

10 Основы теории обеспечения надежности и качества функционирования РЭС

10.1 Основные характеристики и параметры надежности

Надежность – это свойство РЭС выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения функциональных параметров в заданных пределах в условиях реальной эксплуатации.

Надежность – это комплексное понятие, которое может характеризоваться одним или несколькими параметрами.

К этим параметрам относятся безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность и т. д.

Безотказность – свойство РЭС непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени.

Долговечность – свойство РЭС сохранять работоспособность до полного износа при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – заключается в приспособленности РЭС к обнаружению и устранению отказов.

Различают состояния, в которых может находиться РЭС и события, которые могут с ним происходить.

Исправное состояние – когда РЭС удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации (требованиям ТЗ и ТУ).

Неисправное состояние – когда хотя бы одно условие не выполняется.

Работоспособное состояние – когда РЭС может выполнить свои функции.

Неисправная РЭС может быть работоспособной. Например, радиостанция не обеспечивает требуемую по ТУ максимальную выходную мощность передатчика (значит неисправна), но в текущей ситуации (отсутствие помех, тумана, и близкого расстояния между точками связи) может обеспечить связь и с меньшей выходной мощностью.

Неработоспособное состояние РЭС – когда РЭС не может выполнить требуемые в настоящий момент функции требуемого качества при существующих условиях.

Статическая вероятность безотказной работы оценивается по данным испытаний.

Результаты записываются в виде [N, U, T]

N – число образцов, T – время испытаний, U – число образцов, вышедших из строя.

$$P^*(t) = N(t)/N(o) = 1 - m(t)/N_o$$

N(o)

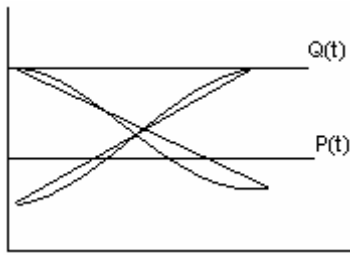
N(t)

m(t)

m(t) = N(o) – N(t)

$$q(t) = 1 - p(t); q(0) = 0, q(\infty) = 1$$

$$Q^*(t) = m(t)/N(0)$$



Плотность распределения наработки до отказа

$$Q(t) = \int_0^1 f(t) dt$$

и соответственно

$$f(t) = dQ(t) / dt = -dP(t) / dt$$

статистически

$$f^*(t) = m(\Delta t) / N(0)\Delta t$$

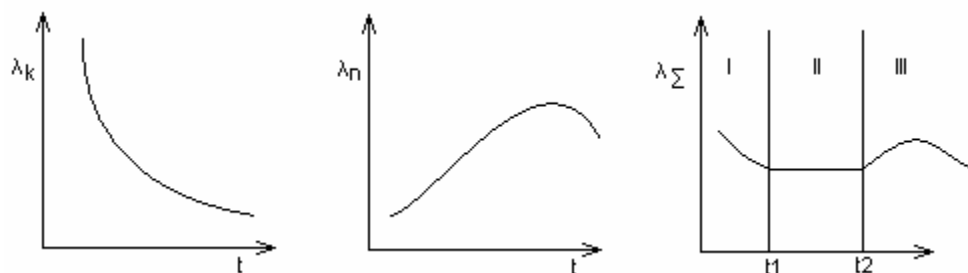
Обычно $\Delta t = (0,1 \div 0,2)t$, т. е. $\Delta t/t \ll 1$

Интенсивность отказов – вероятность отказов неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что до этого времени отказ не возник.

Интенсивность отказов характеризует надежность в окрестности t

$$\lambda(t) = f(t) / p(t)$$

Установлено, что для большинства сложных элементов зависимость интенсивности отказов от времени имеет одинаковый характер.



При нормальной эксплуатации интенсивность катастрофических отказов падает, так как устраняются места дефективной сборки, ошибки конструирования и производства. Уменьшение интенсивности отказов на начальном участке до заданного по ТУ значения применяют при производстве если начальное значение $\lambda_{нач}$ выше чем $\lambda_{тз}$. Этот технологический прием называют «прогон». При прогоне РЭС включают на некоторое время и определённая часть дефектов выявляются. Вышедшие из строя при прогоне РЭС ремонтируют и опять передают на прогон. Прошедшие прогон РЭС имеют интенсивность отказов меньше, чем при изготовлении ($\lambda_{нач}$) и соответствуют требованиям ТЗ по надёжности.

