

## Тема 14. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### Список сокращений

БНК – базовые несущие конструкции  
ВВФ – внешний воздействующий фактор  
ЕСКД – Единая система конструкторской документации  
РЭА – радиоэлектронная аппаратура  
РЭС – радиоэлектронное средство

### СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Термины и определения основных понятий</b> (Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)	2
<b>Проектирование радиоаппаратуры с учетом требований надежности</b> (Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989)	5
<b>Интенсивности отказов элементов электронной аппаратуры в номинальном режиме (<math>T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}</math> и <math>K_n = 1</math>) и поправочные коэффициенты</b> (Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах/ Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976)	25
<b>Содержание хрестоматии</b>	43

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

(Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)

**D1 объект:** Предмет рассмотрения, на который распространяется терминология в области надежности.

### Примечания

1 Объектом может сборочная единица, деталь, компонент, элемент, устройство, функциональная единица, оборудование, изделие, система, сооружение

2 Объект может включать в себя аппаратные средства, программное обеспечение, персонал или их комбинации.

**D2 надежность (объекта):** Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Примечание – Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условия его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

**D3 безотказность:** Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

**D4 наработка:** Продолжительность или объем работы объекта.

Примечание – Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километрах пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

**D5 ремонтпригодность:** Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонтов.

**D6 долговечность:** Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**D7 предельное состояние:** Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**D8 сохраняемость:** Свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

**D9 отказ:** Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

**D10 внезапный отказ:** Отказ, характеризующийся скачкообразным переходом объекта из работоспособного состояния в неработоспособное состояние.

**D11 постепенный отказ:** Отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

**D12 сбой:** Самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

**D13 восстанавливаемый объект:** Объект, восстановления работоспособного состояния которого в рассматриваемой ситуации предусмотрено технической и конструкторской документацией.

**D14 вероятность безотказной работы:** Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

**D15 наработка до отказа:** Нарботка объекта от начала его эксплуатации или от момента восстановления до отказа.

**Примечание** – Частным случаем наработки до отказа является наработка до первого отказа – наработка объекта от начала его эксплуатации до первого отказа.

**D16 средняя наработка до отказа:** Математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

**D17 наработка между отказами:** Нарботка объекта между двумя следующими друг за другом отказами.

**Примечание** – Нарботка между отказами применима только к восстанавливаемым объектам.

**D18 средняя наработка между отказами:** Математическое ожидание наработки объекта между отказами.

**Примечание** – В случае, когда наработка между отказами подчиняется экспоненциальному распределению, ее называют средней наработкой на отказ и определяют как отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

**D19 (мгновенная) интенсивность отказов:** Условная плотность вероятности отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента отказ не возник.

**D20 средняя интенсивность отказов:** Математическое ожидание мгновенной интенсивности отказов.

**D21 резервирование:** Способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и/или возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций.

**D22 кратность резерва:** Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими элементов, выраженное несокращенной дробью.

**D23 ресурс:** Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления после ремонта до момента достижения объектом предельного состояния.

**D24 назначенный ресурс:** Суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

**Примечание**

1 Данный показатель не является показателем надежности.

2 По истечению назначенного ресурса объекта должно быть принято решение, предусмотренное соответствующей документацией, о ремонте, списании, утилизации, оценке технического состояния, установлении нового назначенного ресурса и т. п.

**D25 срок службы:** Календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения объектом предельного состояния.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОАППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ

(Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989. С. 16 – 37)

### § 2.1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В связи с возрастающей сложностью радиоэлектронного оборудования перед конструкторами встала создания более надежной и долговечной радиоаппаратуры.

Об увеличении сложности разрабатываемой и выпускаемой радиоаппаратуры говорят следующие примеры: радиоэлектронное оборудование самолета дальнего действия в 1940 г. включало в среднем около 100 электронных ламп; в 1950 г. их количество достигло 2000 шт., а в 1955 г. составило 4000 – 5000 шт. Современная аппаратура дальнего обнаружения системы противовоздушной обороны имеет сотни тысяч элементов схемы.

Чтобы сравнивать различные типы изделий или экземпляры изделий одного и того же типа, необходимо иметь количественные характеристики надежности.

Одной из таких характеристик является вероятность безотказной работы изделия в течение заданного времени:

$$1 > P(t_p) > 0.$$

Вероятность безотказной работы показывает, какая часть изделий будет работать исправно в течение заданного времени. Поясним это на примере. Допустим, что работает количество  $a$  изделий одного типа. В течение времени  $t_p$  за ним ведется наблюдение и к концу его установлено, что  $b$  изделий работают исправно, а  $(a - b)$  вышли из строя. Тогда вероятность безотказной работы

$$P(t_p) \approx b/a. \tag{2.1}$$

В (2.1) знак примерного равенства означает, что указанная характеристика аппаратуры (как и другие характеристики надежности) носит вероятностный характер. Это значит, что точность и достоверность указанной характеристики зависят от

количества проведенных экспериментов: чем больше экспериментов, тем точнее полученное значение характеристики отражает свойства аппаратуры.

При подбрасывании монеты можно утверждать, что вероятность ее падения вверх гербом равна 0,5. Из этого не следует, что при четырех бросаниях монета ляжет вверх гербом два раза. Но если подобный эксперимент выполнить много раз, то полученный результат будет достаточно близок к 0,5, причем совпадение будет тем лучше, чем больше экспериментов проведено. Точно так же (2.1) позволяет определить вероятность безотказной работы с достаточной точностью, если для эксперимента взято большое количество изделий.

Для большинства радиоэлектронных устройств вероятность безотказной работы кроме физических свойств зависит от времени  $t_p$ , в течение которого изделие должно работать безотказно:

$$P(t_p) = e^{-\Lambda t_p}, \quad (2.2)$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $\Lambda$  – интенсивность отказов.

Другой характеристикой надежности изделий является *средняя наработка до отказа*  $T_{cp}$ .

Допустим, что какое количество аппаратов одного и того же типа эксплуатируются заданное время в определенных условиях (при заданных изменениях температуры окружающего воздуха, давления и т. д.). При этом регистрируется суммарное количество часов  $t$ , которое проработали все аппараты, и количество возникших отказов  $n$ . В этом случае средняя наработка до отказа

$$T_{cp} \approx t/n. \quad (2.3)$$

Данная формула также носит вероятностный характер. Это значит, что время до появления отказа, у одних изделий больше, а других меньше, подсчитанного по (2.3). Поэтому отрезок времени от включения до отказа какого-либо изделия не может полностью характеризовать свойства изделий.

Мерой надежности является средняя наработка до отказа, полученная при проверке большого количества изделий. Чем больше  $T_{cp}$ , тем выше надежность изделия.

Величину, обратную  $T_{cp}$ , называют интенсивностью отказов и обозначают  $\Lambda$ :

$$\Lambda = 1/T_{\text{ср}}. \quad (2.4)$$

Размерность интенсивности отказов – 1/ч.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и средняя наработка до отказа достаточно полно характеризуют надежность невосстанавливаемых изделий, например аппаратуру ракет. Однако большинство радиоизделий конструируют так, чтобы при выходе из строя их можно было отремонтировать. Для них фактическая надежность зависит не только от того, как часто происходят отказы, но и от того, как много времени затрачивается на отыскание и устранение неисправностей. Надежность таких изделий дополнительно характеризуется средним временем восстановления  $T_{\text{в}}$ . Если в рассмотренном примере регистрировать время, затрачиваемое на отыскание и устранение каждой неисправности, а затем найти суммарное время  $t_{\text{в}}$ , то среднее время восстановления

$$T_{\text{в}} \approx t_{\text{в}}/n. \quad (2.5)$$

Следует иметь в виду, что время затрачиваемое на отыскание и устранение конкретной неисправности, может быть больше или меньше  $T_{\text{в}}$ .

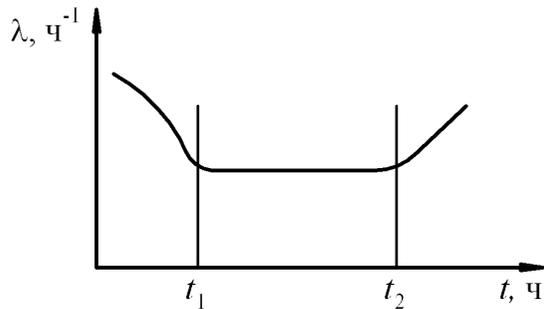
Интенсивность отказов аппарата, состоящего из  $n$  различных элементов, определяют по формуле

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (2.6)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n$  – интенсивности отказов первого, второго и  $n$ -го элементов с учетом всех воздействующих факторов.

Интенсивность отказов показывает, какая доля всех изделий или элементов данного типа в среднем выходит из строя за 1 ч работы. Например, если  $\lambda = 10^{-5}$ , то это означает, что за 1 ч работы из строя выйдет одна стотысячная доля элементов; соответственно за 1000 ч работы можно ожидать выхода из строя одной сотой доли всех элементов данного типа. Если в устройстве имеется 100 таких элементов, то в среднем за каждые 1000 ч из строя выходит один элемент.

Экспериментально установлено, что для большинства элементов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре, зависимость  $\lambda$  от времени имеет вид, изображенный на рисунке 2.1.



