



Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Конструирование и производство
приборов»

ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ
Часть 2 Основы теории надежности
Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-38 01 01
«Механические и электромеханические приборы и аппараты»

Электронный учебный материал

Минск ◊ БНТУ ◊ 2015

УДК 681.2 (07)

Автор:
Суровой С.Н.

Рецензент:
Соколовский С.С.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 232-77-52 факс (017) 232-91-37
E-mail: emd@bntu.by
<http://www.bntu.by/ru/struktura/facu1t/psf/im/>
Регистрационный № _____

Учебное пособие содержит ряд теоретических разделов, рассматривающих основные вопросы теории надежности измерительных устройств. Большое внимание в пособии уделено испытаниям на надежность, различным методам и способам резервирования, а также влиянию условий эксплуатации на надежность. Учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентами как заочного, так и дневного отделения специальностей, изучающих дисциплину «Теория и расчет измерительных приборов и систем».

©БНТУ, 2015
© Суровой С.Н., 2015

Содержание:

1. Проблема надежности и ее значение для современной техники.....	3
2. Обеспечение надежности.....	3
3. Основные понятия теории надежности.....	4
4. Экономические показатели надежности.....	7
5. Выбор показателей надежности технических устройств.....	8
6. Оценка функционирования технических устройств.....	9
7. Факторы, влияющие на выбор показателей надежности.....	9
8. Методика выбора основных показателей надежности технических устройств.....	11
9. Классификация и причины отказов машин и приборов.....	12
9.1 Источники и причины отказов.....	12
9.2 Классификация отказов.....	13
10. Надежность, определяемая процессами, происходящими в элементах и узлах машин и приборов.....	15
11. Надежность, определяемая повреждениями механических деталей и сопряжений.....	18
12. Надежность, определяемая свойствами проводниковых и изоляционных материалов.....	21
12.1. Надежность изоляционных материалов.....	21
12.2. Надежность, определяемая свойствами проводниковых материалов.....	21
13. Общая схема изменения показателей работоспособности.....	23
14. Сроки службы прибора при различных видах отказа.....	24
14.1 Сроки службы при износных постепенных отказах.....	25
14.2 Сроки службы при внезапных отказах.....	26
14.3 Вероятность безотказной работы детали при совместном действии внезапных и износных отказов.....	27
15. Методы и способы функционального резервирования.....	28
15.1 Резервирование элементов электронных схем по нагрузке.....	31
15.2 Смешанное резервирование элементов.....	32
16. Основные методы повышения безотказности работы.....	32
17. Виды испытаний на надежность и их классификация.....	35
18. Планы определительных испытаний.....	36
19. Определение минимального числа объектов наблюдений.....	37
20. Определительные испытания.....	38
21. Метод однократной выборки.....	38
22. Ускоренные испытания.....	39

22.1	Метод усиления режима работы изделия.....	40
22.2	Метод сокращения простоев и холостых ходов.....	40
22.3	Метод увеличения точности измерения параметров.....	40
22.4	Метод условных полей допусков.....	41
22.5	Метод сопряженных распределений.	41
22.6	Метод испытаний с использованием закономерностей отказов.....	41
23.	Контрольные испытания.....	42
24.	Контрольные испытания при числе допустимых отказов, равных нулю.....	43
25.	Испытания по методу последовательного анализа.....	43
26.	Методы исследовательских испытаний на надежность.....	46
27.	Лабораторные испытания.....	47
28.	Граничные испытания.....	48
28.1	Аналитический способ.....	49
28.2	Графический способ.	49
28.3	Графо-аналитический способ.....	50
29.	Условия эксплуатации и их влияния на показатели надежности.....	51
29.1.	Климатические зоны и факторы, влияющие на надежность.....	51
30.	Особенности имитации действия внешних факторов при организации испытаний на надежность.	54
30.1	Испытания на вибропрочность.....	55
30.2	Испытания на виброустойчивость.....	55
30.3	Испытания на ударную прочность.....	55
30.4	Испытания на транспортирование.....	56
30.5	Испытания на устойчивость к воздействию центробежного ускорения.....	56
30.6	Климатические испытания.....	56
31.	Назначение гарантийных сроков.....	58
32.	Определение оптимального уровня надежности.....	59
	Литература	61

1. Проблема надежности и ее значение для современной техники

Проблемой надежности занимались всегда с тех пор, как появилась техника. ненадежные изделия никогда никому не были нужны.