П-й участок $\lambda = \text{const } t$.

Ш-й период старения и износа. В период приработки выходят из строя элементы со скрытыми дефектами. Для сокращения времени приработки, проводят тренировку элементов. Значения интенсивности отказов элементов определяются для периода нормальной работы, где могут проходить только случайные отказы элементов.

Средняя наработка до отказа (среднее время безотказной работы)

$$T_i = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$T^* m = \sum_{i=1}^n t_i / n$ - но этот способ неудобен, поэтому определим по другому.

Определяют время t_n в результате которого все элементы выходят из строя, интервал времени Δt_i , Δn выходящих из строя в течение этого интервала, тогда

$$Tm = \sum_{i=1}^n \Delta n_i t_{cpi} / n, \text{ где } m = t_n / \Delta t, t_{cp} = (t_{i-1} + t_i) / 2$$

10.2 Основной закон теории надежности.

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = [-1 / P(t)] \cdot [dP(t) / dt] = [d / dt] \cdot [enP(t)]$$

Интегрируя в пределах от нуля до t .

$$-\int_0^t \lambda(t) d(t) = enP(t) \text{ и следовательно}$$

$$P(t) = e - \int_0^t \lambda(t) dt$$

на 2-м участке кривой, где $\lambda(t) = \text{const}$

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad T_i = 1 / \lambda \quad \lambda \dots = 10^{-8} 1 / \text{час} \quad T_i = 10^8 \text{ часов}$$

10.3 Показатели надежности в восстанавливаемой аппаратуре

1) поток отказов - последовательность отказов в данной РЭС в течении времени ее эксплуатации

2) пуассоновский поток отказов :

а) стационарность;

б) отсутствие последействия;

в) ординарность.

Возникает при

условиях:

- РЭС состоит из большого числа компонентов, каждый из которых влияет на отказ системы;
- аппаратура прошла приработку;
- отказы взаимонезависимы;

- надежность каждого элемента (компонента) высока.

Кроме потока отказов существует поток восстановлений (ремонтов). Так же как для отказов существует λ -суммарная интенсивность отказов РЭС и средняя работа на отказ $T^o=1/\lambda$, так и для ремонтов существует среднее время ремонта $T^p=1/\mu$, где μ - интенсивность ремонта.

Для восстанавливаемых и обслуживаемых систем вводится коэффициент готовности

$$K_g = \mu / (\mu + \lambda) = T_o / (T_p + T_o)$$

$$\text{И коэффициент простоя } K_p = \lambda / (\mu + \lambda) = T_p / (T_p + T_o)$$

Физический смысл K_g - вероятность того, что в данный момент РЭС исправна (работоспособна)

Физический смысл K_p - вероятность того, что в данный момент РЭС неисправна

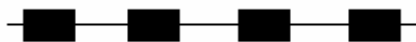
$$K_g + K_p = 1$$

10.4 Структурные схемы надежности

Элемент - изделие, надежность которого заранее известна.

Система - изделие, надежность которого определяют через надежность каждого элемента.

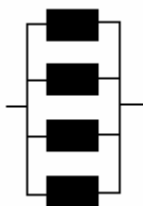
а) последовательная схема надёжности- отказ одного элемента приводит к отказу всего устройства



$$P = \prod_{i=1}^4 p_i = e^{-\sum \lambda_i \tau}$$

$$T_{cp} = 1 / \lambda_{\Sigma} = 1 / \sum \lambda_i$$

б) параллельная схема надёжности- отказ одного элемента не приводит к отказу всего устройства и только отказ всех элементов приведёт к отказу устройства (части устройства с параллельной схемой). Параллельная схема характерна для узлов РЭС с резервированием.

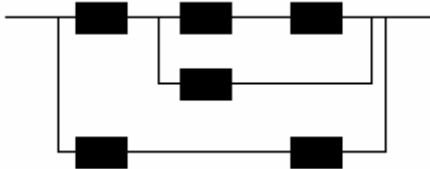


$$q_i = 1 - P_i; Q = \prod_{i=1}^4 q_i = \prod_{i=1}^4 (1 - P_i)$$

$$P_{\Sigma} = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - P_i)$$

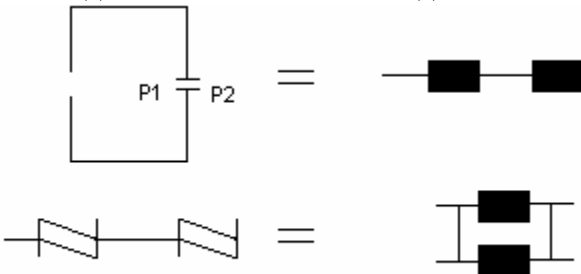


в) смешанная схема



$$P_{23} = P_2 P_3; P_{234} = 1 - (1 - P_2 P_3) \cdot (1 - P_4)$$

Необходимо отличать схемы надежности и электрическую схемы.