← Рисунок 2.1 – Зависимость интенсивности отказов от времени

Время от начала работы до  $t_1$  называют *периодом приработки*. В течение этого времени из строя выходят элементы, имеющие грубые внутренние дефекты, оставшиеся не замеченными при контроле. По мере выхода из строя таких элементов интенсивность отказов уменьшается и на отрезке  $t_1 - t_2$  остается неизменной. Время, когда происходят отдельные случайные отказы, называют *периодом нормальной работы*. Определяя надежность аппаратуры, имеют в виду то значение интенсивности отказов  $\lambda$ , которое имеет место в период нормальной работы. При этом исходят из того, что элементы с грубыми дефектами, отказы которых характерны для периода приработки, должны быть выявлены и заменены при тренировке элементов или собранной аппаратуры.

Рост интенсивности отказов после момента времени  $t_2$  объясняется износом элементов (старением диэлектрика конденсаторов, потерей эмиссии катодом лампы и т. д.). У многих элементов старение начинается после нескольких тысяч, а иногда и десятков тысяч часов эксплуатации. Далее под интенсивностью отказов будем понимать ее значение в период нормальной работы.

## § 2.2 НАДЕЖНОСТЬ РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Как видно из приведенных формул, надежность элементов является одним из факторов, существенно влияющих на интенсивность отказов аппаратуры в целом. Интенсивность отказов элементов зависит от конструкции, качества изготовления, от условий эксплуатации и от электрических нагрузок в схеме.

Влияние внешних факторов на надежность радиокомпонентов можно оценить с помощью коэффициента нагрузки. *Коэффициентом нагрузки* называют отношение фактического значения воздействующего фактора к его номинальному или максимально допустимому значению.

Коэффициент нагрузки для транзисторов

$$k = P/P_{c \max}, \quad (2.7)$$

где  $P_c$  – фактическая мощность, рассеиваемая на коллекторе,  $P_{c \max}$  – максимально допустимая мощность рассеивания на коллекторе;

для диодов

$$k = I/I_{\max}, \quad (2.8)$$

где  $I$  – фактический выпрямленный ток,  $I_{\max}$  – максимально допустимый выпрямленный ток; для резисторов и трансформаторов

$$k = P/P_n, \quad (2.9)$$

где  $P$  – фактическая мощность, рассеиваемая на радиокомпоненте,  $P_n$  – номинальная мощность; для конденсаторов

$$k = U/U_n, \quad (2.10)$$

где  $U$  – фактическое напряжение, приложенное к конденсатору,  $U_n$  – номинальное напряжение конденсатора.

При увеличении коэффициента нагрузки интенсивность отказов увеличивается. Интенсивность отказов увеличивается также, если компонент эксплуатируется при более жестких условиях: повышенной температуре окружающего воздуха и влажности, увеличенных вибрациях и ударах и т. п.

В настоящее время наиболее изучено влияния на надежность коэффициентов нагрузки и температуры.

Таблица 2.1 – Интенсивность отказов радиокомпонентов

Наименование	$\lambda_0 \cdot 10^6, 1/\text{ч}$	Наименование	$\lambda_0 \cdot 10^6, 1/\text{ч}$
Диоды кремниевые:		Конденсаторы:	
выпрямительные	0,2	бумажные	0,1
универсальные	0,1	пленочные комбинированные	0,05
импульсные	0,05	электролитические алюминиевые	0,5
стабилитроны	0,1	Резисторы постоянные:	
Транзисторы кремниевые малой мощности:		непроволочные	0,04
низкочастотные	0,5	проволочные	0,05
среднечастотные	0,25	Коммутационные изделия (переключатели, тумблеры, кнопки)	1,0
высокочастотные	0,2		
Транзисторы кремниевые средней мощности:		Трансформаторы	0,8
среднечастотные	1,3	Один контакт соединителя типов:	
высокочастотные	0,5	РМ	0,003
полевые	0,1	СНЦ	0,002
Конденсаторы:		РН	0,02
керамические	0,05	СНП	0,005
стеклянные	0,1	Пайка	0,005

В таблице 2.1 приведены ориентировочные значения интенсивности отказов для некоторых групп радиокомпонентов при использовании их в бытовой, контрольно-измерительной и других подобных группах аппаратуры.

Эти значения интенсивности отказов получены для случая, когда коэффициент нагрузки  $k = 1$  и температура  $t = 20$  °С; их будем обозначать  $\lambda_0$ .

Влияние на надежность фактического значения коэффициента нагрузки и температуры учтем при помощи коэффициента влияния  $\alpha$ , значения которого для некоторых групп радиокомпонентов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Коэффициенты влияния

$t, ^\circ\text{C}$	Значение $\alpha$ при $k$ , равном					$t, ^\circ\text{C}$	Значение $\alpha$ при $k$ , равном				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1		0,1	0,3	0,5	0,8	1
Кремниевые полупроводниковые приборы						Электрические алюминиевые конденсаторы					
20	0,02	0,05	0,15	0,5	1	20	0,55	0,65	0,75	0,9	1
40	0,05	0,15	0,3	1	–	40	0,65	0,8	0,9	1,1	1,2
70	0,15	0,35	0,75	–	–	70	1,45	1,75	2	2,5	2,8
Керамические конденсаторы						Металлодиэлектрические, или металлооксидные тонкопленочные резисторы					
20	0,15	0,2	0,35	0,65	1	20	0,4	0,5	0,65	0,85	1
40	0,2	0,3	0,5	1	1,4	40	0,45	0,6	0,8	1,1	1,35
70	0,3	0,5	0,75	1,5	2,2	70	0,5	0,75	1	1,5	2
Бумажные конденсаторы						Силовые трансформаторы					
20	0,35	0,55	0,7	0,85	1	20	0,4	0,43	0,45	0,55	1
40	0,5	0,6	0,8	1	1,2	40	0,42	0,5	0,6	0,9	1,5
70	0,7	1	1,4	1,8	2,3	70	1,5	2	3,1	6	10

Интенсивность отказов при заданном значении температуры окружающей среды и нагрузки можно найти по формуле

$$\lambda = \lambda_0 \alpha. \quad (2.11)$$

Как видно из таблицы 2.2, значение уменьшение  $\alpha$ , а следовательно, и  $\lambda$  для транзистора уменьшается в 50 раз при изменении коэффициента нагрузки в 10 раз (от 1 до 0,1); увеличение температуры в 4 раза приводит к возрастанию  $\alpha$  и  $\lambda$  в 15 раз. Аналогичные выводы можно сделать при рассмотрении таблицы 2.2 для других типов компонентов.

Таким образом, за счет облегчения температурных и электрических режимов можно существенно повысить надежность изделия.

**Пример 2.1.** Рассчитать значение средней наработки на отказ функционального узла.

Исходные данные для расчета: перечень используемых компонентов, их количество, температура окружающей среды и фактическое значение параметра, определяющего надежность, приведены в графах 1 – 5 таблицы 2.3. Для удобства последующих расчетов однотипные элементы, находящиеся при одинаковых (близких) температурах и работающие при одинаковых (близких) электрических нагрузках, объединены в таблице в одну группу.

Графы 1 – 3 были заполнены на основании данных, содержащихся в чертежах функционального узла. Графы 4 5 были заполнены на основании данных, содержащихся в таблицах режимов компонентов, полученных в результате измерений, сделанных на макете функционального узла.

Расчет надежности производим в следующем порядке:

1 По данным, содержащимся в технических условиях на радиокомпоненты, определяем значение параметра, определяющего надежность, а также конструктивную характеристику компонента (для транзистора – кремниевый, для конденсатора – керамический и т. п.). Эти данные внесены в графы 6 и 7 таблицы 2.3.

2 По формулам (2.5) – (2.8) определяем коэффициент нагрузки  $k$ ; эти данные занесены в графу 8.

3 По табл. 2.2 определяем значения коэффициента  $\alpha$ ; для этого используем  $t$  и  $k$  из граф 4 и 8 табл. 2.3. Полученные результаты занесены в графу 9.

4 Из табл. 2.1 выбираем значения  $\lambda_0$  для интересующих нас компонентов; эти данные внесены в графу 10.

5 По формуле (2.9) рассчитываем интенсивность отказов для компонентов каждой группы, работающих в одинаковых условиях; результаты внесены в графу 11.

6 По формуле (2.6) рассчитываем интенсивность отказов  $\Lambda_i$ , для каждой группы компонентов, работающих в одинаковых условиях; результаты внесены в графу 12.