В последнее время проблема надежности технических систем и входящих в них элементов сильно обострилась. Это обусловлено следующими причинами:

- 1) ростом сложности современных технических систем, включающих до $10^4 - 10^6$ отдельных элементов.
- 2) интенсивностью режимов работы системы или ее отдельных частей.
- 3) сложностью условий, в которых эксплуатируется техническая система.
- 4) требованиями к качеству работы системы.
- 5) повышением ответственности функций, выполняемых технической системой, высокой технической и экономической ценой отказа.
- 6) полной или частичной автоматизацией и исключением непосредственного участия человека при выполнении технической системы ее функций.

Сложность условий, в которых может эксплуатироваться современная техническая система, характеризуется работой в широких диапазонах температур (от -70°C до $+70^{\circ}\text{C}$), наличием вакуума, высокой влажностью (98-100%), вибрациями с большой амплитудой и широким спектром частот, наличием линейных ускорений (10..30)g до 20000g, наличием высокой солнечной радиацией.

Ответственность функций, выполняемых современными техническими системами, связаны с тем, что отказ их приводит к крупным техническим и экономическим потерям, а в ряде случаев это может вызвать катастрофические последствия. Примеров этому очень много: отказ элемента стоимостью в 4 цента привел к аварии в парижском аэропорту Боинга 707, в результате аварии самолет полностью сгорел. В Москве в конце 2005 года произошла авария в системе энергоснабжения. В течении 10 часов огромная территория с более 10 миллионным населением оставалась без света. Убытки составили более 100 млн \$. Самой грандиозной аварией, связанной с низкой надежностью оборудования, явилась авария на Чернобыльской АЭС, последствия которой будут оценены лишь будущими поколениями.

2. Обеспечение надежности

Проблема обеспечения надежности связана со всеми этапами создания изделия, а также со всем периодом его практического использования. Надежность изделия закладывается в процессе его конструирования и расчета, и обеспечивается в процессе его изготовления путем правильного выбора технологии производства, контроля качества материалов, полуфабрикатов, а также условий и режимов изготовления. Надежность сохраняется применением правильных способов хранения изделий и поддерживается правильной эксплуатацией его, планомерным уходом, контролем и ремонтом.

1. При проектировании изделия должны быть учтены следующие факторы:

- 1). Качество применяемых комплектующих и деталей. Выбор комплектующих и деталей должен быть проведен с учетом условий работы изделия (климатических и производственных условий). Разработка сложных изделий показала, что использование

унифицированных узлов и элементов значительно повышает надежность изделия, что связано с тем, что унифицированные элементы лучше отработаны в схемном и конструктивном отношении и имеют установившуюся и хорошо контролируруемую технологию изготовления.

2). Режимы работы компонентов и деталей. Режимы должны соответствовать их физическим возможностям. Использование компонентов и деталей в режимах, не предусмотренных для их применения, является одним из источников отказа. Неправильный выбор рабочих режимов обычно происходит от незнания конструктором свойств элементов, их характеристик, влияния различных физических факторов и особенностей применения.

3). Доступность всех частей изделия (деталей, узлов, блоков) для осмотра, контроля, ремонта или замены.

4). Защитные устройства. При проектировании машин необходимо такое построение схем и конструкций, чтобы отказ элемента или узла не приводил к аварийному состоянию всего изделия.

II. При производстве изделий должен соблюдаться ряд условий, связанных с поддержанием технологической дисциплины.

1). Должный контроль качества, т.е. физико-химических свойств, характеристик и параметров материалов и комплектующих.

2). Недопущение нарушения режимов технологии сборки и правил электрического монтажа.

3). Должный контроль по операциям при выпуске готовой продукции.

4). Периодическая проверка качества и надежности готовой продукции.