10.4 Методы расчета надежности

При расчете структурных схем используются различные методы при различных объемах информации:

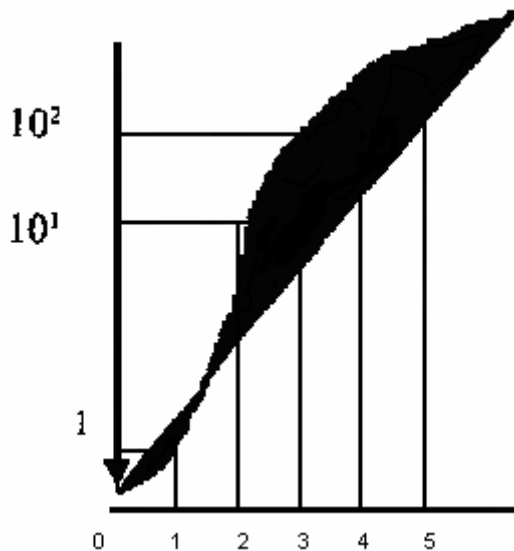
1) прикидочный (ориентировочный) расчет.

Используется на ранних этапах проектирования, когда известна структурная схема, но нет информации о режимах работы.

Допущения:

- отказы случайны и независимы;
- вероятность отказа элементов изменяется по эксп-му закону;
- все элементы соединены.

Расчет базируется на разделении элементов на группы (акт. и пасс), определение их вероятности безотказной работы. А учет условий эксплуатации проводятся с помощью поправочных коэффициентов.



Могут решаться задачи анализа надежности и её нормирования.

Анализ надежности

Устройство содержит 10VT

$$\lambda_{\alpha} = k^3 \lambda_0 = 1.33 \cdot 10^{-6} [1/\text{час}]$$

а) Определить безотказность работы в течение 50 часов

Число пассивных элементов = $N_n = (10 \dots 15) N_{сч}$; $N_{\Sigma} = 150$

$$\lambda_{\Sigma} = N_{\Sigma} \lambda_{\alpha}; \quad \lambda_{\Sigma} = 150 \cdot 1.33 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$P = e^{-2 \cdot 104.50} = 0.99$$

б) Рассчитать надежность каждого элемента по заданной надежности

$$D(50) = 0.99; \quad N = 150$$

$$\lambda_a = 1/N \ln(1/P) = 1/(150-50) \cdot \ln(1/0.99) = 1.33 \cdot 10^{-6} [1/\text{час}]$$

10.4 Окончательный расчет надежности

Учитывает все условия и особенности почти разработанной схемы. К этому моменту известно:

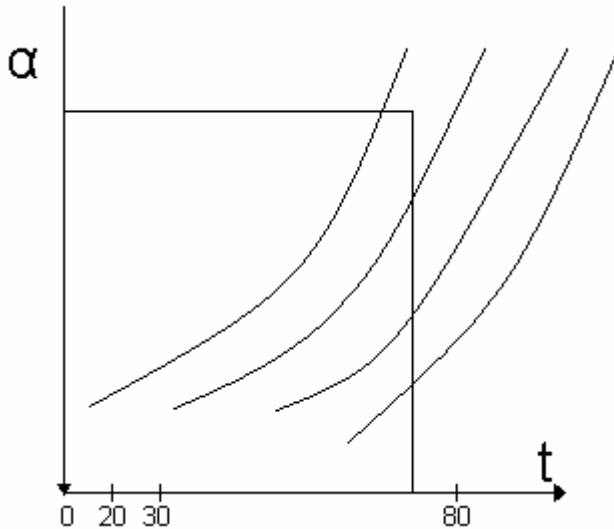
- полная электрическая принципиальная схема;
- типонамины всех компонентов;
- характеристики электрические режима работы;
- характер и степень защиты аппаратуры;
- конструктивно-технологические особенности (число паяных и сварных соединений, технологические методы их выполнения и степень герметизации);
- точная схема надежности.

