Проект «Инженерные кадры Зауралья»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине «Диагностика и надежность автоматизированных систем» для
студентов очной и заочной форм обучения направления 220700.62
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Курган 2015

Кафедра: «Автоматизации производственных процессов»
Дисциплина: «Диагностика и надежность автоматизированных систем»
(направление 220700.62).

Составила: доцент И.А. Иванова.

Утверждены на заседании кафедры «27» ноября 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта «Инженерные кадры Зауралья» «30» июня 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие 1. Определение показателей надежности технических систем 3
Практическое занятие 2. Основные причины потери работоспособности технических систем 9
Практическое занятие 3. Определение закона распределения надежности 13
Практическое занятие 4. Методы расчета надежности автоматизированных систем на стадии проектирования 17
Практическое занятие 5. Определительные и контрольные испытания на надежность 21
Практическое занятие 6. Методы повышения надежности технических систем 26

Практическое занятие 1. Определение показателей надежности технических систем

Задачами эксплуатации технической системы являются организация и проведение различных мероприятий, обеспечивающих подготовку к использованию, использование по назначению, поддержание исправного состояния.

Под эксплуатационными свойствами технической системы понимают ее надежность, готовность к выполнению основных функций, приспособленность к техническому обслуживанию, экономичность.

Надежность – это свойство технической системы выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технических обслуживаний, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является одним из важнейших эксплуатационных свойств технической системы, так как он в значительной степени определяет эффективность применения технической системы по назначению, а также требуемый уровень надежности во многом определяет и стоимость изготовления технической системы.

Надежность является комплексным свойством. В зависимости от назначения технической системы и условий ее эксплуатации надежность может включать в себя безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность.

Безотказность - это свойство технической системы сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. При этом под работоспособностью (работоспособным состоянием) понимают такое состояние технической системы, при котором она способна выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в проделах, установленных нормативно-технической документацией. Если же значение хотя бы одного параметра не соответствует установленным требованиям, то техническая система находится в неработоспособном состоянии.

Более широким, характеризующим техническое состояние технической системы, является понятие «исправность», или «исправное состояние».

Под исправным состоянием понимают такое состояние технической системы, при котором она соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Из этого определения видно, что понятие «исправность» шире, чем понятие «работоспособность», так как техническая система может быть и неисправной, но работоспособной.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности технической системы, называют отказом. Под отказом нужно понимать не только полную потерю работоспособности, но и ее ухудшение вследствие изменения значения параметров.

Кроме того, вся техническая система и ее составные части делятся на ремонтируемые и неремонтируемые.

Ремонтируемым называют такой объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению. Объект, у которого исправность или работоспособность не подлежат восстановлению, называется **неремонтируемым**.

Ремонтопригодность - свойство технической системы, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения ее отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

В процессе эксплуатации техническая система может транспортироваться, а также храниться иногда в течение длительного времени. Свойства технической системы непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения, транспортирования называется **сохраняемостью**.

Долговечность- это свойство технической системы сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельным называют такое состояние, при котором дальнейшая эксплуатация технической системы должна быть прекращена. Признаки предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией.

Показателями **безотказности** неремонтируемых объектов являются: вероятность безотказной работы P(t),частота отказов f(t), интенсивность отказов λ(t) и средняя наработка до первого отказа Тср.

Основной количественной мерой **безотказности** является вероятность безотказной работы *P(t)* – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. Наработка – термин, определяющий продолжительность работы объекта.

Практически величина вероятности безотказной работы определяется статистическим путем по информации об отказах за выбранный промежуток времени t:

$$P(t)=(N-n)/N, \qquad (1)$$

где N - число объектов в начале испытаний;
n - число объектов, отказавших за время **t**.

По статистическим данным частота отказов

$$f(t)=\Delta n/(N\times\Delta t), \qquad (2)$$

где Δn - число отказов в интервале времени Δt;
Δt-время испытаний.

Критерием, наиболее полно характеризующим надежность неремонтируемых объектов, является интенсивность отказов λ(t). В отличие от частоты отказов f(t) этот показатель характеризует надежность элемента в каждый данный момент, т.е. его локальную надежность. Под интенсивностью отказов понимают число отказов в единицу времени, отнесенное к среднему числу элементов, безотказно работающих в данный промежуток времени. При этом отказавшие элементы не заменяются. Из опытных данных эта характеристика рассчитывается по формуле:

$$\lambda(t)=\Delta n/(N_{cp}\times\Delta t), \quad (3)$$

где N_{cp} - среднее число работоспособных элементов.

Средней наработкой до первого отказа Тср называется математическое ожидание времени *работы до первого отказа. По данным испытаний*

$$T_{cp} = \Sigma t / N, \quad (4)$$

где t- время исправной работы i-того элемента,

N - общее число испытуемых элементов.

Показателями **ремонтопригодности** являются:

- вероятность Р(Тз)восстановления системы за заданное время Тз;

- среднее время восстановления Тв (определяет средние затраты времени на обнаружение и устранение отказа при заданных условиях обслуживания);

- гамма-процентное время восстановления - время, в течение которого восстановление работоспособности системы будет полностью осуществлено с вероятностью γ, выраженной в процентах;

Долговечность системы характеризуется ее ресурсом Тр - общее время (или объем) работ системы за весь срок службы до момента, когда дальнейшая ее эксплуатация невозможна или экономически нецелесообразна;

Основными показателями долговечности системы являются:

-средний ресурс- математиченское ожидание ресурса;

-гамма-процентный ресурс- суммарная наработк а, в течение которой система не достигнет предельного состояния с вероятностью γ, выраженной в процентах;

- гамма-процентный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой система не достигнет предельного состояния с вероятностью γ, выраженной в процентах.