III. При эксплуатации изделий основными факторами, влияющими на надежность, являются:

1). Условия эксплуатации (производственные и климатические).

2). Тщательно продуманная система технического обслуживания.

3). Квалификация и ответственность обслуживающего персонала имеют немаловажное значение для обеспечения надежности и долговечности изделий.

Можно оценить хотя бы приближенно значение отдельных факторов на надежность изделия. Исследование отказов и дефектов различных видов оборудования показывает, что 40-45 % от общего числа отказов происходит от ошибок, допущенных при проектировании, 20 % - от ошибок при производстве, 30 % приходится на долю эксплуатационных условий и неправильных режимов использования, 5-7 % - на отказы естественного износа и старения.

3. Основные понятия теории надежности

В настоящее время в РФ действует ГОСТ 27.002 «Надежность в технике. Основные понятия, термины, определения», регламентирующий терминологию в области надежности в технике. ГОСТ направлен на решение ряда задач, из которых важнейшими являются:

1). Достижение единства основных терминов, применяемых в документации всех отраслей промышленности, в технической и учебной литературе.

2). Введение во вновь разрабатываемые стандарты показателей надежности промышленных изделий.

3). Применение объективных методов математической статистики при оценке надежности, долговечности изделий.

ГОСТ содержит 120 основных терминов по надежности, общих для разных отраслей техники, без которых не возможно взаимопонимание специалистов различного профиля. Все термины можно разделить на 10 групп:

- 1). Общие понятия
- 2). Состояния
- 3). Дефекты, повреждения, отказы
- 4). Временные понятия
- 5). Техническое обслуживание, ремонт
- 6). Показатели надёжности
- 7). Резервирование
- 8). Нормирование надёжности
- 9). Обеспечение, определение и контроль надёжности
- 10). Испытания на надёжность

Понятие работоспособности и неисправности не тождественны. Это связано с тем, что все параметры, характеризующие изделия, можно разделить на 2 группы:

- 1). Параметры, влияющие на эксплуатационные показатели изделия.
- 2). Параметры, не влияющие на эксплуатационные показатели изделия.

Исправность предполагает, что выполняются все требования, относящиеся к 2 группам, а работоспособность – лишь к первой группе.

Важнейшие исходные понятия теории надёжности, а именно **работоспособность** изделия определяется как такое его состояние, когда оно способно выполнять свои основные функции, с параметрами, удовлетворяющими требованиям технической документации.

Изделие будет иметь возможность, т.е. будет нормально выполнять свои функции до тех пор, пока не случится какого либо события, вследствие которого оно перейдёт из работоспособного в неработоспособное состояние.

Переход изделия из работоспособного состояния в неработоспособное называется **отказом**.

Возвращение изделия из неработоспособного состояния в работоспособное состояние называется **восстановлением работоспособности** изделия, и обычно для восстановления работоспособности требуется ремонт, регулировка либо другое вмешательство со стороны обслуживающего персонала. Но возможно и **самовосстановление** – когда вышедший за границу области допустимых значений параметр возвращается в неё за счёт самопроизвольного изменения условий эксплуатации.

При этом переход одного или нескольких параметров через границу области допустимых значений может происходить как непрерывно, так и скачкообразно. Если речь идет об отдельной детали или элементе, то характеристикой ее работоспособности является срок службы или наработка.

Срок службы – календарная продолжительность работы изделия или детали.

Наработка – это продолжительность работы изделия в часах, или в единицах, характеризующих длительность работы изделия.

Общее понятие куда входит группа свойств содержит:

- 1) безотказность

- 2) ремонтпригодность
- 3) сохраняемость
- 4) надежность
- 5) долговечность

Свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение заданного времени без вынужденных перерывов называется его безотказностью. Безотказность конкретного изделия измеряется наработкой до первого отказа.

После отказа работоспособность изделия, как правило, может быть восстановлена. При этом обнаружение отказа, выявление его причин и устранение могут потребовать больших или меньших затрат времени и труда в зависимости от конструкции изделия, наличия запасных частей, необходимого инструмента.