Допущения:

- справедлив эксп. закон для интенсивности работы элементов
- данные об интенсивности отказов достоверны

- учет и условия эксплуатации проводятся с помощью поправочных коэффициентов. Эл. режим используется с помощью Кнагр. Интенсивность отказов у резисторов увеличивается при увеличении $P_{расс}$, а у конденсаторов при увеличении $V_{рабоч.}$

$$K_n = P_p / P_n ; \quad \alpha = f(k_{нт}^\circ) = \lambda_1 / \lambda_0 , \text{ где } \lambda_1 - \text{конкретная } \lambda_0 - \text{лабораторная}$$



Расчет состоит из:

- определения типа элемента и его характеристик;
- отбор таблиц, графиков;
- определение эл. нагрузок и влияние внешней среды;
- определение по таблицам и графикам интенсивность отказов каждого элемента в реальных условиях;
- определение интенсивности отказов всего изделия;
- расчет количественных характеристик надежности.

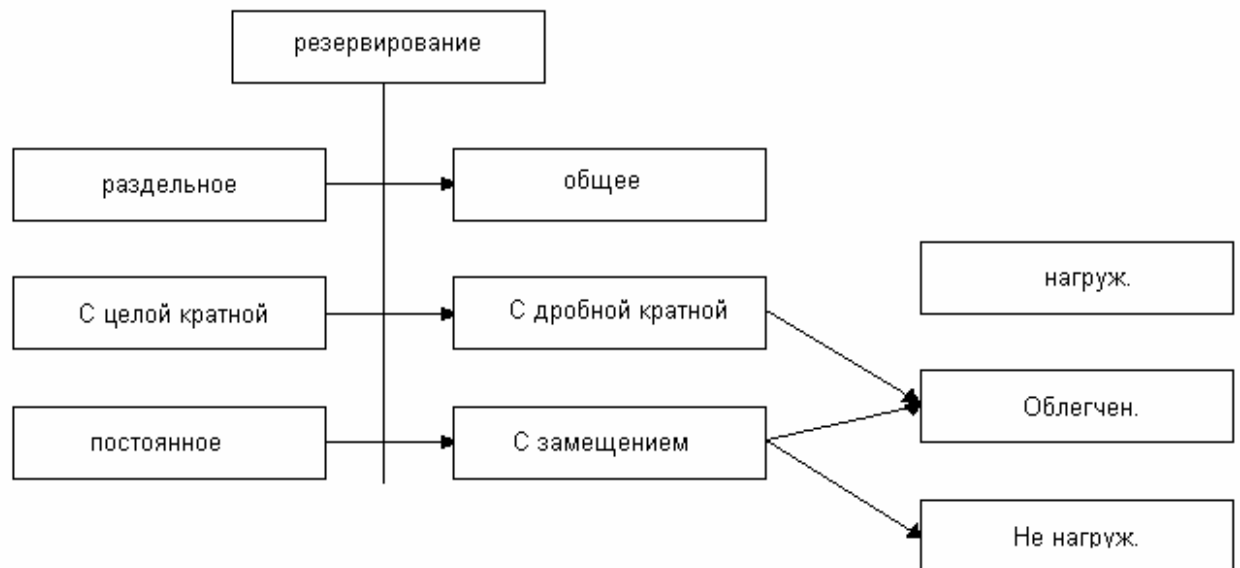
10.5 Структурное резервирование

Резервирование - метод повышения надежности путем введения запасных (резервных) элементов, являющихся избыточными по отношению к функциональной схеме РЭС.

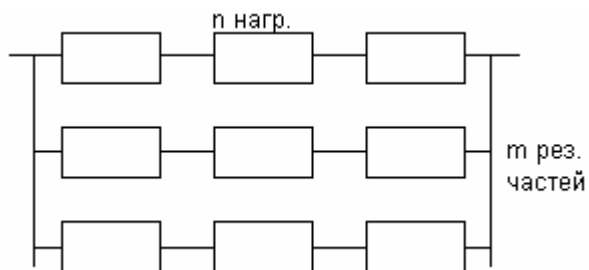
По способу включения резервного элемента разделяют постоянное или с замещением, т.е. резервный элемент включается при отказе основного.

Резервный элемент может находиться либо в нагруженном состоянии, либо в облегченном (под частичной нагрузкой), либо быть совсем отключенным. А также: подразделяют общее и раздельное резервирования.