Показатели **сохраняемости** дают количественную характеристику способности системы сохранять свое качество при хранении и транспортировке:

- средний срок сохраняемости;

-гарантированный срок сохраняемости

Пример 1.1 На испытаниях находились N=1000 неремонтируемых образцов. Число отказов Δn фиксировалось через каждые 100 часов работы (Δt=100 ч). В таблице 1 приведены данные об отказах. Найти вероятность безотказной работы Р(t), интенсивность отказов λ (t) для каждого интервала времени, построить графики изменения этих величин.

Таблица 1- Данные об отказах к примеру 1.1

№ вар.	Δt	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
1	Δn	50	40	32	25	20	16	15	14	15	14
2	Δn	45	39	28	23	19	17	14	17	14	15
3	Δn	55	34	29	22	25	32	17	14	18	13
4	Δn	33	31	26	25	21	17	18	15	19	14

5	Δn	44	32	29	25	23	21	19	18	17	19
6	Δn	45	38	27	24	21	19	15	14	18	14
7	Δn	53	50	46	44	39	36	29	23	20	17
8	Δn	48	44	38	35	32	27	24	21	19	17
9	Δn	43	37	32	33	26	23	20	19	18	15
10	Δn	54	49	43	39	35	31	29	25	21	20
11	Δn	43	39	35	33	29	25	23	22	21	16
12	Δn	56	49	43	38	33	27	24	23	19	18
13	Δn	44	42	39	35	28	25	25	22	16	15
14	Δn	45	37	33	26	25	22	19	18	17	16
15	Δn	33	29	26	22	16	18	15	14	16	14

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется работоспособным состоянием технической системы?
2. Назовите основные показатели надежности технических систем.
3. Поясните разницу между понятиями «работоспособное состояние» и «исправное состояние» технической системы
4. Какими показателями характеризуется долговечность технической системы?

Практическое занятие 2. Основные причины потери работоспособности технических систем

Изменения, которые происходят с течением времени в любой технической системе и приводят к потере ее работоспособности, связаны с внешними и внутренними воздействиями, которым она подвергается. В процессе эксплуатации может произойти изменение параметров отдельных элементов, механизмов и системы в целом. При этом имеется три основных источника воздействий:

- действие энергии окружающей среды;

- внутренние источники энергии, связанные как с рабочими процессами, протекающими в технической системе, так и с работой отдельных элементов системы;

- потенциальная энергия, которая накоплена в материалах и деталях узлов системы в процессе их изготовления(внутренние напряжения в отливке, монтажные напряжения).

При работе технической системы действуют следующие виды энергии:

- механическая энергия, которая не только передается по всем элементам системы в процессе работы, но и воздействует на нее в виде статических или динамических нагрузок от взаимодействия с внешней средой;

- тепловая энергия действует на систему и ее части при колебаниях температуры окружающей среды, при осуществлении рабочего процесса, при работе приводных механизмов, электротехнических и гидравлических устройств;

- химическая энергия также оказывает влияние на работу системы, что приводит к коррозии отдельных узлов системы;

- ядерная, электромагнитная и биологическая энергия также действуют на техническую систему и ее механизмы, создают условия для ухудшения ее технических характеристик.

Различные виды энергии, действуя на систему, вызывают в ее узлах и деталях процессы, снижающие начальные параметры изделия. Эти процессы связаны со сложными физико-химическими явлениями и приводят к деформации, износу, поломке, коррозии и другим видам повреждений. Это, свою очередь, влечет за собой изменение выходных параметров изделия, что может привести к отказу. Процессы, происходящие в технических системах, различаются по скорости протекания. Они делятся на:

-быстропротекающие процессы;

- процессы средней скорости;

- медленно протекающие процессы

Например, при работе резервуаров и трубопроводов агрегатов химической промышленности химическая энергия вызывает процессы коррозии, что приводит к повреждению стенок резервуаров. Повреждение стенок может привести к ухудшению выходных параметров агрегата (загрязнение химических веществ, изменение пропускных сечений трубопроводов), а затем при разрушении стенок к полному выходу из строя изделия.

Процесс, возникающий в результате действия того или иного вида энергии, может не сразу привести к повреждению изделия. Часто сущществует период «накопления воздействий» прежде чем начнется период внешнего проявления процесса, т.е. повреждение изделия. Например, для начала развития усталостной трещины необходимо определенное число циклов переменных напряжений.

Повреждение материала изделия – это отклонение его контролируемых свойств от начальных, оно связано с выходными параметрами изделия определенной зависимостью. Не всякое повреждениеие влияет на выходные параметры изделия. Также и определенная степень этого повреждения может не повлять на показатели работоспособности.