Таблица 2.3 – Расчет надежности функционального узла

Наименование	Тип	Количество $n$	Температура окружающей среды $t, ^\circ\text{C}$	Фактическое значение параметра, определяющего надежность	Номинальное (предельное) значение параметра, определяющего надежность	Конструктивная характеристика	$k$	$\alpha$	$\lambda_0, 1/\text{ч}$	$\lambda_i = \lambda_0 \alpha$	$\lambda_c = \lambda_i n$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Резистор	МЛТ-0,25	405	70	$P = 0,025 \text{ Вт}$	$P_n = 0,25 \text{ Вт}$	Металлооксидный	0,1	0,5	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$0,02 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-6}$
»	МЛТ-0,25	26	70	$P = 0,125 \text{ Вт}$	$P_n = 0,25 \text{ Вт}$	»	0,5	1	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$1,04 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор	КМ-50 группа М	85	70	$U = 15 \text{ В}$	$U_n = 160 \text{ В}$	Керамический	0,1	0,3	$0,05 \cdot 10^{-6}$	$0,015 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-6}$
»	КМ-50 группа Н90	36	70	$U = 15 \text{ В}$	$U_n = 50 \text{ В}$	»	0,3	0,35	$0,05 \cdot 10^{-6}$	$0,0175 \cdot 10^{-6}$	$0,63 \cdot 10^{-6}$
»	КМ 50-30 (25 В0)	10	70	$U = 7,5 \text{ В}$	$U_n = 25 \text{ В}$	Электролитический алюминиевый	0,3	1,75	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,87 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$
»	КМ 50-30 (12 В)	12	70	$U = 9,5 \text{ В}$	$U_n = 12 \text{ В}$	»	0,8	2,5	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$
Транзистор	КТ-104А	143	70	$P_c = 50 \text{ мВт}$	$P_{c \text{ max}} = 150 \text{ мВт}$	Кремниевый	0,3	0,35	$0,25 \cdot 10^{-6}$	$0,087 \cdot 10^{-6}$	$12,5 \cdot 10^{-6}$
Диод	223	18	70	$I = 50 \text{ мА}$	$I_{\text{max}} = 50 \text{ мА}$	»	0,5	0,75	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,075 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \cdot 10^{-6}$
Пайка	–	823	70	–	–	–	–	1	$0,005 \cdot 10^{-6}$	$0,005 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$

7 Формуле (2.6) находим значения  $\Lambda$  для всего функционального узла; для этого суммируем все цифры, записанные в графе 12.

Интенсивность отказов разрабатываемого функционального узла  $\Lambda = 52 \cdot 10^{-6}$  1/ч.

8 Преобразуя (2.3) к виду  $T_{cp} = 1/\Lambda$ , определяем среднюю наработку на отказ  $T_{cp} = 1/\Lambda = 1/52 \cdot 10^{-6} = 19,2 \cdot 10^3$  ч.

### § 2.3 РАСЧЕТ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Надежность аппаратуры определяется надежностью и количеством используемых в ней элементов. Так как надежность является одним из основных параметров изделия, то проектируя аппаратуру, ее следует оценивать наряду с другими параметрами и на основе этих расчетов делать выводы о правильности выбранной схемы и конструкции изделий.

На этапе проектирования, когда еще точно не определены режимы работы схемы, производят расчет, задаваясь ориентировочными данными, определяющими условия работы. Так, в качестве температуры окружающей среды для каждого из элементов может быть принято среднее значение температуры внутри блока, определенное на основании данных о количестве теплоты, выделяемой внутри блока, его габаритных размеров, условий теплоотдачи и температуры среды, окружающей блок. Рассчитанная таким образом температура не учитывает местных перегревов, создаваемых отдельными элементами, выделяющими значительное количество теплоты.

Ориентировочные значения коэффициентов нагрузки по напряжению могут быть определены по известному напряжению источника питания и номинальному значению напряжений всех элементов.

Коэффициенты нагрузки по мощности для резисторов для ориентировочного расчета следует выбирать в пределах 0,5 – 0,6. После того как определены условия работы элементов и интенсивность отказов с учетом этих условий, можно рассчитать интенсивность отказов аппарата и среднюю наработку на отказ, пользуясь формулами (2.6) и (2.4). Вероятность безотказной работы может быть вычислена по (2.2). Входящее в это выражение время работы  $t_p$  дается в техническом задании на разработку.

Если полученные в результате расчета параметры надежности не соответствуют требованиям, то следует проанализировать возможность повышения надежности за счет облегчения режимов или использования более надежных типов элементов. Для этого следует определить, какие типы элементов в наибольшей степени определяют интенсивность отказов аппарата  $\Lambda$  в соответствии с (2.6), и повторить расчет, предполагая, что эти элементы заменены другими, имеющими большую надежность или большее номинальное значение параметра, влияющего на надежность (допустимая мощность рассеяния для резистора, допустимое напряжение для конденсатора и т. д.). Следует также проанализировать, как

применение новых элементов или режимов использования скажется на массе, габаритах, стоимости и других технико-экономических параметрах изделия. Обычно таким методом удастся повысить надежность изделия не более чем в 2 – 3 раза.

Часто при проектировании аппаратуры, содержащей большое число элементов, рассчитанное значение параметров надежности во много раз (иногда в десятки) отличается от того, которое задано. В этих случаях приходится прибегать к резервированию. Сущность этого метода рассмотрена на следующем примере.

На рисунке 2.2 показана структурная схема системы, состоящей из двух приемников, антенны, нагрузки и источника питания. В данный момент работает приемник 1 (основное устройство), а приемник 2 отключен от антенны, нагрузки и источника питания и является резервным. В случае выхода из строя приемника 1 может быть включен в работу приемник 2 и работоспособность всей системы будет восстановлена.



← Рисунок 2.2 – Резервирование замещением с использованием нагруженного резерва

При резервировании средняя наработка на отказ и вероятность безотказной работы будет больше, чем у аналогичного нерезервированного изделия, так как при выходе из строя основного устройства продолжают функционировать резервные.

*Кратностью резервирования  $m$*  называют отношение числа резервных устройств к числу основных (в рассматриваемом примере кратность резервирования  $m = 1$ ).

Возможны следующие методы резервирования:

а) резервирование общее постоянное; б) резервирование общее замещением; в) резервирование раздельное постоянное; г) резервирование раздельное замещением.

При общем постоянном резервировании основной и резервный аппараты постоянно подключены к источнику сигнала, нагрузке и источнику питания; поэтому в случае выхода из строя одного из основных аппаратов рабочие функции начинают выполнять резервные. Особенностью такой схемы является то, что при выходе из строя одного из аппаратов изделие продолжает выполнять функции без какого-либо перерыва во времени. Рассмотрим пример такого резервирования.

Допустим, что два генератора, синхронизированные по частоте и фазе, каждый из которых имеет выходную мощность  $P$ , работают на общую нагрузку и выделяют на ней мощность  $2P$ . Для нормальной работы последующей схемы достаточно,

чтобы в нагрузке выделялась мощность не меньше  $P$ . Тогда при выходе из строя одного генератора нормальная работа всего устройства не нарушится, так как выделяемая мощность будет находиться в допустимых пределах.

При общем постоянном резервировании, когда основной и резервный аппараты имеют одинаковую надежность, вероятность безотказной работы и средняя наработка на отказ резервированного изделия могут быть определены:

$$P(t)_p = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}, \quad (2.12)$$

$$T_{\text{ср.р}} = T_{\text{ср}} \left( 1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{m+1} \right), \quad (2.13)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы нерезервированного изделия;  $T_{\text{ср}}$  – средняя наработка на отказ нерезервированного изделия;  $m$  – кратность резервирования.

Для случая, когда кратность резервирования  $m = 1$ , формулы (2.12) и (2.13) принимают вид

$$P(t)_p = 1 - [1 - P(t)]^2, \quad (2.14)$$

$$T_{\text{ср.р}} = 1,5T_{\text{ср}}. \quad (2.15)$$

Из (2.13) и (2.15) следует, что при общем постоянном резервировании средняя наработка на отказ незначительно возрастает (в полтора раза при  $m = 1$ ).

Как указывалось, преимуществом такого метода резервирования является то, что при его применении выход из строя одного из одновременно работающих блоков не приводит даже к кратковременному нарушению функций, выполняемых аппаратурой. Однако в этом случае габариты и стоимость аппаратуры возрастают пропорционально  $(m + 1)$ , т. е. как минимум в 2 раза, и возникают некоторые сложности в обеспечении нормальной работы аппаратуры при ее параллельном соединении.

В тех случаях, когда основной и резервный аппараты не могут быть одновременно подключены к нагрузке, применяют резервирование замещением, т. е. резервное изделие подключают вместо основного только в случае выхода его из строя. Резервирование замещением может быть выполнено с использованием ненагруженного и нагруженного резерва.

Пример использования *ненагруженного резерва* замещением показан на рисунке 2.2. В этом случае резервные изделия отключены не только от нагрузки, но и от источника питания и источника сигнала.

*Нагруженный замещаемый резерв* постоянно подключен к источнику питания. Подключение этого резерва может производиться специальными автоматическими устройствами или вручную оператором.

При резервировании замещением с использованием нагруженного резерва, так же как и при резерве, включенном постоянно, резервное устройство все время находится под током в рабочем состоянии. Надежность аппарата при таком резервировании не должна отличаться от надежности при постоянном резервировании, если не учитывать влияния переключающих устройств. Количественные характеристики надежности в этом случае могут быть рассчитаны по формулам (2.13), (2.15).