Приспособленность изделия к восстановлению его работоспособности после отказа и к поддержанию работоспособности путем предупреждения отказов называется ремонтпригодностью.

Надежность изделия зависит также от его приспособленности к хранению и транспортировке. Не редки случаи, когда изделия, например приборы, после транспортировки либо вовсе теряют свою работоспособность, либо их показатели точности на столько снижаются, что при использовании прибора отказ наступает достаточно скоро.

Свойство изделия сохранять свою безотказность и тем более работоспособность в определенных условиях его хранения и транспортировки называется его сохраняемостью.

Указанные три свойства (безотказность, ремонтпригодность и сохраняемость) в совокупности определяют надежность изделия, т.е. свойство его выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели (основные параметры) в заданных пределах в течение требуемого времени.

Основным показателем надежности является вероятность безотказной работы $P(t)$ в пределах заданного времени t .

$$P(t) < 1$$

Часто вероятность безотказной работы называется коэффициентом надежности. Она оценивает вероятность того, что за период времени t или же в заданном интервале времени при регламентированных режимах работы и условиях эксплуатации прибора отказ не возникает.

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}$$

где λ_{Σ} – суммарная интенсивность отказов

При оценке безотказности прибора нас интересует сам факт прекращения нормального функционирования прибора и не интересует время и средства, необходимые для восстановления утраченной работоспособности.

Значение $P(t)$ имеет смысл лишь при указании периода времени, в течение которого должно выполняться условие выполнения безотказности работы прибора.

Безотказность работы машины или прибора характеризуется и другими показателями. Например такими, как наработка на отказ $T_{ср}$ – среднее время работы или наработка между отказами, λ – интенсивность отказов – вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени t при условии, что отказ до этого момента не возникал. Безотказность характеризует

непрерывное сохранение работоспособности прибора или машины. Длительность отказа, т.е. время которое требуется для восстановления утраченной работоспособности при этом не рассматривается.

$$\lambda = \frac{\Delta N}{N \Delta t} \quad t \rightarrow 0$$

$$[\lambda] = [ч^{-1}]$$

К этим свойствам непосредственно примыкает и долговечность. Это свойство изделия сохранять свою работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Время работы изделия или его наработка до предельного состояния, оговоренная в технической документации, называется ресурсом.

Предельное состояние обуславливается физической стойкостью изделия, опасностью его дальнейшей эксплуатации либо экономическими факторами. Для многих машин и приборов – это время до капитального ремонта либо весь период эксплуатации до наступления морального износа. Долговечность изделия зависит главным образом от долговечности деталей. Определить долговечность любой детали сравнительно просто, так как она определяется числом часов работы или наработки. Значительно труднее определить долговечность всего изделия в целом.

Любое изделие можно ремонтировать много раз, заменяя изношенные детали. Стремиться при всех условиях к максимальной долговечности технического изделия было бы неправильно, т.к. необоснованно завышенные сроки работы машин и приборов могут привести к техническому застою, затормозить темпы технического прогресса. Очевидно, что для каждого вида изделия должны быть выбран и обоснован показатель не машинальной, а оптимальной долговечности. Необходимо подчеркнуть, что долговечность и безотказность не идентичные понятия. Они отражают разные стороны одного явления.

Рассмотрим 6-ую группу показателей:

Они разбиты на 5-ть подгрупп по свойствам и выделена подгруппа комплексных показателей.

В ГОСТ приводится 29 терминов, характеризующих показатели надежности. Часть из них могут быть достаточно просто выражены с помощью математических формул, которые приводятся в приложении ГОСТа.

Показатели:

1. γ -процентный ресурс
2. наработка на отказ
3. средняя наработка до первого отказа
4. среднее время восстановления
5. коэффициент готовности
6. коэффициент технического использования
7. интенсивность отказов λ
8. параметр потока отказов Λ

Ряд показателей в общем виде трудно выразить с помощью формул:

1. ресурс

2. назначенный ресурс
3. срок службы
4. срок гарантии
5. гарантийная наработка

4. Экономические показатели надежности

Экономические показатели при оценке надежности весьма важны, т.к. повышение безотказности и долговечности машин и приборов с одной стороны связано с дополнительными материальными затратами, а с другой - с повышением эффективности капиталовложений, а также уменьшением затрат общественного труда на ремонт и обслуживание техники, с устранением потерь от простоя машин и приборов в ремонте.