В теории надежности часто пользуются понятием дефекта, т.е. такого

состояния изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации, однако остается работоспособным. При этом дефект рассматривается как возможная причина отказа. Понятие дефекта следует относить только к результату технологического процесса, а поняние повреждения - к результату воздействия на систему при ее эксплуатации. При этом необходимо рассматривать не только факт возникновения повреждений, но и оценить степень этого повреждения. При достижении некоторого максимального значения степени повреждения наступает отказ объекта.

Для решения инженерных задач надежности необходимо знать закономерности изменения выходных параметров системы и ее элементов во времени. Показатели готовности называют комплексными показателями надежности, так как они характеризуют одновременно несколько свойств, составляющих надежность. Показателями готовности являются: коэффициент готовности $К_г$, коэффициент оперативной готовности $К_{о.г.}$, коэффициент технического использования $К_{т.и}$.

Коэффициент готовности определяется

$$K_г = T_o/(T_o+T_{т.р.}), \quad (5)$$

где $Т_о$- наработка на отказ,

$Т_{т.р.}$- время текущего ремонта;

Коэффициент технического использования определяется

$$K_{т.и.} = T_o/(T_o+T_{т.р.}+ T_{т.о.}), \quad (6)$$

где $Т_{т.о.}$- время техниченского обслуживания

Коэффициент оперативной готовности определяется

$$K_{о.г.} = K_г \times P(t); \quad (7)$$

где P(t) – вероятность безотказной работы .

Пример 2.1 Станок с ЧПУ установлен в цехе машиностроительного предприятия. Станок работает в 2 смены. Назвать виды энергии, действующие на станок. Указать процессы различной скорости протекания и возможные ухудшения выходных параметров станка. Определить показатели готовности, оперативной готовности, технического использования на основании данных, приведенных в таблицах 2,3.

Таблица 2- Распределение фонда рабочего времени станка №1

Станок №1				Продолжительность наблюдений- 12000 мин							
Распределение фонда рабочего времени станка											
Работа по УП	Прос-тои	Переналадка		Ожидание		Наладка		Ремонт		Тех. обслуж.	
		Число	Время	Налад-ки	Ремон-та	Число	Время	Число	Время	Чис ло	время
9600	1200	8	156	0	184	6	240	4	320	3	300

Таблица 3- Распределение фонда рабочего времени станка №2

Станок №2											Продолжительность наблюдений- 10000 мин
Распределение фонда рабочего времени станка											
Работа по УП	Простои	Переналадка		Ожидание		Наладка		Ремонт		Тех. обслуж.	
		Число	Время	Наладки	Ремонта	Число	Время	Число	Время	Число	время
8600	800	5	126	0	104	5	150	3	150	3	270

Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды энергии воздействуют на станки с ЧПУ машиностроительных предприятий?
2. К какому виду по скорости протекания относятся тепловые процессы, происходящие в технических системах?
3. Чем отличается понятие «повреждение» от понятия «дефекта»?

Практическое занятие 3. Определение закона распределения надежности

Процесс возникновения отказов в технических системах носит случайный характер и зависит от многих факторов. Следовательно, время безотказной работы - случайная величина и для описания ее распределения в теории надежности используется ряд законов: Вейбулла, эспоненциальный, Релея, нормальный, Пуассона и др.

Показательное распределение называют также экспоненциальным. Его применяют чаще других при оценке надежности объектов. Это объясняется рядом причин.

Во-первых, при постоянных интенсивностях отказов получаются очень простые формулы для оценки показателей надежности. Это связано с тем, что при $\lambda = const$ вероятность безотказной работы в течение заданной наработки Δt не зависит от наработки, накопленной до начала интервала Δt.

Во-вторых, показательное распределение наработки до отказа типично для объектов, состоящих из многих элементов с различными распределениями наработки до отказа. Кроме того, для некоторых объектов можно устранить повышенную интенсивность отказов в начальный период эксплуатации применением "тренировки". Если в процессе эксплуатации этих объектов нет периода значительного износа, то интенсивность отказов можно приближенно считать постоянной.

В-третьих, при ограниченных экспериментальных данных трудно обнаружить значительные отклонения от гипотезы $\lambda = const$, даже если имеется возможная нестационарность $\lambda(t)$. Если экспериментальных данных недостаточно, чтобы выявить истинный характер зависимости $\lambda(t)$, принимают в качестве первого приближения $\lambda = const$.

Условием нормального распределения наработки до отказа является малый разброс значений скорости изнашивания элементов. Ввиду большого

теоретического и прикладного значения нормального распределения его стараются иногда применить и при явно несимметричных распределениях наработки до отказа. Для этого подбирают некоторую функцию случайной наработки до отказа, например, $Y = lg\ T;\ Y= T^2$, с таким расчетом, чтобы случайная величина Y имела приближенно нормальное распределение. Например, довольно часто используется логарифмически нормальное распределение усталостной долговечности, при котором предполагается, что логарифм числа циклов нагрузки до разрушения образца распределен по нормальному закону.

Распределение Вейбулла имеет два параметра: k и ν. Параметр k определяет масштаб, при его изменении кривая распределения сжимается или растягивается.

При ν = 1 распределение Вейбулла превращается в показательное. Обычно значения ν выбирают в пределах от 1 до 2.

Распределение Вейбулла иногда используется для описания надежности шариковых подшипников и некоторых типов электронных ламп (ν = 1,4÷1,7).