При резервировании замещением с использованием ненагруженного резерва резервные устройства, пока они не пущены в работу, меньше подвержены опасности отказа, так как находятся в более легких условиях. Поэтому надежность аппаратуры с таким резервом выше, чем у аналогичной аппаратуры с нагруженным резервом. Характеристики надежности при использовании общего ненагруженного резерва могут быть вычислены по таким формулам:

$$P(t)_p = P(t) \left[ 1 + \frac{t_p}{T_{cp}} + \frac{1}{2!} \left( \frac{t_p}{T_{cp}} \right)^2 + \dots + \frac{1}{m!} \left( \frac{t_p}{T_{cp}} \right)^m \right]; \quad (2.16)$$

$$T_{cp,p} = T_{cp} (m + 1). \quad (2.17)$$

При  $m = 1$

$$P(t)_p = P(t)(1 + t_p/T_{cp}); \quad (2.18)$$

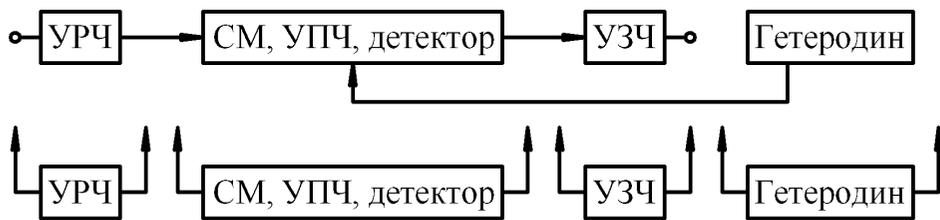
$$T_{cp,p} = 2T_{cp}. \quad (2.19)$$

Эти формулы не учитывают влияния на надежность переключающих устройств.

Характерным отличием резервирования замещением от постоянного резервирования является необходимость подключения резервных устройств взамен основных. Это переключение может производиться специальными автоматическими устройствами, если аппаратура работает без постоянного обслуживания, или вручную, если аппаратура в процессе работы постоянно обслуживается оператором.

В первом случае надежность аппаратуры окажется ниже, чем рассчитанная по (2.16) – (2.19), так как они не учитывают влияния на надежность автоматического переключающего устройства.

На рисунке 2,3 дана схема приемника, который должен резервироваться. Этот приемник состоит из  $N$  блоков ( $N = 4$ ). Резервный комплект также состоит из  $N$  блоков. Однако в отличие от рассмотренных способов резервирования в случае выхода из строя одного блока основного комплекта, например УЗЧ, в работу включается не весь резервный комплект, а только один из блоков, а остальные продолжают оставаться в резерве.



← Рисунок 2.3 – Раздельное резервирование замещением при кратности  $m = 1$

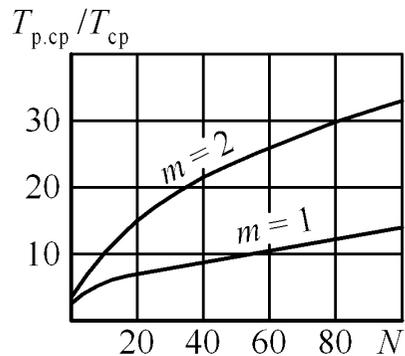
Если в конструкции приемника нет недостатков, которые приводили бы к систематическим отказам блоков, то при дальнейшей работе приемника повторный выход одного и того блока (в нашем примере УЗЧ) является маловероятным.

Скорее всего следующий отказ произойдет в другом блоке, который опять может быть заменен блоком из числа резервных. Аппаратура выйдет из строя только тогда, когда отказ в блоке одного и того же типа произойдет дважды ( $m = 1$ ).

Из рассмотренного примера видно, что раздельное резервирование является наиболее эффективным способом повышения надежности. Более подробный анализ, который здесь не приводится из-за математической сложности, позволяет сделать вывод о том, что наибольший эффект получается при раздельном резервировании замещением с использованием ненагруженного резерва. Получаемый при этом выигрыш по средней наработке на отказ в зависимости от числа  $N$  равнонадежных блоков, на которые разделен резервируемый аппарат, приведен на рисунке 2.4.

Как видно из рисунка, значительное увеличение  $T_{cp}$  (примерно в 10 раз) получается при  $m = 1$ , если аппарат разделить на 60 отдельно резервируемых блоков, а при  $m = 2$  – если число блоков примерно равно 10.

Из сравнения полученного эффекта с результатами, которые можно было бы получить при общем резервировании замещением, следует, что такое же увеличение  $T_{cp}$  можно было бы получить при включении в состав аппаратуры девяти полных резервных комплектов.



← Рисунок 2.4 – Зависимость  $T_{p,cp} / T_{cp}$  от числа блоков  $N$  при раздельном резервировании замещением

Приведенные выводы сделаны в предположении, что устройства, которые производят подключение резервного блока взамен вышедшего из строя, не ухудшают надежности системы. Если обнаружение неисправного блока и замену его резервным возложить на специальные автоматические устройства, то при числе их порядка нескольких десятков весь выигрыш, полученный за счет поблочного резервирования, может быть сведен на нет. Поэтому раздельное резервирование замещением наиболее целесообразно применять, если выполняются следующие условия: а) аппаратура обслуживается оператором, который постоянно следит за исправностью ее работы; б) блоки, на которые разделен аппарат для резервирования, являются легкоъемными; в) в состав аппарата входит устройство, позволяющее отыскать неисправный блок и включающееся в работу, если есть предположение о неисправности аппаратуры; г) перерыв в работе аппарата на короткое время, необходимое для отыскания и замены вышедшего из строя блока, существенно не нарушает работу объекта, на котором установлен аппарат.

Условия, перечисленные в пунктах б и в, в подавляющем числе случаев могут быть выполнены конструктором без существенного усложнения аппаратуры. Не зависящими от конструктора являются условия, перечисленные в пунктах а и г. Следует отметить, что для многих категорий радиоэлектронной аппаратуры эти условия выполняются.

При рассмотрении эффективности различных методов резервирования предполагалось, что отказавшие блоки не подлежат ремонту. Между тем условия эксплуатации многих категорий аппаратуры, например, работающей в стационарных

помещениях, позволяют производить ремонт отказавших блоков или изделий, когда работают резервные. Естественно, что в этом случае фактическая надежность аппаратуры, резервированной методом замещения, выше, чем полученная в результате расчетов по приведенным формулам, так как в некоторых случаях отказавший блок или изделие будут отремонтированы раньше, чем произойдет следующий отказ в аппаратуре. При этом повторный отказ изделия или однотипного блока даже при кратности  $m = 1$  не нарушит работы. Очевидно, что число таких случаев, когда ремонт заканчивается раньше, чем произошел следующий отказ, зависит от отношения  $T_v/T_{cp}$ , где  $T_v$  – среднее время затрачиваемое на отыскание и устранение неисправностей. Поэтому конструктор наряду с повышением средней наработки на отказ должен стремиться к тому, чтобы конструкция позволяла быстро находить и устранять неисправности.

Надежность аппаратуры нужно рассматривать на всех этапах проектирования: по мере того как уточняются данные о количестве и типах используемых элементов, о конкретных условиях, в которых они работают, повышается достоверность полученных в результате расчета данных.

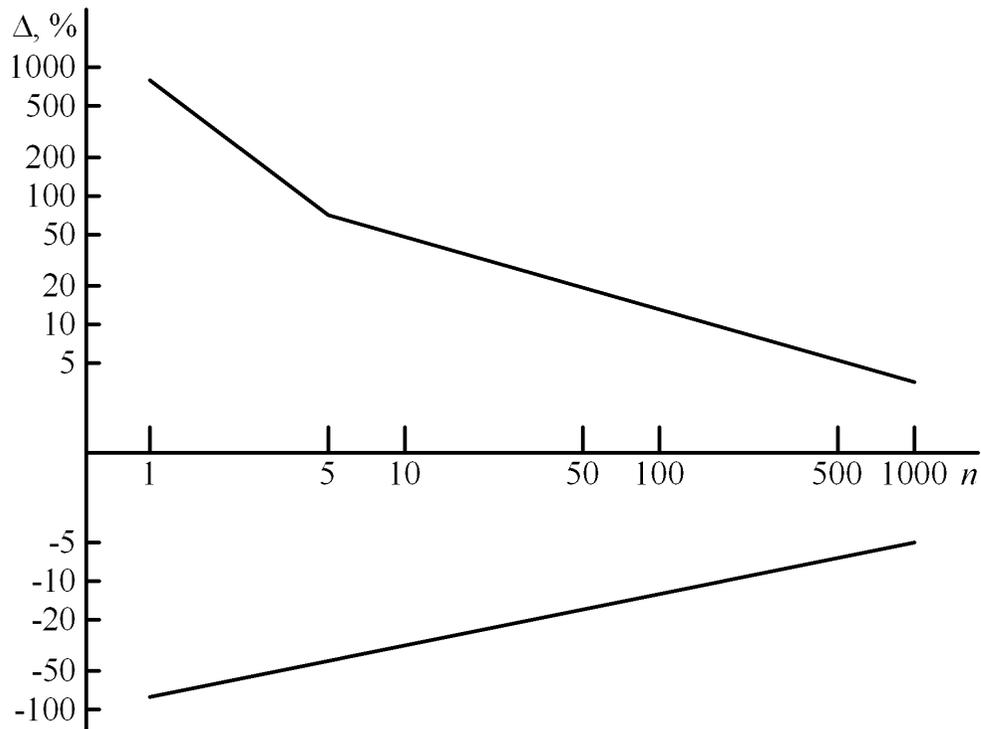
Для достижения высокой надежности необходимо отработать схему и конструкцию изделия, обеспечив при этом соответствие его всем требованиям технического задания при изменениях параметров элементов, которые оговорены в технических условиях. Изделия, к которым предъявляют высокие требования по надежности, должны иметь достаточные запасы по основным параметрам в соответствии с нормами технического задания; параметры должны быть тщательно проверены при всех воздействиях, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

## § 2.4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ

Приведенные в § 2.3 формулы позволяют оценивать надежность аппаратуры на этапе ее проектирования. Но эта оценка носит приближенный характер, так как надежность зависит от большого числа факторов, многие из которых не удастся учесть при расчете. Поэтому надежность наряду с другими параметрами аппарата в обязательном порядке нужно оценивать экспериментально.

