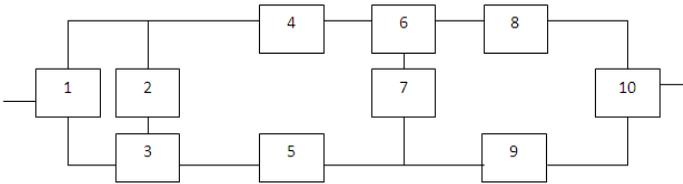


Гидравлика

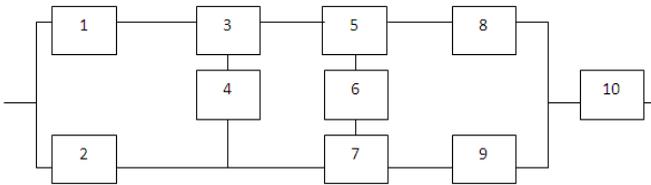
1)



2)



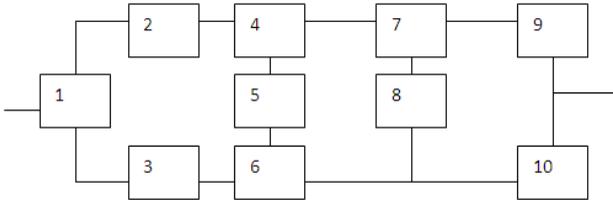
3)



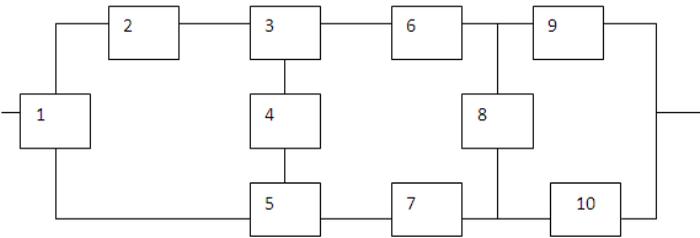


Гидравлика

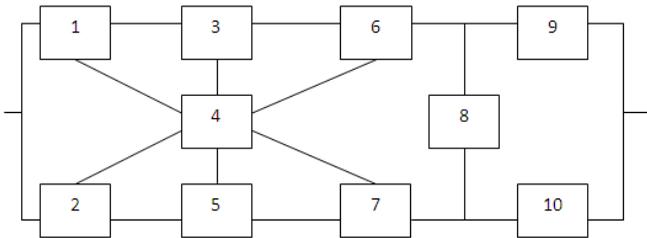
4)



5)



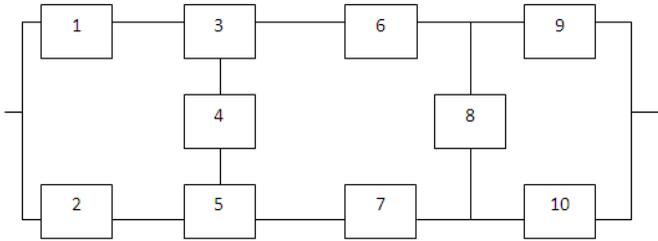
6)



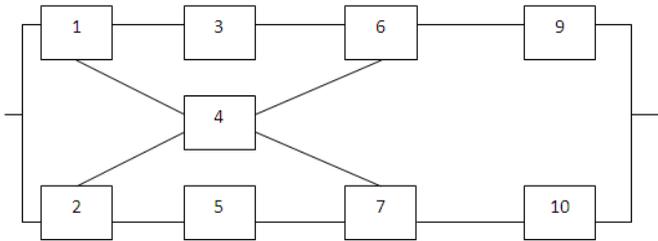


Гидравлика

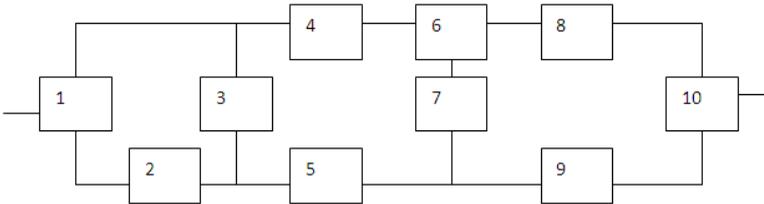
7)