Для выбора типа теоретического распределения наработки до отказа целесообразно использовать информацию об изменениях в объектах перед возникновением отказов. Для этого необходимо знать, в результате каких физических процессов появляется соответствующее распределение.

Процедура проверки согласия опытного и теоретического распределений случайной величины x заключается в получении упорядоченного ряда результатов наблюдений этой величины $x_1 \le x_2 \le, \dots , \le x_n$, построении на основании их функции накопленных частот и сравнения этой функции с заданной теоретической функцией.

Таблица 4- Исходные данные для расчета

	Параметр	Номер интервала наблюдения								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Наработка до отказа, ч	176	272	368	464	560	656	752	848	944
	Количество отказов	4	5	12	17	23	24	11	4	0
2	Наработка до отказа, ч	142	268	394	520	646	772	898	1024	1150
	Количество отказов	3	2	14	22	30	15	9	5	0
3	Наработка до отказа, ч	126	4074	8022	11970	15920	19870	23810	27760	31710
	Количество отказов	44	34	9	9	1	0	3	0	0
4	Наработка до отказа, ч	444	570	696	822	948	1074	1200	1326	1452
	Количество отказов	3	9	20	20	23	19	6	0	0
5	Наработка до отказа, ч	139	283	427	571	715	859	1003	1147	1291
	Количество отказов	2	1	10	25	31	19	9	3	0
6	Наработка до отказа, ч	16	3742	7468	11190	14920	18650	22370	6100	29820
	Количество отказов	58	25	7	7	3	0	0	0	0

7	Наработка до отказа, ч	312	510	708	906	1104	1302	1500	1698	1896
	Количество отказов	4	7	18	25	20	19	7	0	0
8	Наработка до отказа, ч	562	709	856	1003	1150	1297	1444	1591	1738
	Количество отказов	10	5	18	11	23	10	12	11	0
9	Наработка до отказа, ч	674	4	1034	1214	1394	1574	1754	1934	2114
	Количество отказов	4	5	22	25	19	13	7	5	0
10	Наработка до отказа, ч	432	686	940	1194	1448	1702	1956	2210	2464
	Количество отказов	5	2	14	31	27	14	7	0	0
11	Наработка до отказа, ч	482	714	946	1178	1410	1642	1874	2106	2338
	Количество отказов	4	7	10	23	25	20	8	3	0
12	Наработка до отказа, ч	489	791	1093	1395	1697	1999	2301	2603	2905
	Количество отказов	3	4	23	34	23	9	3	1	0

Процедура осуществляется с целью установления функции распределения случайной величины x, применяемой для различных теоретико-вероятностных расчетов, статистического анализа, а также обоснования выборов планов статистического контроля, регулирования и испытаний качества продукции.

Наблюдения случайной величины x должны проводиться в практически одинаковых условиях, исследуемая совокупность должна быть однородной. Нарушение требований однородности может привести к ошибочным выводам.

Пример 3.Определить закон распределения надёжности невосстанавливаемых технических объектов по полностью определённой выборке (таблица 4). Расчеты можно произвести с использованием пакета Mathcad.

Вопросы для самоконтроля

1. Как проверяется согласие эмпирического закона распределения случайной величины и выдвинутой гипотезы?
2. В каких случаях на практике встречается экспоненциальный закон распределения наработок до отказа?
3. Какие отказы чаще всего приводят к распределению наработок по закону Вейбулла?
4. Как по внешнему виду гистограммы можно обоснованно выдвинуть гипотезу о законе распределения случайной величины?

Практическое занятие 4. Методы расчета надежности автоматизированных систем на стадии проектирования

Для обеспечения требуемого уровня надежности техничекой системы в процессе проектирования, необходимо определить показателм надежности и разработать мероприятия по ее повышению. Для анализа надежности используют математические модели, которые учитывают свойства процессов функционирования реальной системы и ее элементов.

Основными методами расчета надежности в процессе проектирования являются:

- по среднегрупповым значениям интенсивностей отказов;
- с использованием данных эксплуатации;
- коэффициентный метод;
- прогнозирование параметрической надежности.

Эти методы базируются на экспоненциальном распределении, как наиболее распространенном при исследовании систем

4.1 Метод расчета надежности по среднегрупповым значениям интенсивностей отказов

Исходными данными являются средняя (по числу элементов системы данной группы i) интенсивность отказов λ_i и количество этих элементов N_i в системе. Диапазон возможной интенсивности отказов выбирается из таблиц литературных источников.

4.2 Метод расчета надежности с использованием данных эксплуатации

При расчете надежности этим методом используют статистические данные о надежности технических систем, аналогичных по конструкции и назначению. Расчет имеет две разновидности:

- по среднему уровню надежности однотипных систем
- с использованием коэффициентов пересчета в соответствии с реальными условиями эксплуатации.

4.3 Коэффициентный метод.

Исходными данными для расчета являются6число элементов в системе, интенсивность отказов базового элемента, интенсивность отказа i-го элемента. Коэффициентный метод является наиболее простым для расчета надежности и обладает высокой степенью точности.

4.4 Метод прогнозирования параметрической надежности

При прогнозировании характеристик надежности системы с учетом постепенных отказов необходима информация об изменениях во времени ее выходных характеристик. Эта информация может быть получена методом статистического моделирования процесса отказа системы на основе полученных ранее исходных данных. Большинство систем автоматического управления в рабочих режимах являются близкими к линейным системам. Линейные системы можно полностью охарактеризовать передаточной функцией. Расчет модуля и фазы, их отклонений от номинала позволит оценить время работы системы до постепенного отказа.