Критерием надежности с экономической точки зрения может служить сумма затрат, связанных с изготовлением и эксплуатацией машины или прибора, отнесенная к длительности его эксплуатации.

$$K_3 = \frac{Q_u + Q_3}{T_3}, \text{ -экономический показатель надежности.}$$

Q_u – изготовление,

Q_3 – эксплуатация.

Следует стремиться к минимальному значению этого показателя за счет рационального распределения капиталовложений между сферой производства и сферой эксплуатации.

При прочих равных условиях, чем дешевле изделие, тем больше затрат приходится на его эксплуатацию. Например, при снижении стоимости электродвигателя на 5 % его эксплуатационные затраты возрастают на 13 %.

Соотношение между стоимостью изготовления и эксплуатации изделия характеризуется коэффициентом эксплуатационных издержек.

$$K_{из} = \frac{Q_u}{Q_u + Q_3} < 1$$

Более высокая надежность достигается за счет дополнительных затрат и в связи с этим часто пользуются понятием цены надежности. Общие затраты на изготовление изделия складываются из постоянных затрат $Q_{п}$, независимых от требований надежности, $Q_{н}$ - переменная составляющая затрат, обусловленная требованиями надежности.

$$Q_{и} = Q_{п} + Q_{н}$$

В производстве систематически накапливают данные о соотношении степени безотказности и стоимости различных изделий. Для прогнозирования затрат на повышение надежности в ряде случаев применяют метод сравнения с прототипом, на основании общих эмпирических зависимостей, полученных в результате обработки опытных данных о цене надежности. Во многих случаях эта зависимость для цены надежности имеет степенной характер.

$$Q_{н} = Q_{но} \left(\frac{T}{T_0} \right)^a$$

$Q_{но}$ - цена надежности аналога или прототипа,

T_0 – наработка на отказ (средний срок службы прототипа),

T – наработка на отказ проектируемого изделия,
а – эмпирический показатель, характеризующий уровень прогрессивности производства с точки зрения возможностей заданного повышения надежности изделия.

5. Выбор показателей надежности технических устройств

Анализируя ГОСТ 27.002 мы имеем дело с большим числом показателей надежности. Необходимо установить, какими показателями должна характеризоваться надежность, а также какие из широкой гаммы показателей надежности следует выбрать в качестве основных, с тем, чтобы их можно было использовать как характеристики одного из основных технических свойств изделия.

Решение этого вопроса должно быть технически обосновано, т.к. отсутствие такого обоснования приводит к произволу при выборе показателей, а это в свою очередь может привести к неправильным решениям при разработке и конструировании изделия.

Предположим, что необходимо оценить надежность изделия, которая полностью определяется безотказностью. Примером такого изделия может служить искусственный спутник Земли. Свойство сохраняемости для него не является определяющим, а период работы до предельного состояния совпадает с периодом времени безотказной работы. Так как ремонт спутника невозможен, то свойство ремонтпригодности не является для него характерным.

6. Оценка функционирования технических устройств

Для количественного анализа процесса функционирования технических устройств и оценки результатов функционирования необходимо построить математическую модель. Математическая модель процесса функционирования технического устройства получается в результате формализации этого процесса, т.е. четкого формального описания характеристик процесса и его параметров. Под процессом функционирования технических устройств понимают последовательную смену состояний этих устройств во времени, т.е. смену состояний, которые соответствуют функционированию технических устройств при выполнении задачи, для которой эти устройства предназначены. Одним из важнейших свойств изделия является способность сохранять в процессе функционирования значения выходных параметров с заданной точностью.

Можно указать на одну общую для всех изделий черту: в том или ином виде оценка функционирования технического устройства представляет собой оценку полезности изделия. Полезность многих промышленных изделий может быть оценена в стоимостном выражении той продукции, которую они вырабатывают, и можно говорить о доходе, который эти изделия приносят.