8)



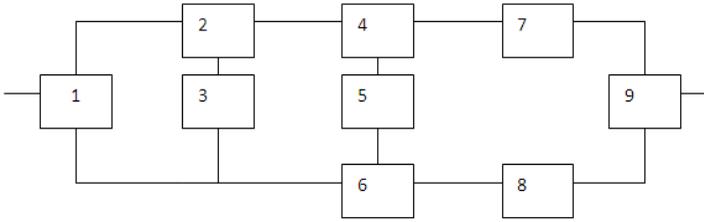
9)



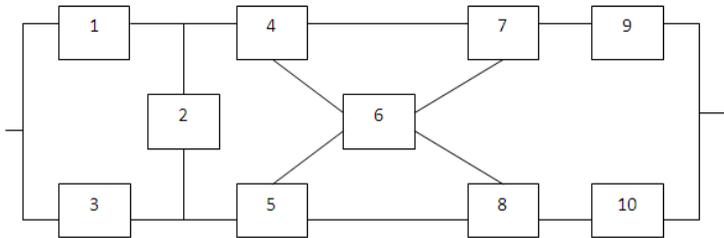


Гидравлика

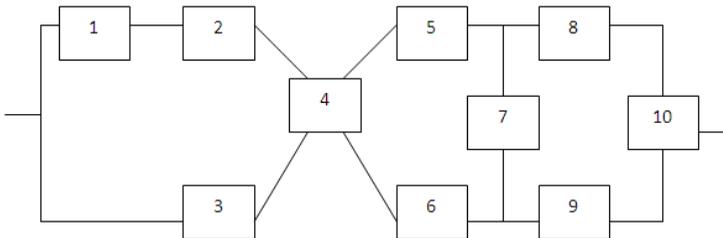
10)



11)



12)





13)

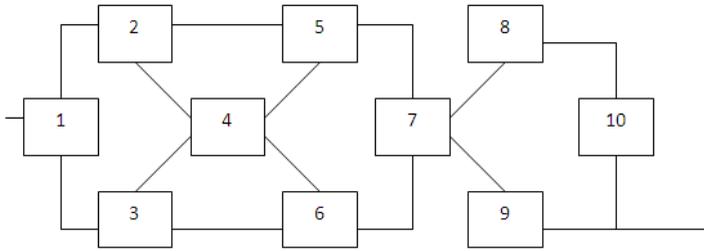


Рисунок 1 - Варианты структурных схем надежности



3. ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ.

3.1 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 1

ТЕМА: Расчёт единичных и комплексных показателей надёжности гидро- и пневмосистем для различных законов распределения, характеризующих непрерывные случайные величины.

Задача 1 Определить среднюю наработку T_{cp} и интенсивность отказов $\lambda(t)$ для ТС, время безотказной работы которой подчиняется закону Вейбулла с параметрами $\delta=1,5$; $\lambda=10^{-4}$ 1/ч за время работы $t=100$ ч.

Решение.

Для определения значения T_{cp} воспользуемся выражением для распределения Вейбулла:

$$T_{cp} = \left[\frac{\Gamma(1 + 1/\delta)}{\delta} \right] \lambda^{-1/\delta} = \left[\frac{\Gamma(1 + 1/1,5)}{1,5} \right] (10^{-4})^{-0,67} * \Gamma(1,67)$$

Найдя по таблицам значение гамма-функции $\Gamma(1,67)=0,9033$ и произведя несложные вычисления, получим: $T_{cp}=418$ ч.

Подставляя в формулу интенсивности отказов для распределения

Вейбулла параметры распределения δ и λ , определим интенсивность отказов ТС за время $t=100$ ч:

$$\lambda(t) = \lambda * \delta * t^{\delta-1}$$

$$\lambda(100) = \lambda * \delta * (100)^{\delta-1} = 1,5 * 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

Задача 2 Определить комплексные показатели надёжности, характеризующие безотказность и восстанавливаемость, функцию и коэффициент готовности гидropневмосистемы, если известно, что интенсивность отказов системы $\lambda = 0,02$ 1/ч=const а среднее время восстановления $t_b=10$ ч.

Решение.