Исходными данными для расчета модуля и фазы частотной характеристики являются:

- периоды времени (фиксированные), для которых производится расчет;
- частоты расчетов;
- параметры элементов;
- требуемая погрешность вычисления модуля и фазы, устанавливаемая равной 0,1;
- равномерно распределенное на интервале 0 – 1 случайное число.

Промежуточными характеристиками являются:

- математическое ожидание модуля и фазы частотной характеристики;

- среднеквадратическое отклонение модуля и фазы частотной характеристики;

- тангенс угла наклона изменения характеристик на частоте через период времени.

После рассчитанных значений модуля и фазы частотной характеристики производится расчет надежности системы.

Выходными данными расчета являются:

- вероятность безотказной работы системы на частоте в течение интервала;

- среднее время работы до отказа на частоте ω_l ;

- среднее время до постепенного отказа системы на частоте ω_l;

- коэффициент характера отказов на частоте ω_l.

Пример 4.1. Следящая система состоит из двигателя с редуктором, трех усилителей, двух промежуточных трансформаторов, фазочувствительного выпрямителя и корректирующего звена. Исходные данные для расчета приведены в таблице 5. Определить время работы до постепенного отказа, вычислить суммарное время наработки до постепенного отказа, время работы системы до внезапного отказа, среднее времени работы системы.

Таблица 5-Исходные данные для расчета

		Марка	X_i/σ_{X_i} при t,час				
			0	50	100	500	1000
1	R2	МЛТ-0,25	18000/540	18250/560	18660/580	25400/900	33350/1300
2	R3	МЛТ-0,25	3900/117	3950/120	4040/125	5650/190	7230/282
3	R4	МЛТ-0,25	2000/60	2030/62	2070/54	2800/90	3700/145
4	R5	МЛТ-0,25	10/0,3	15/0,4	20/0,56	20/0,56	20/0,56
5	R8	МЛТ-0,25	20000/600	20-300/615	20740/640	22000/1020	37060/1445
6	R12	МЛТ-0,25	80/2,46	100/2,5	130/2,67	130/2,67	131/2,67
7	R16	МЛТ-0,25	1/0,03	1,5/0,05	2/0,06	2/0,06	2/0,06
8	β1	МП-41	40/3,93	41/4,62	42,04/5,21	50/12,5	60,36/16,7
9	β10	МП-41	40/3,93	41/4,62	42,04/5,21	50/12,5	60,36/16,7
10	β12	МП-41	40/3,93	41/4,62	42,04/5,21	50/12,5	60,36/16,7
11	C5	К50-12	$6/0,2\ 10^{-6}$	$5,8/0,210^{-6}$	$5,5/0,21\ 10^{-6}$	$2,3/0,25\ 10^{-6}$	$1,4/0,3\ 10^{-6}$
12	$R^1 1$	МЛТ-0,25	1570/47	1595/48	1625/50	2070/65	2904/99

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные методы для расчета надежности.
2. Какой из методов расчета надежности является наиболее точным?

3. Какие параметры системы можно определить методом расчета параметрической надежности?

Практическое занятие 5. Определительные и контрольные испытания на надежность

Методы испытания на надежность в зависимости от цели делят на определительные (исследовательские) и контрольные.

Цель **определительных испытаний** на надежность – нахождение фактических значений показателей надежности и при необходимости параметров законов распределения таких случайных величин, как время безотказной работы, наработка между отказами, время восстановления и др.

Цель **контрольных испытаний** - проверка соответствия фактических значений показателей надежности требованиям стандартов, техничксих заданий и технических условий, т.е. принятие решения о соответьствии или несоответствии надежности системы предъявляемым требованиям.

Кроме оценки показателей надежности, целями испытаний обычно являются:

- изучение причин и закономерностей возникновения отказов;
- выявление конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, влияющих на надежность;
- выявление наимее надежных элементов, узлов, блоков;
- разработка мероприятий и рекомендаций по повышению надежности;
- уточнение продолжительности и объема технчиского обслуживания, количества запасных частей и т.д.

Испытания на надежность можно проводить в лабораторных и эксплуатационных условиях. Лабораторные испытания на надежность могут проходить при тех же воздействиях и режимах работы, которые обычно имеют место при эксплуатации. Иногда с целью быстрейшего получения показателей надежности устанавливают более тяжелые, форсированные условия работы по сравнению с эксплуатационными. Такие испытания называют ускоренными. Ускоряющими факторами могут быть механические воздействия, температура, электрическая нагрузка и др. Ускоренные испытания на надежность обычно проводятся для серийных технических средств и их элементов, выпускаемых в течение длительного времени по стабильной технологии.

Контрольные испытания надежности проводятся на основе испытаний определенной выборки. Поэтому при принятии решений возможны два вида ошибок:

- ошибка первого рода- хорошая партия бракуется;
- ошибка второго рода- плохая партия принимается.

Вероятность ошибки первого рода называется риском изготовителя и обозначается буквой α. Вероятность ошибки второго рода называется риском потребителя и обозначается буквой β.