Однако нередко экономическая оценка полезности затруднена или же практически невозможна ввиду специфики назначения изделия. Во многих случаях отсутствует необходимость в такой оценке. В таких случаях оценку полезности изделий также называют доходом, учитывая, однако, что это название носит условный характер.

Доход от эксплуатации конкретного изделия представляет собой случайную величину, и поэтому оценкой функционирования изделий данного типа можно считать математическое ожидание дохода:

$$\bar{C} = MC[x(t)]$$

$x(t)$ –случайная функция, описывающая модель эксплуатации изделия.

Очевидно, что многообразие технических устройств, методов их эксплуатации, требований, предъявляемых к ним во время эксплуатации обуславливает различные виды функций $x(t)$ и $C(t)$. Поэтому проанализируем, какими факторами характеризуются изделия и условия их эксплуатации в целях определения тех из них, которые влияют на вид функции $C(t)$ и, следовательно, на выбор показателей надежности.

7. Факторы, влияющие на выбор показателей надежности

Характеристика состояния изделия в период эксплуатации будет полной в том случае, если учитывается весь комплекс факторов, влияющих на процесс реализации изделия в эксплуатации и на его надежность. При этом надежность изделия зависит как от числа воздействующих факторов, так и от степени их влияния. Факторы, влияющие на надежность изделия, можно разделить на 8 классов. Каждый класс по соответствующей общности признаков делится на подклассы, подклассы на группы, группы на подгруппы, подгруппы на виды.

В I классе приведены факторы, характеризующие особенности конструктивного решения. При этом подклассы определяют ремонтпригодность изделия, т.е. является ли изделие ремонтпригодным или неремонтпригодным.

К неремонтпригодным относятся изделия, работоспособность которых после отказа не может быть восстановлена вследствие их физико-химических или конструктивных особенностей, или же их восстановление нецелесообразно экономически. Свойство ремонтпригодности закладывается на этапе проектирования изделия. Вынужденный в большинстве случаев из-за крайнего дефицита экономически неоправданный ремонт неремонтпригодных изделий не может служить основанием для их перевода в подкласс ремонтируемых. Такой ремонт неремонтируемых изделий в большинстве случаев сводится к созданию нового неремонтпригодного изделия кустарными дорогостоящими способами.

К ремонтируемым изделиям относятся изделия, работоспособность которых в случае возникновения отказа может быть восстановлена с помощью ремонта. Эти изделия могут подвергаться и другим видам технического обслуживания (профилактика, юстировка, смазка и т.д.).

Факторы характера и режима использования изделий по назначению, отражают продолжительность эксплуатации, временное распределение нагрузки и ее напряженности в процессе эксплуатации. При этом под эксплуатацией понимают совокупность всех фаз его существования (период хранения и транспортировки у потребителя, подготовка к его использованию, профилактическое обслуживание и все виды ремонта).

Начало периода эксплуатации изделия исчисляется с момента поступления изделия к потребителю, эксплуатация продолжается до отказа, окончания выполнения заданных функций или предельного состояния.

Предельное состояние изделия определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации, обусловленной либо снижением эффективности, либо возможностью нарушения требований безопасности.

Во многих случаях эффективность ремонтируемых изделий может быть восстановлена путем проведения различных видов ремонта (текущий, средний,

капитальный и т.д.). При этом под предельным состоянием могут пониматься эти виды ремонта.

Факторы последствия отказа, как неремонтируемых так и ремонтируемых изделий, делятся на подклассы в зависимости от того, что является доминирующим в оценке функциональных последствий отказа. В общем случае всякий отказ приводит к определенному ущербу. Если этот вопрос рассматривать более детально, то можно заметить, что в ряде случаев ущерб является следствием определенного события, причиной которого был отказ. Схематически это можно представить следующим образом