Схемы резервирования:



Общее резервирование: резервируется вся система в целом



P_{ij} – вероятность i -го элемента в j -ой цепи

$P_j = \prod_{i=1}^n P_{ij}$ - вероятность цепи

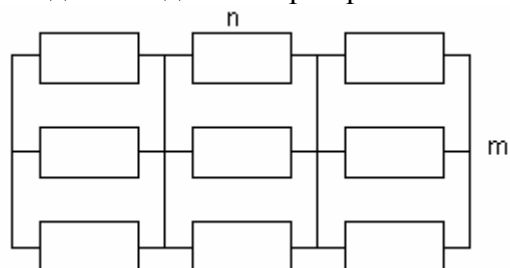
$P_{общ} = e - [1 - \prod_{i=1}^n P_j]^m$ - общая вероятность

$m = \ln(1 - P_{общ}) / \ln(1 - \prod_{i=1}^n P_j)$ - общее количество цепи; $r = m - 1$ – кратность

резервирования

Раздельное резервирование

Вводится отдельный резервный элемент для каждого основного элемента



$P_{общ} = \prod_{i=1}^n (1 - (1 - P_{ij})^m)$;

$r = m - 1 = [\ln(1 - \sqrt[n]{P_{общ}}) / \ln(1 - P_{ij})] - 1$

Сравнительные характеристики общего и отдельного резервирований

Пусть элементы схемы равнонадежны и вероятность отказа =

$$P_{общ} = 1 - (1 - p^n)^m; \quad P_{разд} = [1 - (1 - P)^m]^n$$

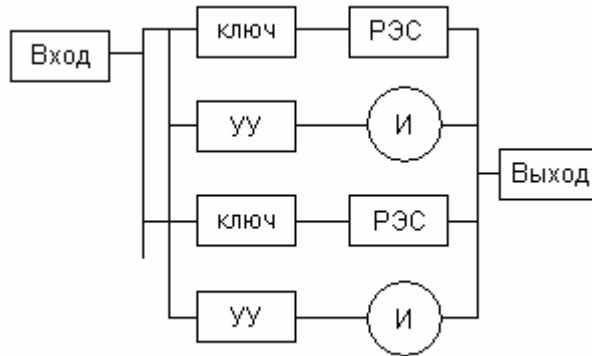
$$q \ll 1; \quad q < 0,1$$

$$P_{общ} \approx 1 - n^m q^m; \quad P_{разд} \approx 1 - nq^m$$

$$Q_{общ} = n^m q^m; \quad Q_{разд} = nq^m$$

Резервирование замещением.

Отказавший основной элемент заменяется с помощью переключателя на резервный, который выполняет функцию основного элемента.



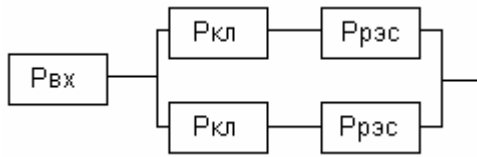
УУ – устройство управления

И – индикатор

УУ и И = 1

Структурная схема надежности

При резервировании возникает проблема надежности ключей



$$P(t) = P_{вх} (1 - [1 - P_{кл} P_{рэс}]^m)$$

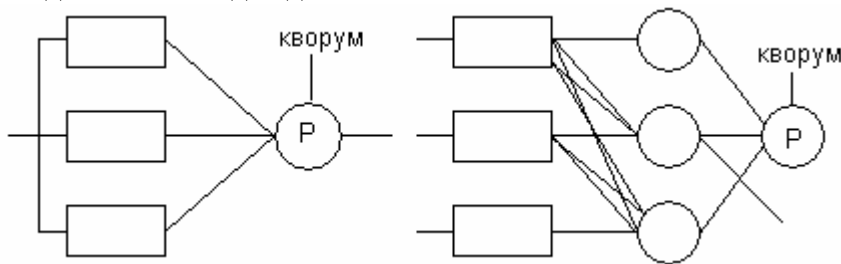
$P_{кл}(t) > P_{рэс}(t)$ - должно быть, иначе аппаратура менее надежна, чем до резервирования.

Переключение может быть автоматическим (быстрее), либо ручным (надежнее).