Существует три основных метода контроля надежности:

- метод однократной выборки (одиночный контроль);
- метод двукратной выборки (двойной контроль);

- последовательный метод.

Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки и может быть использован в том или ином конкретном случае. Наибольшее распространение в правктике контроля надежности получили метод однократной выборки и последовательный методы.

5.1 Метод однократной выборки

Метод заключается в том, что из контролируемой партии объема No изделий берется одна случайная выборка объемом N экземпляров. Затем исходя из выбранных N, No, α или β устанавливается оценочный норматив n_o.

При контроле числа дефектных изделий партия признается надежной, если число дефектных изделий (количество отказов) n_k меньше или равно n_o (где n_o -оценочный норматив). Если $n_k \geq n_o$, партия бракуется.

При контроле средней наработки на отказ To (контроле по наработке) необходиомо установить суммарное время испытаний t_Σ (суммарную наработку изделий выборки N) и оценочный норматив To, чтобы обеспечивались заданные риски α и β.

Оценочный норматив устанавливается так, что при

$$To = t_\Sigma / n_k > Tк \qquad (9)$$

Результаты испытаний оцениваются как удовлетворительные, а при

$$To = t_\Sigma / n_k < Tк \qquad (10)$$

результаты испытаний оцениваются как неудовлетворительные (партия бракуется).

Длительность этапа испытаний при выбранном объеме выборки N будет

$$t_и = t_\Sigma / N \qquad (11)$$

В дальнейшем рассмотрим только контроль по наработке. Обозначим вероятность отказа объекта за время $t_и$, при которой объект признается надежным, через q_1, а вероятность отказа, при которой образцы бракуются, через q_2. Среднюю наработку на отказ надежной партии обозначим через T_{01}, а ненадежной партии – через T_{02}. Кроме этого введем обозначения:

$$\gamma_1 = T_к / T_{01} \qquad (12)$$

$$\gamma_2 = T_к / T_{02} \qquad (13)$$

$$a_1 = t_\Sigma / T_{o1} = q_1 N; \quad a2 = t_\Sigma / T_{02} = q_2 N \qquad (14)$$

$$\gamma_0 = a_1 / a_2 = T_{02} / T_{01} = q_1 / q_2 \qquad (15)$$

Для контроля надежности по методу однократной выборки при выполнении условий $N \leq 0{,}1No$ и $q_1 \leq 0{,}1$ можно пользоваться распределением Пуассона.

Пример 5.1. Из большой партии изделий взята выборка N= 95 изделий. Заданы α =β = 0,1; T_{01} =10000 ч; T_{02}=5000 ч. Требуется найти длительность испытаний $t_и$ и оценочный норматив $T_к$.

Решение.

1.По формуле (15) находим γ_o= 50000/10000 = 0,5

2.Из табл.6 Для α =β = 0,1 и γ_o=0,5 находим n_o=13.

3. Из таблицы 7 при α= 0,1 и n_o=13 определяем a_1= 9,5, γ_1=0,73

Таблица 6- Значение коэффициента γ_o

n_o	$\alpha=\beta$		
	0,05	0,1	0,2
0	0,02	0,05	0,14
1	0,08	0,14	0,28
2	0,13	0,21	0,36
4	0,22	0,30	0,46
6	0,28	0,37	0,52
8	0,32	0,42	0,57
10	0,36	0,45	0,60
12	0,40	0,49	0,62
14	0,42	0,51	0,64
16	0,45	0,53	0,66
18	0,47	0,55	0,68
20	0,48	0,57	0,70

4. С применением формул (14),(11),(12) получаем

$$t_\Sigma = a_1 \times T_{01} = 9{,}5 \times 10^4 \text{ ч.}$$

$$t_и = t_\Sigma / N = 9{,}5 \times 10^4/95 = 1000 \text{ ч.}$$

$$T_к = \gamma_1 T_{01} = 0{,}73 \times 10^4 = 7{,}3 \times 10^3.$$

Пример 5.2. При контроле надежности аппаратуры установлены значения $\alpha = \beta = 0{,}05$ и вероятности отказа $q_1 = 0{,}1$, $q_2 = 0{,}2$. Требуется определить объем выборки N.

Пример 5.3. Для контроля надежности из партии N_o= 1000 штук извлечена выборка N =75 штук. Установлены $\alpha = \beta = 0{,}1$ и оценочный норматив n_o= 10. Определить верхнее значение вероятности отказа q_2 в случае приемки партии.

Таблица 7- Значения a_1 и γ_1

n_o	Значение a_1			Значение γ_1		
	α			α		
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
1	0,36	0,50	0,82	0,36	0,50	0,82
2	0,82	1,1	1,5	0,41	0,55	0,77
4	2,0	2,4	3,1	0,49	0,61	0,77
6	3,3	3,9	4,7	0,55	0,65	0,79

8	4,7	5,4	6,5	0,59	0,68	0,81
10	6,2	7,0	8,2	0,62	0,70	0,82
12	7,7	8,6	9,9	0,64	0,72	0,83
13	8,4	9,5	11	0,64	0,73	0,83
14	9,2	10	12	0,66	0,74	0,84
16	11	12	13	0,68	0,75	0,84
18	12	14	15	0,69	0,76	0,85
20	14	15	17	0,70	0,77	0,86

Вопросы для самоконтроля

1.Какие методы контроля надежности получили наибольшее распространение?