В § 2.1 говорилось, что отрезок времени между двумя отказами не может характеризовать надежность аппаратуры, так как моменты появления отказов носят случайный характер. Мерой надежности служит средняя наработка на отказ, когда промежутки времени между отказами усредняются. Поэтому, чтобы оценить  $T_{cp}$ , нужно провести длительные испытания, при которых общее время работы будет значительно больше, чем ожидаемое значения  $T_{cp}$ . Чем больше длительность испытаний и чем больше отказов получено в результате этого, тем точнее  $T_{cp,оп}$  отражает истинные свойства аппарата.

На графике рисунка 2.5 показана зависимость погрешности экспериментально полученного значения  $T_{\text{ср.оп}}$  от числа отказов (числа усредненных интервалов между соседними отказами), рассчитанная при условии, что достоверность полученных результатов не ниже 90%. Из этого графика видно, что ошибка при экспериментальном определении  $T_{\text{ср}}$  стремится к нулю, когда число отказов, полученное при испытаниях, стремится к бесконечности. При числе отказов, отличном от бесконечности, результаты эксперимента не будут точными. Допустим, что при испытании изделие проработало  $t = 1000$  ч и при этом было получено  $n = 10$  отказов. Тогда в соответствии с (2.3) средняя наработка на отказ, полученная в результате опыта  $T_{\text{ср.оп}} = 1000/10 = 100$  ч. В соответствии с графиком рисунка 2.5 истинное значение средней наработки на отказ  $T_{\text{ср}}$  испытанного аппарата может отличаться от полученного в результате эксперимента на +61 и -35%, т. е. лежит в пределах 161 – 65 ч.



← Рисунок 2.5 – Зависимость погрешности  $T_{\text{ср.оп}}$  от числа отказов при испытаниях

Сделанная оговорка о 90%-ной достоверности полученных результатов означает, что если проведено 100 серий испытаний до появления в каждой серии 10 отказов, то при 90 сериях  $T_{cp}$  находится в пределах 161 – 65 ч, а при 10 сериях может быть вне этих пределов.

Из приведенного графика также следует, что экспериментальная оценка надежности аппаратуры требует больших затрат времени. Так, если расчетное значение  $T_{cp} = 1000$  ч и погрешность при оценке этого значения не должна превышать +161 и – 35%, то следует планировать испытания на 10 000 ч.

Отметим, что один аппарат, работая по 24 ч в сутки, за год может проработать немногим больше 7000 ч. В большинстве случаев такие сроки испытаний неприемлемы. Чтобы их сократить, испытания следует проводить не на одном, а на нескольких аппаратах. При этом оценку  $T_{cp}$  дают, подставляя в (2.3) суммарное время  $t$ , проработанное всеми аппаратами, и суммарное число отказов, полученное на всех аппаратах.

Условия, при которых проводятся испытания, должны быть максимально приближены к реальным условиям эксплуатации аппаратуры.

Испытания проводят повторяющимися циклами, в каждый из которых входит работа при всех видах воздействия, встречающихся в эксплуатации. Так, для самолетной аппаратуры, устанавливаемой вне герметичного отсека, испытания должны предусматривать работу при повышенной и пониженной температурах, при пониженном давлении, при воздействии влаги, вибрации, ударов и т. д.

Однако необходимо отметить, что в реальных условиях аппарат обычно подвергается комплексному воздействию внешних факторов. В рассмотренном примере возможно одновременное воздействие пониженной температуры, пониженного давления и вибрации; повышенной температуры и повышенной влажности и т. д. Поэтому испытания следует организовывать так, чтобы аппарат подвергался комплексу воздействий.

Для проведения комплексных испытаний создают специально оборудованные камеры, позволяющие осуществлять вибрацию при пониженной температуре и т. д.

В отдельных случаях при отсутствии соответствующего оборудования вместо комплексных проводят испытания в условиях последовательного воздействия внешних факторов. Однако в этом случае количественные параметры надежности, полученные в результате испытаний, в меньшей степени характеризуют надежность изделия в реальных условиях эксплуатации.

Испытания на надежность дают возможность не только определить количественные значения характеристик надежности аппаратуры, но и выявить слабые места в схеме и конструкции аппарата. Если такие слабые места имеются, то при испытаниях на надежность появляются систематические отказы в одних и тех же участках схемы или конструкции. На

основании анализа этих отказов конструктор может предпринять необходимые меры по доработке аппарата еще до запуска его в производство.

## § 2.5 МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПАХ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Проведение расчетов, правильный выбор режимов ЭРЭ и другие рассмотренные выше технические меры являются необходимыми для того, чтобы изделие имело необходимую надежность.

Однако для обеспечения надежности изделия в процессе производства и эксплуатации этого недостаточно. Дело в том, что значительная часть отказов происходит из-за ошибок и нарушений технологического процесса, допускаемых производственным персоналом в процессе изготовления изделия.

Для уменьшения количества таких ошибок надо минимизировать использование ручного труда в процессе производства.

Высокую надежность может иметь только та аппаратура, при производстве которой широко используется автоматизация и механизация производственного процесса. Связано это с тем, что при ручных способах изготовления, например, при ручной сборке и пайке, трудно добиться строгого соблюдения технологических режимов, обеспечивающих высокую надежность. В связи с этим наибольшую надежность имеет радиоэлектронная аппаратура, в которой широко применяются микросхемы и микросборки (они рассмотрены далее), и другие прогрессивные методы конструирования, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс производства.

Надежность аппаратуры зависит от правильного соблюдения заданных условий эксплуатации, от своевременного и качественного осмотра и ремонта. Статистические данные показывают, что до 25 % отказов происходит по вине эксплуатирующего персонала. Поэтому в инструкциях по эксплуатации аппаратуры необходимо давать подробные правила эксплуатации, а также методику профилактического осмотра и ремонта.

Существенное влияние на поддержание надежности аппаратуры в процессе эксплуатации оказывает ее ремонтпригодность.

Изделие можно считать ремонтпригодным, если оно удовлетворяет следующим требованиям:

1. Изделие имеет встроенную систему контроля или специальное оборудование, позволяющее проверять работоспособность изделия и определять вышедшее из строя устройство с точностью до сменной части.

2. Для изделия изготавливается запасное имущество, содержащее устройства, необходимые для замены вышедших из строя в процессе эксплуатации.

3. Конструкция изделия допускает быструю замену вышедших из строя составных частей без применения пайки.

4. При замене вышедших из строя составных частей на исправные, взятые из запасного имущества, не требуется производить какие-либо подгоночные или регулировочные работы.

Выполнение перечисленных выше требований может существенно повысить реальную эксплуатационную надежность аппаратуры.

## **ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ( $T = +20\text{ }^\circ\text{C}$ и $K_n = 1$ ) И ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ**

(Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах / Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976.  
С 136 – 138, С. 434 – 443)

### **Виды расчетов надежности**

В зависимости от полноты учета факторов, влияющих на надежность системы, могут проводиться прикидочный расчет надежности, расчет при подборе типов элементов и уточненный расчет.

1 Прикидочный расчет проводится на этапе проектирования, когда принципиальных схем блоков системы нет. Количество элементов в блоках определяется путем сравнения проектируемой системы с аналогичными, ранее разработанными системами (блоками). При выборе аналога (прототипа) необходимо учитывать не только назначение, но и принцип действия системы, сходство по количеству и составу элементов, времени и условиям их работы. Интенсивность отказов проектируемого нерезервированного блока определяют путем суммирования значений интенсивностей отказов всех его элементов. Для этого из справочных материалов выбирают (таблицы 1 – 4) выбирают средние значения интенсивности отказов определенного типа элементов (резисторов, конденсаторов, диодов и т. д.) с учетом условий работы проектируемого блока.

Прикидочный расчет надежности проводится в следующих целях:

проверить выполнимость требований по надежности, содержащихся в техническом задании;  
сравнить по показателям надежности различные варианты проектируемой системы.

Часто рассчитывают надежность для минимального и максимального значений интенсивности отказов элементов  $\lambda_{\min}$  и  $\lambda_{\max}$ .

2 Расчет надежности при подборе типов элементов проводится после разработки принципиальных электрических схем. Целью расчета является определение рационального состава элементов, обеспечивающего необходимые электрические параметры и требуемый уровень надежности системы.

Расчет надежности при подборе типов элементов проводится по интенсивности отказов элементов различных типов и марок с учетом условий их применения (таблицы 1 – 4). Пересчет интенсивности отказов элемента в нормальных (лабораторных) условиях  $\lambda_{0j}$  на соответствие условиям применения производится по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{0j} k_i,$$

где  $k_i$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние  $i$ -го фактора (вибрации, ударные нагрузки, влажность и т. п.).

Поправочные коэффициенты  $k_i$  для некоторых факторов приведены в таблицах 5 – 7.