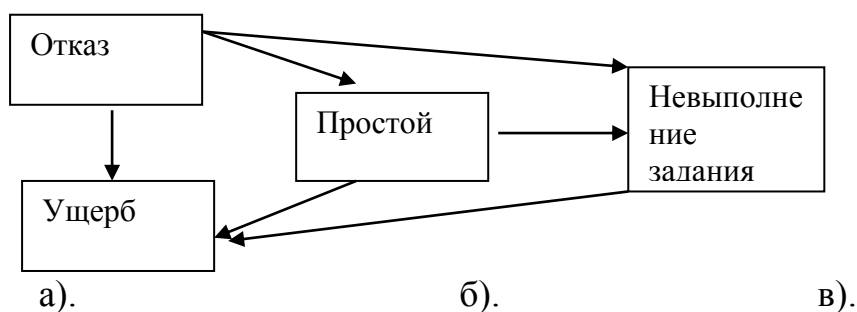


Рисунок а). иллюстрирует случай, когда ущерб является непосредственным последствием отказа. Он обусловлен необходимостью устранения отказа в изделии. При этом простоем не имеет большого значения и не сопровождается материальными затратами (изделия бытовой техники).

На рисунке б). представлен случай, когда отказ приводит к простоям. При этом ущерб, появляющийся вследствие простоя, может превосходить затраты, связанные непосредственно с отказом изделий (обрабатывающее оборудование). В этом случае при оценке ущерба от отказа необходимо, прежде всего, оценить ущерб от простоя. Следовательно, в данном случае доминирующим фактором при оценке функциональных последствий отказа является простоем, его длительность и связанные с ним потери.

На рис в). Изображен случай, когда отказ приводит к невыполнению задания. В этом случае ущерб определяется не непосредственно отказом изделия, а тем, в какой стадии находится процесс выполнения задания (измерительное оборудование). Если задание в целом вследствие отказа оказалось невыполненным, то его выполненная часть во многих случаях не может быть использована и входит в размер ущерба.

Приведенный перечень факторов позволяет классифицировать изделия по общности выполнения этих факторов, и присваивать определенным совокупностям изделий соответствующие шифры. Такая формализация процесса выбора оптимальных показателей надежности позволяет автоматизировать выбор и использовать вычислительную технику.

8. Методика выбора основных показателей надежности технических устройств

Выбор показателей надежности обусловлен характерными признаками изделий (ремонтируемое / неремонтируемое, каким образом определяется длительность эксплуатации, в каком временном режиме оно работает, а также требованиями,

предъявляемыми к нему в процессе эксплуатации), что отражается при определении доминирующего фактора при оценке последствий отказа.

Показатели надежности, полученные при оценке средней величины общего дохода изделия, можно считать основными. Они характеризуют ожидаемый средний уровень надежности изделия, и по ним осуществляется сравнение изделий по надежности. Показатели же, полученные при оценке гарантированного дохода, являются дополнительными. Они позволяют полнее охарактеризовать надежность изделия и определяют либо безотказность, либо ремонтпригодность, либо вариацию основных показателей.

Выбору показателей надежности должно предшествовать установление критериев отказа и предельного состояния.

Выбор критерия отказов производится следующим образом:

1). Устанавливают перечень параметров и допустимые пределы их изменения (исходя из требований потребителя и условий эксплуатации).

2). Устанавливается перечень технических параметров критериев, которые определяют работоспособность изделия.

3). Устанавливают однозначные величины допусков для параметров критериев работоспособности, выход за пределы которых означает отказ, и записывают их в нормативно-техническую документацию на изделие.

4). Устанавливают классифицированный шифр изделия по классификатору и определяют:

4.1. Ремонтируемое или неремонтируемое изделие.

4.2. Критерий ограничения продолжительности эксплуатации.

4.3. Временной режим использования.

4.4. Доминирующий фактор при оценке последствий отказа.

По полученному классификационному шифру выбирают показатели надежности, которые вносятся в соответствующую техническую документацию.

Пример: Определим показатель надежности электрической лампочки.