2.Чем отличается метод однократной выборки от метода двукратнойй выборки?

3.Что означает понятие «оценочный норматив»?

Практическое занятие 6. Методы повышения надежности технических систем

Все методы повышения и поддержания надежности разбиваются на методы, применяемые при проектировании, при изготовлении и при эксплуатации технических систем. Методы повышения надежности, применяемые при проектировании: резервирование, упрощение схемы, выбор наиболее надежных элементов, создание схем с ограниченными последствиями отказов; стандартизация и унификация элементов и узлов; встроенный контроль; автоматизация проверок.

Эффективность этих методов состоит в том, что они позволяют из малонадежных элементов строить надежные системы. Эти методы позволяют уменьшить интенсивность отказов системы, уменьшить среднее время восстановления и увеличить время непрерывной работы системы.

Методы повышения надежности, применяемые при изготовлении:

- совершенствование технологии производства;
- автоматизация производственных процессов.

Повысить надежность системы в процессе ее эксплуатации чрезвычайно трудно. Это объясняется тем, что надежность системы в основном закладывается при ее проектировании, обеспечиваентся при изготовлении, а при эксплуатации надежность расходуется. Скорость расхода надежности зависит от методов эксплуатации, квалификации обслуживающего персонала, условий эксплуатации.

Важное место среди мероприятий по повышению надежности при эксплуатации оборудования сложных системм отводится техническому обслуживанию (ТО). Под ТО понимается комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение отказов. К

основным задачам ТО относятся предупреждение ускоренного износа, коррозии и старения, поддержание основных характеристик оборудования на заданном уровне. Основу ТО составляют профилактические работы и регламентные проверки.

Резервирование является наиболее распространенным способом повышения надежности путем включения резерва, предусмотренного при проектировании технических систем, или в процессе их эксплуатации. Различают три метода резервирования:

- общее, предусматривающее резервирование объекта в целом;
- раздельное, предусматривающее резервирование отдельных элементов, их групп или отдельных узлов;
- смешанное, предусматривающее совмещение различных методов резервирования.

Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых называется кратностью резервирования.Сам резервный элемент может быть ремонтируемым и неремонтируемым.

Если $P_1(t)$ – вероятность безотказной работы одного элемента, то при одинаковом $P_1(t)$ для всех элементов получим

$$P_m(t) = 1 - [1 - P_1(t)]^{m+1} \qquad (16)$$

Постоянным резервированием называют такое, при котором резервные элементы участвуют в функционировании объекта наравне с основными. Такой резерв называют **нагруженным**.

Система с **общим резервированием** будет нормально функционировать при сохранении работоспособности хотя бы одной из цепей.Вероятность отказа такой системы

$$q_{об} = \Pi\, q_i, \qquad (17)$$

где q_i- вероятность отказа одной цепи, состоящей из n элементов.

Вероятность безотказной работы объекта с **общим резервированием**

$$P_{об}(t) = 1 - q_{об} = 1 - \Pi(1 - P_i) \qquad (18)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i - й цепи

Для объекта с **раздельным резервированием**

$$P_p(t) = [1 - (1 - P_{ij})^{m+1}]^n \qquad (19)$$

и экспоненициального закона надежности при m=1 и n>5

$$T_p = 1/\lambda\, n\, [0,5 + 0,89\sqrt{n}] \qquad (20)$$

Резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента, называют резервированием **замещением**. При этом обязательно наличие коммутирующих устройств подключения резервных длементов взамен отккзавших.

Резервные элементы могут находиться в различных режимах: нагруженном, облегченном, ненагруженном. Включение резервных элементов может осуществляться вручную или автоматически.Для случая общего резервирования с замещением вероятность безотказной работы и среднее время работы до отказа при экспоненциальном законе надежности и **нагруженном** состоянии резерва определяются формулами:

$$P_{об}(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda ot}]^{m+1} \quad (21)$$

$$To = 1/\lambda_o \ \Sigma \ {}^{1}/_{i+1} \quad (22)$$

При **ненагруженном** состоянии резерва

$$P_{об.з.}(t) = e^{-\lambda ot} \Sigma(\lambda ot)^i/i! \quad (23)$$

Резервировангие замещением, при котором группа основных элементов резервируется одним или нескоолькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший олсновной элемент в данной группе, называют скользящим резервированием. Скользящее резервирование применяется при наличии одинаковых элементов.

Для случая **скользящего резервирования** (ненагруженный резерв) при экспоненциальном законе надежности расчет производится по формуле (23).

Пример 6.1. Прибор имеет N=524 однотипные ячейки. В составе ЗИПа имеется 4 ячейки, каждая из которых может заменить любую отказавшую.Требуется определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа в течение 1000 часов, если интенсивность отказов одной ячейки $\lambda = 0{,}1\ 10^{-5}$ $ч^{-1}$.

Решение. Применим формулы скользящего резервирования.