Расчет надежности при уточнении режимов работы элементов проводится, когда основные конструктивные проблемы решены, но можно еще изменять режимы элементов. Учет отличия режимов от их номинальных значений (коэффициент нагрузки  $k_n = 1$ , температура 20 °С) производится с поправочных коэффициентов  $\alpha_i = f(k_n, T, \text{°C})$ , которые для отдельных типов элементов приведены в таблицах 8 – 12.

Чтобы получить интенсивность отказов  $j$ -го элемента  $\lambda_j$  в реальных условиях эксплуатации, необходимо интенсивность отказов этого элемента в номинальном режиме  $\lambda_{0j}$  умножить на поправочный коэффициент  $\alpha_i = f(k_n, T, \text{°C})$ , учитывающий влияние электрической нагрузки и температуры, а также на поправочные коэффициенты  $k_i$ , учитывающие влияние других факторов, главным образом механические перегрузки и относительную влажность воздуха.

Таблица 1 – Интенсивности отказов резисторов в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^\circ\text{C}$  и  $K_H = 1$ )

Тип резистора		Номинальная мощность рассеяния $P_{\text{ном}}, \text{вт}$													
		0,25	0,5	1	2	5	10	15	20	25	30	50	60	75	100
		Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6, 1/\text{час}$													
Не- прово- лоч- ные	МЛТ	0,4	0,5	1,0	1,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ТВО	0,4	0,45	0,8	1,4	2,2	3,0	–	4,0	–	–	–	6,0	–	–
	МОУ	0,5	0,55	1,1	1,5	2,3	3,1	–	–	4,2	–	5,5	–	–	10
	МУН	0,6	0,6	1,2	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	УНУ	0,6	0,7	1,2	1,7	2,3	3,0	–	–	4,8	–	8,0	–	–	12
	КЭВ	0,6	0,75	1,3	1,75	2,4	3,1	–	–	5,0	–	–	–	–	–
	ВС	0,7	0,8	1,35	1,8	2,5	3,3	–	–	–	–	–	–	–	–
	УЛИ	0,6	0,65	1,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	БЛП	0,7	0,75	1,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	СПО	0,6	0,7	1,15	1,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СП	0,7–	0,8	1,3	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Про- воло- чные	ПТН	–	1,1	1,4	1,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ПКВ	–	1,2	1,5	2,0	2,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ПЭВ	–	1,3	2,0	2,6	2,9	3,2	3,5	–	4,5	5,0	5,6	–	8,0	12
	ПТП	–	–	2,2	2,6	3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	РП	–	–	–	3,0	–	–	–	–	4,7	–	–	–	8,5	–

Примечание – В таблице 1 обозначены резисторы:  
 МЛТ – металлопленочные, лакированные, теплостойкие  
 ТВО – теплостойкие, влагостойкие, объемные  
 МОУ – металлоокисные, ультравысокочастотные  
 МУН – металлопленочные, ультравысокочастотные, незащищенные  
 УНУ – углеродистые, незащищенные, ультравысокочастотные  
 КЭВ – композиционные, эмалированные, влагостойкие  
 ВС – углеродистые  
 УЛИ – углеродистые, лакированные, измерительные  
 БЛП – бороуглеродистые, лакированные, прецизионные  
 СПО – переменные, объемные  
 СП – переменные, композиционные  
 ПТН – проволочные, точные, нихромовые  
 ПКВ – проволочные, на керамическом основании, влагостойкие  
 ПЭВ – проволочные, эмалированные, влагостойкие  
 ПТП – потенциометры теплостойкие, прецизионные  
 РП – потенциометры регулируемые

Таблица 2 – Интенсивности отказов конденсаторов в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $K_n = 1$ )

Тип конденсатора	Бумажные	Металлобумажные	Слюдяные	Стекланные	Керамические	Пленочные	Электролитические	
							алюминиевые	танталовые
Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6, 1/\text{час}$	1,8	2,0	1,2	1,6	1,4	2,0	2,4	2,2

Таблица 3 – Интенсивности отказов полупроводниковых приборов в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $K_n = 1$ )

Полупроводниковые приборы		Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6$ , 1/час, приборов	
		германиевых	кремниевых
Диоды	Выпрямительные точечные	0,7	2
	Выпрямительные микрополосковые	–	0,7
	Выпрямительные плоскостные	–	5
	Выпрямительные плоскостные повышенной надежности	–	2,5
	Выпрямительные повышенной мощности	–	5
	Импульсные точечные	3	–
	Импульсные плоскостные мезадиоды	2	2,5
	Импульсные сплавные	–	0,6
	Управляемые	–	5
	Стабилитроны	–	5
	Варикапы	–	5
	Выпрямительные столбы	–	5
	Микромодульные	4,2	4,5
Транзисторы	Маломощные низкочастотные	3	4
	Мощные низкочастотные	4,6	–
	Маломощные высокочастотные	2,6	–
	Мощные высокочастотные	5	1,7
	Микромодульные	1	–

Таблица 4 – Интенсивности отказов трансформаторов и моточных изделий в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $K_n = 1$ )

Трансформаторы и моточные изделия	Трансформаторы					Дроссели	Катушки индуктивности
	Автотрансформаторы	Силовые	Высоковольтные	Накальные анодные	Импульсные		
Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6$ , 1/час	5,0	3,0	4,0	2,0	0,5	1,0	0,5

Таблица 5 – Поправочные коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  в зависимости от воздействия механических факторов на неамортизированную аппаратуру

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация $k_1$	Удары $k_2$	Суммарное воздействие $k_1 k_2$
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица 6 – Поправочные коэффициенты  $k_3$  в зависимости от воздействия влажности и температуры

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент $k_3$
60 – 70	20 – 40	1,0
90 – 98	20 – 25	2,0
90 – 98	30 – 40	2,5

Таблица 7 – Поправочные коэффициенты  $k_4$  в зависимости от высоты

Высота, км	Поправочный коэффициент $k_4$	Высота, км	Поправочный коэффициент $k_4$
0 – 1	1,0	8 – 10	1,25
1 – 2	1,05	10 – 15	1,3
2 – 3	1,1	15 – 20	1,35
3 – 5	1,14	20 – 25	1,38
5 – 6	1,16	25 – 30	1,4
6 – 8	1,5	30 – 40	1,45

Таблица 8 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_1 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов непроволочных резисторов

$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1$	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$	$K_H = 0,9$	$K_H = 1,00$
	$\alpha_1$									
20	0,15	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	0,84	1,00
25	0,18	0,23	0,30	0,39	0,46	0,56	0,67	0,79	0,94	1,10
30	0,21	0,27	0,34	0,43	0,51	0,62	0,75	0,88	1,07	1,26
35	0,23	0,30	0,38	0,47	0,56	0,69	0,84	0,99	1,22	1,47
40	0,27	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,38	1,71
45	0,30	0,36	0,46	0,55	0,66	0,84	1,05	1,24	1,57	1,95
50	0,34	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38	1,76	2,22
55	0,37	0,44	0,54	0,63	0,76	1,00	1,30	1,54	1,96	2,51
60	0,40	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,7	2,17	2,81
65	0,43	0,50	0,60	0,71	0,88	1,17	1,57	1,86	2,41	3,14
70	0,46	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52
75	0,50	0,58	0,68	0,79	1,00	1,35	1,88	2,25	2,99	3,94
80	0,54	0,61	0,71	0,84	1,07	1,46	2,05	2,48	3,31	4,40
85	0,57	0,66	0,75	0,88	1,14	1,55	2,20	2,73	3,65	4,86
90	0,60	0,70	0,79	0,92	1,20	1,66	2,40	2,99	2,04	5,40
95	0,64	0,74	0,82	0,96	1,26	1,76	2,58	3,27	4,46	6,05
100	0,69	0,78	0,87	1,00	1,32	1,88	2,77	3,60	4,90	6,70

Таблица 9 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_1 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов проволочных резисторов

$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1$	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$	$K_H = 0,9$	$K_H = 1,00$
	$\alpha_1$									
20	0,01	0,02	0,02	0,05	0,10	0,20	0,34	0,51	0,73	1,00
25	0,02	0,03	0,03	0,07	0,12	0,22	0,39	0,55	0,77	1,05
30	0,02	0,04	0,04	0,08	0,14	0,26	0,43	0,60	0,81	1,10
35	0,03	0,05	0,05	0,09	0,16	0,29	0,48	0,64	0,86	1,19
40	0,04	0,06	0,06	0,11	0,19	0,32	0,53	0,69	0,92	1,29
45	0,05	0,07	0,07	0,12	0,22	0,36	0,57	0,75	0,99	1,41
50	0,06	0,08	0,08	0,14	0,25	0,39	0,63	0,81	1,06	1,55
55	0,07	0,09	0,09	0,15	0,27	0,43	0,68	0,88	1,16	1,71
60	0,08	0,10	0,10	0,17	0,30	0,47	0,73	0,95	1,27	1,91
65	0,09	0,11	0,11	0,18	0,32	0,51	0,79	1,04	1,43	2,18
70	0,10	0,12	0,12	0,20	0,35	0,56	0,85	1,14	1,60	2,51
75	0,11	0,13	0,14	0,21	0,37	0,61	0,91	1,24	1,80	2,89
80	0,12	0,14	0,15	0,22	0,40	0,67	0,98	1,36	2,01	3,25
85	0,13	0,16	0,17	0,24	0,43	0,73	1,07	1,50	2,26	3,65
90	0,14	0,17	0,18	0,26	0,46	0,80	1,15	1,65	2,51	4,05
95	0,15	0,18	0,19	0,28	0,49	0,88	1,24	1,82	2,80	4,49
100	0,16	0,18	0,20	0,30	0,52	0,96	1,33	2,00	3,15	5,00