Для данной ТС средняя наработка на отказ определяется по формуле:



Гидравлика

$$T_{cp} = 1/\lambda = 50 \text{ часов}$$

Тогда коэффициент готовности согласно будет равен:

$$K_r = T_{cp} / (T_{cp} + t_B) = 50 / (50 + 10) = 0,83$$

Функцию готовности легко вычислить по формуле :

$$G(t) = p_r(t) = K_r + (1 - K_r) e^{-t/(K_r \cdot t_B)} = 0,08 - 0,17e^{-0,12t}$$

Задача 3 Наробotka водяной помпы системы охлаждения автомобиля до отказа описывается экспоненциальным распределением с параметром $\lambda = 10^{-4}$ 1/ч. *Определить $p(t)$ и $\omega(t)$ системы за время работы $t = 2000$ ч, а также среднюю наработку T_{cp} .*

Решение.

Вероятность безотказной работы для экспоненциального распределения характеризуется зависимостью $p(t) = e^{-\lambda t}$, при $t \geq 0$; $\lambda > 0$

В соответствии с этим получаем:

$$p(2000) = e^{-(10^{-4} \cdot 2000)} = 0,819$$

Плотность распределения наработки на отказ для экспоненциального распределения соответственно равна $\omega(t) = -p'(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

В этом случае имеем:

$$\omega(t) = \lambda e^{-\lambda t} = 10^{-4} \cdot e^{-(10^{-4} \cdot 2000)} = 8,19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Среднее время безотказной работы - T_{cp} при экспоненциальном законе распределения равно величине, обратной интенсивности отказов - $1/\lambda$, т.е.:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda$$

На основании этого средняя наработка на отказ:

$$T_{cp} = 1/\lambda = 10^4 \text{ ч.}$$

Задача 4 Наробotka ТС до отказа подчинена усеченному нормальному закону с параметрами $T_{cp} = 8000$ ч, $\sigma_T = 2000$ ч. *Определить основные ПН безотказной работы ТС за $t = 4000$ ч.*

Решение.

В модели усеченного нормального распределения функция



Гидравлика

надежности

$$p(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau = (1 - F((t - T_{\text{ср}})/\sigma_T)) / (F(T_{\text{ср}}/\sigma_T)) = [1 - F(-2)] / F(4)$$

По таблицам из справочника по математике находим значения функции $F(x)$ (интеграл Лапласа):

$$\begin{aligned} F(2) &= 0,97725; \\ F(4) &= 1; \end{aligned}$$

$$p(4000) = (1 - 0,97725) / 1 = 0,2275$$

плотность распределения наработки на отказ равна

$$\omega(t) = 1 / [F(T_{\text{ср}}/\sigma_T) \sigma_T \sqrt{2\pi}] * e^{-(t - T_{\text{ср}})/\sigma_T}$$

$$\text{Т.к. } F(T_{\text{ср}}/\sigma_T) = F(4) = 1, \text{ то}$$

$$\omega(t) = \varphi(x) / \sigma_T \quad \varphi(x) = 1 / (\sqrt{2\pi}) * \exp(-x^2/2)$$

Значение функции $\varphi(x)$ находим по таблицам из справочника. В нашем случае: $x =$

$$\omega(4000) = \varphi(-2) / 2000 = \varphi(2) / 2000 = 0,05399 / 2000 = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Интенсивность отказов $\lambda(T) =, T \geq 0$

$$\lambda(t) = \frac{\omega(t)}{p(t)} = \frac{2,7 * 10^{-5}}{0,2275} = 1,187 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$$

Средняя наработка на отказ при усеченном нормальном законе распределения:

$$(T_{\text{ср}})_{\text{с}} = T_{\text{ср}} + \frac{\sigma_T}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{F(T_{\text{ср}}/\sigma_T)} = 8000 + (2000 * e^{-8}) / [F(4) \sqrt{2\pi}] =$$



8000,26 час

3.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 2

ТЕМА: Расчёт надёжности невосстанавливаемых сложных систем с использованием структурных схем надёжности методом минимальных путей и сечений

Метод минимальных путей и сечений

В ряде случаев для анализа надёжности сложной системы бывает достаточно определить граничные оценки надёжности сверху и снизу.