Интенсивность отказов нерезервированной системы

$$\lambda o = \lambda N = 0{,}1\ 10^{-5} \times 524 = 5{,}24 \times 10^{-4}\ ч^{-1}$$

Число резервных элементов mo= 4

Подставляя полученные данные в формулу (23), получим

$$P_{ск}(1000) = e^{-\lambda ot}(1+\lambda ot+\lambda ot)^2+(\lambda ot)^3/6 + (\lambda ot)^4/24=$$

$$=e^{-0{,}524}(1+0{,}524+0{,}137+0{,}045+0{,}003)=0{,}997$$

$$Tск = T_{сро}(mo+1)=5/\lambda_o= 5/5{,}24\ 10^{-4} =9542\ ч$$

Пример 6.2. Прибор имеет N однотипных ячеек. Интенсивность отказов одной ячейки λ. Определить необходимое количество запасных ячеек, чтобы вероятность безотказной работы прибора из-за отказов ячеек была не менее P(t) в течение t часов.

Таблица 8- Данные для примера 6.2

№ вар.	N,шт.	$\lambda, ч^{-1}$	P(t)	t,ч
1	1024	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$	0,99	50
2	625	$2\ 10^{-6}$	0,95	100
3	1000	310^{-5}	0,99	100
4	524	$3\ 10^{-6}$	0,98	150
5	1024	$1{,}810^{-6}$	0,98	200
6	600	$1{,}810^{-6}$	0,99	250
7	700	$1{,}810^{-6}$	0,95	300
8	800	$1{,}810^{-6}$	0,99	350
9	900	$1{,}810^{-6}$	0,98	400
10	1000	$1{,}810^{-6}$	0,95	450

Пример 6.3.Исходная информация для расчетов:

- принципиальная схема энергоблока (рисунок 6.1);
- средние наработки до отказа и среднее время восстановления элементов после отказа (таблица 9).

Часть 1. *Моделируется ситуация*: оба котлоагрегата подключены к главному паропроводу. Расход пара на турбоагрегат может быть обеспечен одним котлоагрегатом при его номинальной нагрузке. Это позволяет рассматривать один из котлоагрегатов, как находящийся в **нагруженном** резерве

Часть 2. *Моделируется ситуация*: один котлоагрегат подключён к главному паропроводу, что полностью обеспечивает потребность пара на турбоагрегат.

Второй котлоагрегат находится в готовности к действию. Это позволяет рассматривать неработающий котлоагрегат, как находящийся в **ненагруженном** резерве.

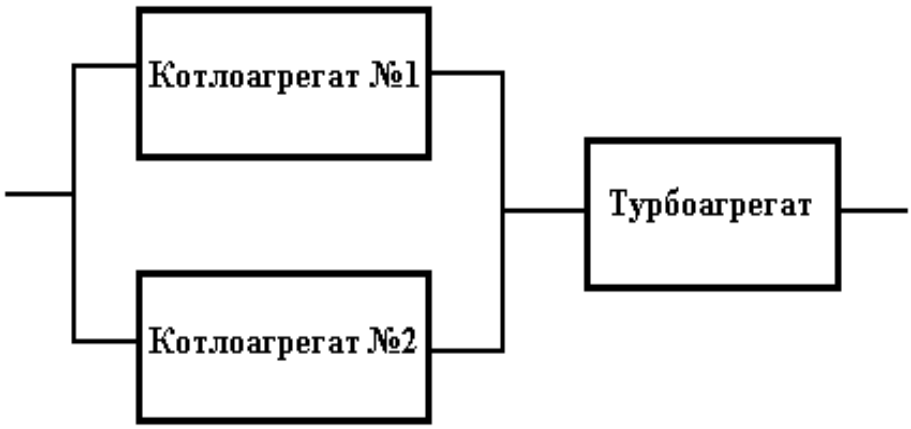

Рисунок 6.1- Принципиальная схема энергоблока

Исследовать:

1. Влияние времени восстановления котлоагрегата и турбоагрегата на коэффициент готовности.
2. Изменение средней наработки до отказа на величину коэффициента готовности.
3. Влияние начальных состояний энергоблока на показатели надёжности.

Расчеты произвести с использованием пакета Mathcad. Результаты исследования отразить в выводах.

Таблица 9- Характеристики надежности

Вариант	Среднее время безотказной работы, ч	Среднее время восстановления, ч

	t_1 котлоагрегата	t_2 турбоагрегата	t_{v1} котлоагрегата	t_{v2} турбоагрегата
1	4 000	5 000	1 000	600
2	4 100	5 000	1 500	600
3	4 000	5 000	1 500	650
4	4 000	5 000	1 500	650
5	4 000	5 000	2 000	500
6	5 000	6 000	1 000	600
7	5 100	6 000	1 500	600
8	5 000	6 000	1 500	650
9	5 000	6 000	1 500	650
10	5 000	6 000	2 000	500
11	4 000	5 000	1 500	500
12	4 100	5 000	1 500	500
13	4 000	5 000	1 500	550
14	4 000	5 000	1 500	550
15	4 000	5 000	1 500	500

Вопросы для самоконтроля

1. Какие способы повышения надежности вы знаете?
2. Какой способ повышения надежности является наиболее эффективным?
3. Чем отличается нагруженный резерв от ненагруженного?
4. В чем преимущества скользящего резервирования?

Иванова Ирина Александровна

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине «Диагностика и надежность автоматизированных систем» для студентов очной и заочной форм обучения направления 220700.62
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Авторская редакция

Подписано в печать 30.06.15	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м^2
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,5	Уч.-изд.л. 1,5
Заказ 147	Тираж 50	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000,г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.