Таблица 10 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_2 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов конденсаторов

Тип конденсатора	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1 \dots 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$
		$\alpha_2$				
Бумажные, керамические, слюдяные негерметичные	20	0,06	0,08	0,10	0,18	0,23
	25	0,07	0,08	0,10	0,21	0,25
	30	0,07	0,08	0,11	0,22	0,27
	35	0,07	0,09	0,12	0,24	0,31
	40	0,07	0,09	0,13	0,28	0,35
	45	0,08	0,09	0,14	0,33	0,40
	50	0,08	0,10	0,15	0,36	0,45
	60	0,10	0,12	0,20	0,45	0,62
	65	0,11	0,13	0,23	0,55	0,66
	70	0,13	0,15	0,26	0,6	0,83
	75	0,15	0,17	0,33	0,73	1,13
	80	0,17	0,22	0,43	0,92	1,46
	85	0,25	0,30	0,65	1,14	1,88
	90	0,33	0,38	0,82	1,70	2,40
	95	0,43	0,47	1,08	2,40	2,90
100	0,55	0,57	1,36	3,00	3,40	

Продолжение таблицы 10 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_2 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов конденсаторов

Тип конденсатора	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1 \dots 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$
		$\alpha_2$				
Слюдяные герметичные	20	0,28	0,36	0,49	0,18	0,23
	25	0,29	0,37	0,49	0,21	0,25
	30	0,30	0,38	0,50	0,22	0,27
	35	0,32	0,39	0,51	0,24	0,31
	40	0,34	0,42	0,54	0,28	0,35
	45	0,36	0,45	0,59	0,33	0,40
	50	0,38	0,49	0,63	0,36	0,46
	55	0,42	0,54	0,67	0,40	0,53
	60	0,46	0,61	0,75	0,45	0,62
	65	0,51	0,68	0,85	0,55	0,66
	70	0,58	0,76	0,96	0,60	0,83
	75	0,66	0,86	1,14	0,73	1,13
	80	0,75	0,97	1,40	0,92	1,46
	85	0,85	1,13	1,95	1,14	1,88
	90	0,98	1,30	2,80	1,70	2,40
95	1,12	1,50	3,50	2,40	2,90	
100	1,30	1,70	4,50	3,00	3,40	

Продолжение таблицы 10 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_2 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов конденсаторов

Тип конденсатора	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1 \dots 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$
		$\alpha_2$				
Металлобумажные, стеклянные, пленочные	20	0,28	0,36	0,49	0,64	0,8
	25	0,29	0,37	0,49	0,66	0,88
	30	0,3	0,38	0,5	0,7	0,94
	35	0,32	0,39	0,51	0,75	1
	40	0,34	0,42	0,54	0,8	1,1
	45	0,36	0,45	0,59	0,86	1,25
	50	0,38	0,49	0,63	0,95	1,43
	55	0,42	0,54	0,67	1,06	1,7
	60	0,46	0,61	0,75	1,19	2
	65	0,51	0,68	0,85	1,37	2,1
	70	0,58	0,76	0,96	1,58	2,3
	75	0,66	0,86	1,14	1,87	2,5
	80	0,75	0,97	1,40	2,10	2,80
	85	0,85	1,13	1,95	2,30	3,40
	90	0,98	1,30	2,80	2,70	3,80
	95	1,12	1,50	3,50	3,00	4,40
100	1,30	1,70	4,50	3,30	5,00	

Продолжение таблицы 10 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_2 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов конденсаторов

Тип конденсатора	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1 \dots 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$
		$\alpha_2$				
Электролитические с алюминиевым анодом	20	0,65	0,48	0,40	0,48	0,65
	25	0,72	0,54	0,44	0,54	0,72
	30	0,82	0,60	0,48	0,60	0,82
	35	1,00	0,73	0,56	0,73	1,00
	40	1,24	0,90	0,64	0,90	1,24
	45	1,48	1,12	0,80	1,12	1,48
	50	1,73	1,40	1,17	1,40	1,73
	55	1,95	1,70	1,38	1,70	1,95
	60	2,30	2,10	1,80	2,10	2,30
	65	3,50	2,80	2,26	2,80	3,50
	70	4,30	3,60	2,90	3,60	4,30
	75	5,50	4,60	4,00	4,60	5,50
	80	7,00	5,60	4,40	5,60	7,00
	85	8,80	6,80	5,50	6,80	8,80
	90	11,0	8,00	6,50	8,00	11,0
	95	14,0	9,50	7,70	9,50	14,0
100	18,0	11,4	9,00	11,4	18,0	

Окончание таблицы 10 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_2 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов конденсаторов

Тип конденсатора	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1 \dots 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$
		$\alpha_2$				
Электролитические с танталовым анодом	20	0,39	0,20	0,20	0,20	0,39
	25	0,40	0,21	0,21	0,21	0,40
	30	0,41	0,22	0,22	0,22	0,41
	35	0,43	0,26	0,26	0,26	0,43
	40	0,47	0,30	0,30	0,30	0,47
	45	0,53	0,35	0,35	0,35	0,53
	50	0,57	0,40	0,40	0,40	0,57
	55	0,64	0,45	0,45	0,45	0,64
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70
	65	0,78	0,57	0,57	0,57	0,78
	70	0,86	0,65	0,65	0,65	0,86
	75	0,94	0,72	0,72	0,72	0,94
	80	1,05	0,80	0,80	0,80	1,05
	85	1,17	0,90	0,90	0,90	1,17
	90	1,30	1,00	1,00	1,00	1,30
	95	1,45	1,12	1,12	1,12	1,45
100	1,65	1,25	1,25	1,25	1,65	

Таблица 11 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_3 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы	T, °C	$K_H = 0,1$	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$
		$\alpha_3$							
Германиевые диоды	20	0,09	0,15	0,22	0,30	0,39	0,50	0,62	0,74
	25	0,10	0,16	0,24	0,32	0,42	0,52	0,64	0,76
	30	0,12	0,19	0,26	0,35	0,45	0,55	0,66	0,79
	35	0,13	0,20	0,29	0,38	0,47	0,58	0,70	0,85
	40	0,15	0,23	0,32	0,41	0,51	0,63	0,76	0,91
	45	0,17	0,26	0,37	0,49	0,62	0,77	0,94	1,15
	50	0,2	0,32	0,45	0,60	0,76	0,95	1,15	1,41
	55	0,31	0,42	0,54	0,70	0,89	1,13	1,40	1,73
	60	0,42	0,53	0,66	0,86	1,13	1,40	1,75	2,13
Кремниевые диоды	20	0,77	0,77	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88
	25	0,80	0,80	0,81	0,83	0,84	0,87	0,89	0,92
	30	0,85	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92	0,97
	35	0,88	0,88	0,88	0,90	0,92	0,95	0,97	1,03
	40	0,92	0,92	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08
	45	0,94	0,95	0,96	0,98	1,00	1,04	1,08	1,13
	50	0,96	0,98	1,00	1,02	1,05	1,09	1,13	1,19
	55	0,98	1,01	1,04	1,07	1,11	1,16	1,22	1,29
	60	1,00	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39

Продолжение таблицы 11 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_3 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1$	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$
		$\alpha_3$							
Германиевые транзисторы	20	0,20	0,23	0,26	0,35	0,42	0,50	0,70	0,74
	25	0,20	0,24	0,29	0,40	0,47	0,57	0,75	0,83
	30	0,21	0,27	0,32	0,45	0,52	0,65	0,83	0,95
	35	0,23	0,29	0,36	0,50	0,58	0,73	0,93	1,07
	40	0,25	0,32	0,40	0,55	0,66	0,81	1,04	1,22
	45	0,27	0,36	0,45	0,61	0,74	0,94	1,17	1,36
	50	0,30	0,42	0,50	0,68	0,84	1,08	1,31	1,50
	55	0,34	0,46	0,56	0,76	0,96	1,23	1,47	1,68
	60	0,39	0,52	0,63	0,86	1,10	1,38	1,65	1,90
	65	0,44	0,57	0,71	0,98	1,25	1,55	1,84	2,13
	70	0,49	0,63	0,80	1,11	1,40	1,73	2,05	2,35
	75	0,54	0,69	0,91	1,25	1,57	1,92	2,24	2,59
Кремниевые транзисторы	20	0,06	0,16	0,18	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63
	25	0,06	0,16	0,18	0,21	0,36	0,44	0,53	0,65
	30	0,06	0,16	0,19	0,22	0,37	0,46	0,55	0,67
	35	0,07	0,16	0,19	0,22	0,39	0,49	0,57	0,70
	40	0,07	0,17	0,20	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72