Резервный элемент может быть нагруженным, ненагруженным и в облегченном состоянии. При нагруженном резервировании элемент работает в том же режиме, что и основной, при ненагруженном режиме полностью обесточен, при облегченном элемент подключен, но в облегченном эл. режиме.

$$T_{ср2} > T_{ср3} > T_{ср1}$$

Мажоритарное резервирование (голосованием) применяется только для цифровой техники и использует кворум-элемент, формирующий свой выходной сигнал 0 или 1, в зависимости от состояния 0 и 1, в котором находится большинство элементов на его входе. Число входов должно быть нечетным и не менее 3-х.



10.6 Методы оценки надежности на МСБ.

Экспериментальная оценка интенсивности отказа для МСБ невозможно, т.к. λ (интенсивность отказа) = 1/час и проведение испытаний требует большого количества времени и средств. Для оценки их надежности используются методы, в основе которых положены методы о том, что любую ИС или МСБ можно рассматривать как узел, состоящий из разнородных дискретных элементов. Это позволяет рассчитать $\lambda_{мсб}$ простым суммированием составляющих элементов. Учет реальных условий эксплуатации производится за счет поправочного коэффициента.

$$\alpha = f(k_n \cdot t); \lambda_{мсб} = N\alpha\lambda_t + N_d\lambda_{дтд} + \dots + (3N_t + 2N_d + \dots)\lambda_{соедасоед}$$

10.7 Физический (причинный) метод оценки надежности.

Основывается: безотказность - функция стабильности качества и устойчивости групповых методов изготовления МСБ и ИС. Изготовление большинства ИС и МСБ базируется на технологических типовых процессах. Можно считать, что МСБ и ИС разного назначения и разной степени интеграции являются технологически однотипными, т.е. не взирая на их различие можно анализировать причину и физику их отказов. Полученные результаты распределяются на однотипные ИС и МСБ. Для определения λ изделия систематизируются с выделением компонент ненадежности. В ИС выделяют 4 компонента ненадежности:

- внешние соединения
- внутренние соединения

- корпус
- S пов-ти

$$\lambda_{нс} = N_{вн.соед}\lambda_{вс} + N_{внут.соед}\lambda_{вс} + \lambda_{к2} + \lambda_{сS}$$

Считаются отказы

внутр 26%, внеш 30%, корпус 25%, S 19%

10.8 Конструктивно-технологические методы обеспечения надежности РЭС

подразделяются на общие и специальные.

Общие:

- четкая регламентация условия эксплуатации и защита от внешних воздействий (тепла, вибрации и т.д)
- уменьшение числа используемых элементов и оптимальный выбор функциональной схемы (не допускать лишние функции, не предусмотренные ТЗ, приводящие к увеличению числа элементов);
- выбор комплектующих элементов, обладающих высокой надежностью;
- проведение схемных и конструктивных мероприятий, обеспечивающих щадящий режим работы элементов и снижение коэффициентов нагрузки;
- реализация технологических мероприятий, обеспечивающих бездефектное изготовление устройств
- проведение всесторонних испытаний, обеспечивающих наиболее полное выявление любых схем и конструкций
- создание системы всесторонних производственных испытаний, обеспечивающих выявление производственных дефектов аппаратуры и ее элементов
- создание системы наблюдения за качеством работы устройств период работы и профилактики.

Специальные: резервирование

10.8 Эксплуатационные методы обеспечения надежности РЭС

1 Снижение коэффициентов электрических нагрузок элементов, особенно при включении/выключении:

- плавное включение (например накала лампы)
- плавное выключение

2 Использование рациональных режимов работы РЭС, позволяющих снижать мощность, напряжение, ток до величин, обеспечивающих требуемое функционирование. Отсутствие постоянной работы на максимальных режимах

3 Проведение технического обслуживания:

– Чистка фильтров, радиаторов, смазка вентиляторов приводит к уменьшению температуры а значит к повышению надёжности.

– Замена элементов при ТО, выработавших свой ресурс (лампы, вентиляторы, электролитические конденсаторы)

4 «Выжигание» неисправностей осуществляется при производстве (прогон), опытной эксплуатации и штатной эксплуатации или ТО. В этом случае подбирают наименее ответственное время (выходной, ночь) и включают РЭС на полную нагрузку/мощность. Ненадежные элементы сгорят в присутствии оператора и будут заменены.

5 Прогнозирование отказов

6 Применение резервирование, не предусмотренного при проектировании. В том случае возможно холодное или теплое резервирование (например закупка резервного экземпляра РЭС и хранение его на складе (холодное) или во включенном состоянии, но без нагрузки (теплое)).