При оценке вероятности безотказной работы сверху определяют минимальные наборы работоспособных элементов (путей), обеспечивающих работоспособное состояние системы. При формировании пути, считая, что все элементы находятся в неработоспособном состоянии, последовательным переводом элементов в работоспособное состояние производят подбор вариантов соединений элементов, обеспечивающих наличие цепи.

Набор элементов образует минимальный путь, если исключение любого элемента из набора приводит к отказу пути. Из этого вытекает, что в пределах одного пути элементы находятся в основном соединении, а сами пути включаются параллельно.

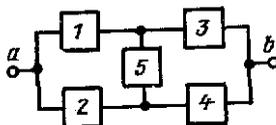


Рис. 3.1. Мостиковая схема соединения элементов

Так, для рассмотренной мостиковой схемы (см. рис. 3.1) набор минимальных путей представлен на рис. 3.2. Поскольку один и тот же элемент включается в два параллельных пути, то в результате расчета получается оценка безотказности сверху:

$$P_B = 1 - Q_{13}Q_{24}Q_{154}Q_{253} = 1 - (1 - p_2p_3)(1 - p_2p_4)(1 - p_1p_5p_4)(1 - p_2p_3p_3) = 0,997$$

При определении минимальных сечений осуществляется подбор минимального числа элементов, перевод которых из работоспособного состояния в неработоспособное вызывает отказ системы. При правильном подборе элементов сечения возвращение любого из элементов в работоспособное состояние восстанавливает работоспособное состояние системы. Поскольку отказ каждо-



Гидравлика

го из сечений вызывает отказ системы, то первые соединяются последовательно. В пределах каждого сечения элементы соединяются параллельно, так как для работы системы достаточно наличия работоспособного состояния любого из элементов сечения.

Схема минимальных сечений для мостиковой схемы приведена на рис. 3.3. Поскольку один и тот же элемент включается в два сечения, то полученная оценка является оценкой снизу:

$$P_H = p_{12}p_{34}p_{154}p_{253} = (1 - q_1q_2)(1 - q_3q_4)(1 - q_1q_5q_4)(1 - q_2q_5q_3) = 0,978$$

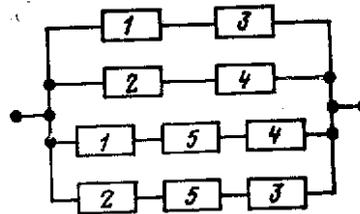


Рис. 3.2. Набор минимальных путей

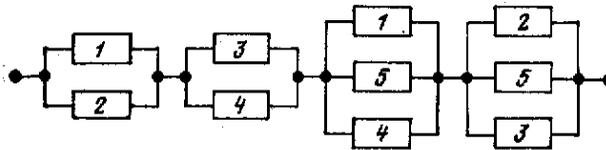


Рис. 3.3. Набор минимальных сечений

В рассматриваемом примере оценка безотказности снизу совпадает с фактической безотказностью, рассчитанной по первым двум методам.

Таким образом, при составлении минимальных путей и сечений любая система преобразуется в структуру с параллельно-последовательным или последовательно-параллельным соединением элементов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Надёжность изделий машиностроения. Тория и практика: Учебник для ву-зов \ В.М.Труханов. -М.: Машиностроение, 2006. –336 с.
2. Сырицин Т.А. Надежность и эксплуатация гидро- и пневмоприводов.-Учебник. М.: Машиностроение, 1990. 3. Сырицин Т.А. Надежность гидро- и пневмопривода. -Учебник. М.: Машиностроение, 1981.
3. Авдудевский В.С. и др. (ред.) Надежность и эффективность в технике. Том 01- 10. 1990.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. ГОСТ 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. - М.: Изд-во стандартов, 1986.
6. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2002
7. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. - М.: Высш. шк., 1992.
8. Надежность машин: Учебное пособие для машиностроител.вузов/Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова.-М.: Высш.шк.,1988.-238с.
9. Сборник задач по теории надежности / Под ред.А.П.Половко и И.М.Маликова. - М.: Сов. радио, 1972.
10. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. –М.: Радио и связь, 1981
11. Надежность технических систем: Справочник/ Под ред. И.А. Ушакова. –М.: Радио и связь, 1985.