Окончание таблицы 11 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_3 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы	$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,1$	$K_H = 0,2$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$
		$\alpha_3$							
Кремниевые транзисторы	45	0,07	0,17	0,20	0,23	0,42	0,53	0,62	0,75
	50	0,08	0,18	0,21	0,24	0,45	0,55	0,65	0,78
	55	0,08	0,18	0,21	0,25	0,47	0,58	0,68	0,81
	60	0,08	0,19	0,22	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85
	65	0,09	0,19	0,22	0,26	0,53	0,65	0,76	0,90
	70	0,09	0,20	0,23	0,27	0,56	0,70	0,81	0,97
	75	0,09	0,20	0,23	0,28	0,60	0,74	0,87	1,04

Таблица 12 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_4 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов трансформаторов и моточных изделий

$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$	$K_H = 0,9$	$K_H = 1,0$
	$\alpha_4$							
20	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	1,0
25	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,2
30	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,4	1,6
35	0,1	0,1	0,2	0,4	0,9	1,3	1,9	2,5

Окончание таблицы 12 – Поправочные коэффициенты  $\alpha_4 = \varphi(K_H, T, ^\circ\text{C})$  для интенсивностей отказов трансформаторов и моточных изделий

$T, ^\circ\text{C}$	$K_H = 0,3$	$K_H = 0,4$	$K_H = 0,5$	$K_H = 0,6$	$K_H = 0,7$	$K_H = 0,8$	$K_H = 0,9$	$K_H = 1,0$
	$\alpha_4$							
40	0,1	0,2	0,2	0,5	1,2	1,8	2,4	3
45	0,2	0,2	0,3	0,6	1,4	2,3	3,2	4,2
50	0,2	0,2	0,3	0,8	1,8	2,8	4,0	5,2
55	0,2	0,2	0,3	1,0	2,2	3,5	5,2	6,9
60	0,2	0,3	0,4	1,2	2,5	4,1	6,4	8,6
65	0,2	0,3	0,5	1,6	3,4	5,7	8,5	11,5
70	0,3	0,4	0,6	2,0	4,2	7,2	10,7	14,0

## СОДЕРЖАНИЕ ХРЕСТОМАТИИ

### Тема 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

### Тема 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Бобков Н. М. О подготовке конструкторов РЭС в средних специальных учебных заведениях // Среднее профессиональное образование. 2002. № 11**

**Бобков Н. М. Основы конструирования. Проблемы терминологии // Вестник машиностроения. 2002. № 9**

**Бобков Н. М. Что такое конструирование радиоэлектронных средств? // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2008. № 1, 2**

**Функциональные системы и конструктивные уровни РЭС (Каленкович Н. И., Фастовец Е. П., Шамгин Ю. В. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: учеб. пособие. Минск, 1989. С. 9 – 11)**

**Бобков Н. М. Конструирование и строительное конструирование РЭС // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Систематизация терминологии в области конструирования радиоэлектронных систем // Труды Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева. 2014. № 3**

**Бобков Н. М. Категории науки о конструировании // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Общие требования к разрабатываемым (модернизируемым) техническим системам (Из ГОСТ 15.016 – 2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению)**

### Тема 3. ТИПОВОЙ ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Бобков Н. М. Конструкторская документация и порядок ее разработки // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Применение положений стандартов ЕСКД в публикациях по конструированию: типичные ошибки // Стандарты и качество. 2004. № 8**

**Бобков Н. М. Типовой порядок разработки технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2018. № 2**

### Тема 4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РЭС

#### Основные понятия

**Влияние физических параметров окружающей среды (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 140 – 143)**

**Воздействие на РЭА внешних механических факторов** (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 143 – 145)

**Основные эффекты, вызываемые воздействием отдельных внешних факторов** (Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению)

**Предельные нормы эксплуатации** (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 145 – 147)

**Бобков Н. М. Механические воздействия и нагрузки на элементы несущих систем РЭС** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал ННИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7

**Общие требования к РЭС в части стойкости к механическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации)

**Общие требования к РЭС в части условий хранения и транспортирования** (Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)

**Испытание на прочность при транспортировании** (Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)

**Общие требования к РЭС в части стойкости к климатическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды)

## **Тема 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЭС**

**Механические системы** (Справочник металлиста. В 5-ти т. Т. 1. М., 1976. С. 18 – 22)

**Основные сведения о механизмах** (Фаддеева Л. А. Теория механизмов и детали приборов: учебник. Л., 1983. С. 5 – 11)

**Сопротивление материалов, теория упругости и прочее ...** (Феодосьев В. И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. М., 1975. С. 5 – 6)

**Неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 12, 13)

**Реакции связей почти мгновенно изменяемых систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 25, 26)

**Классификация плоских систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 30, 31)

**Бобков Н. М. Радиоэлектронные средства как строительные сооружения** // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

**Кинематический анализ стержневых систем** (Спицына Д. Н. Строительная механика стержневых систем: учеб. пособие. М., 1977. С. 8 – 15)

**Образование и кинематический анализ плоских систем** (Живейнов Н. Н., Карасев Г. Н., Цвей И. Ю. Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин: учебник. М., 1988. С. 10, 11)

#### **Тема 6. ПРОЧНОСТЬ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РЭС**

**Сведения из теории сопротивления материалов** (Еленев С. А. Холодная штамповка: учебник. М., 1981. С. 9 – 16)

**Переменные напряжения. Выбор допускаемых напряжений** (Красновский Е. Я., Дружинин Ю. А., Филатова Е. М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: учеб. пособие. М., 1991. С. 171 – 178)

**Бобков Н. М. Оценка усталостной прочности несущих деталей БНК при воздействии вибрации** // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997. № 4

**Прочность и жесткость конструкций** (Рошин Г. И. Несущие конструкции и механизмы РЭА: учебник. М.: 1981. С. 33 – 42)

#### **Тема 7. ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ**

**Основные положения теории базирования** (ГОСТ 21495 – 79 Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Приложение 1)

**Базирование деталей** (Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие. М., 2008. С. 57 – 64)

**Основы базирования** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 24 – 30, 34 – 41, 44 – 50)

#### **Тема 8. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ**

**Основы конструирования деталей** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 9 – 16)

**Справочное руководство по конструированию элементов радиоэлектронных средств** (Приложение 2 к промежуточному отчету № 1 о НИР «Наледь. Исследование конструкций несущих систем, электроустановочных изделий и других элементов РЭС. Составление комплекса методических пособий «Конструкции элементов РЭС в примерах и задачах» / Нижегородский технический колледж; руководитель Н. М. Бобков; № ГР 01990006251; Инв. № 02200000313. Н. Новгород, 1999)

#### **Тема 9. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Модульные и базовые конструкции изделий, базовые изделия** (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)

**Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении** // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2

**Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем** // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5

**Бобков Н. М. Базовые несущие конструкции аппаратуры Нижегородского приборостроительного. Проектирование оболочек герметичных корпусов** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1996. Вып. № 5

#### **Тема 10. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЭС**

**Унификация изделий** (Из ГОСТ 23945.0 – 80 Унификация изделий. Основные положения)

**Расчет показателей уровня унификации и стандартизации изделий** (Из методических указаний РД 50-33 – 80  
Определение уровня унификации и стандартизации изделий)

**Оценка состояния государственной стандартизации БНК в России** (Раздел 3 промежуточного отчета № 1 о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г36590. Н. Новгород, 2000)

**Эволюция БНК Нижегородского научно-исследовательского приборостроительного института «КВАРЦ»** (Разделы 1 – 4 заключительного отчета о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г38225. Н. Новгород, 2000)

#### **Тема 11. ОСНОВНЫЕ НОРМЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ**

**Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений** (Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982. С. 8 – 10, 12 – 19, 28 – 31)

**Шероховатость поверхности** (Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988. С. 287 – 295)

**Обозначения шероховатости поверхностей** (из ГОСТ 2.309 – 73 ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей)

#### **Тема 12. ЭЛЕМЕНТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ**

**Кручение брусьев прямоугольного поперечного сечения** (Бородин Н. А. Сопротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 74 – 76)

**Кручение брусьев тонкостенного профиля** (Бородин Н. А. Сопротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 76 – 78)

**Некоторые общие вопросы теории тонкостенных стержней** (Бояршинов С. В. Основы строительной механики машин: учеб. пособие. М., 1985. С. 5 – 7)

**Кручение тонкостенных брусьев** (Любощиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопротивлению материалов. Минск, 1969. С. 157 – 164)

**Кручение тонкостенных брусьев открытого профиля** (Глушков Г. С., Синдеев В. А. Курс сопротивления материалов: учебник. М., 1965. С. 236, 237)

**Тема 13. СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Трение покоя при вибрации** (Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., 1973. С. 46 – 48)

**Предохранение резьбовых соединений от самоотвинчивания** (Решетов Д. Н. Детали машин: учебник для вузов. М., 1989. С. 135 – 138)

**Способы и виды предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания** (Из ОСТ 4Г 0.019.200 Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Технические требования)

**Тема 14. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Термины и определения основных понятий** (Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)

**Проектирование радиоаппаратуры с учетом требований надежности** (Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989. С. 16 – 37)

**Интенсивности отказов элементов электронной аппаратуры в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $K_n = 1$ ) и поправочные коэффициенты** (Теория надежности радиэлектронных систем в примерах и задачах / Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976. С. 136 – 138, С. 339 – 347)

Николай Михайлович Бобков – преподаватель Нижегородского радиотехнического колледжа, конструктор Нижегородского научно-производственного объединения имени М. В. Фрунзе.

E-mail: n.bobkov@mail.ru