- Лампочка – изделие неремонтируемое (1-й подкласс 1-го класса)
- Эксплуатируется до отказа (1-й подкласс 2-го класса)
- В зависимости от условий эксплуатации может работать в непрерывном / прерывистом режимах (1-я, 2-я, 3-я группа 2 –го класса)

- При оценке доминирующим является отказ (1-й подкласс 3-го класса)

Возможный шифр: 1111, 1121, 1131

Из таблиц классификаторов следует, что показателем надежности является наработка до первого отказа

9. Классификация и причины отказов машин и приборов

Отказ любого элемента машины или прибора – явление случайное, но причины, обуславливающие появление отказа связаны с определенными физическими и физико-химическими процессами, происходящими в материалах, конструкции на разных этапах ее существования. Течение этих процессов зависит как от режимов работы (внутренних условий), так и от внешних условий работы элемента: температуры, влажности, давления, вибрации, ударов.

9.1. Источники и причины отказов

Любая машина или прибор в процессе эксплуатации подвергается различным внутренним и внешним воздействиям, в результате чего происходит отклонение от номиналов ее основных параметров и характеристик. При работе прибора все виды энергии действуют на его узлы и механизмы, в той или иной мере оказывая влияние на его технические характеристики. При этом, как правило, случайный характер этих воздействий приводит к рассеиванию параметров приборов.

1. Механическая энергия – не только передается по всем звеньям механизмов приборов в процессе работы, но и воздействует на прибор в виде статических или динамических нагрузок от взаимодействия с внешней средой. Силы, возникающие в приборе, определяются и характером рабочего процесса, и инерцией перемещающихся частей, и трением в кинематических парах. Эти силы не являются вполне определенными, а являются случайными функциями времени, т.к. природа их возникновения связана со сложными физическими процессами.

Механическая энергия в приборе может возникнуть и как следствие тех затрат энергии, которые имели место при изготовлении деталей прибора и сохранились в них в потенциальной форме (наличие поверхностных и объемных внутренних напряжений).

2. Тепловая энергия действует на прибор и его части при колебаниях температуры окружающей среды и при осуществлении рабочего процесса. Особенно сильные тепловые воздействия имеют место при работе двигателей, приводных устройств, электротехнических устройств.

3. Химическая энергия. Даже воздух, который содержит влагу и агрессивные составляющие, может вызвать коррозию отдельных деталей и узлов приборов. Если же оборудование работает в условиях агрессивной среды (химическая промышленность, текстильная, пищевая промышленность), то в этом случае химическое воздействие вызывает процессы, приводящие к разрушению отдельных элементов и узлов машин и приборов.

4. Электромагнитная энергия в виде электромагнитных колебаний пронизывает все пространство вокруг прибора и может оказать влияние на работу электронной аппаратуры и электронных блоков и узлов, которые все в большем объеме применяются в современных приборах.

Все виды энергий воздействуют на прибор и его механизмы и вызывают в нем целый ряд нежелательных процессов, которые создают условия для ухудшения его характеристик. Часть процессов, происходящих в приборе и влияющих на его рабочие характеристики, относятся к обратимым процессам, они временно изменяют параметры деталей, узлов и всей системы без тенденции прогрессивного ухудшения. Наиболее характерным примером обратимых процессов является упругая деформация под влиянием внешних и внутренних сил.

Необратимые процессы, которые приводят к прогрессивному ухудшению технических характеристик прибора с течением времени. Наиболее характерными необратимыми процессами являются изнашивание, коррозия, коробление, как результат перераспределения внутренних напряжений, старение.

Все процессы, происходящие в приборе (обратимые и необратимые), влияют на его технические характеристики и приводят к различным видам отказа.

9.2. Классификация отказов

Когда производится исследование и оценка надежности оборудования с конкретной целью, отказы этого оборудования разделяются на группы в зависимости от того, обладают ли они определенными свойствами или признаками, представляющими интерес в данном случае.

В настоящее время существует система классификации отказов, охватывающая их важнейшие свойства. В основном она совпадает с классификацией отказов, принятой в радиоэлектронной промышленности, однако имеются различия и дополнения, связанные с тем, что приборостроительное оборудование существенно отличается от радиоэлектронного оборудования.

В зависимости от признака классификации (от содержания отказа) отказы делятся на:

1. Отказы функционирования (оборудование вообще не выполняет одну из своих функций)
2. Отказы по параметру (оборудование выполняет все функции, но одна или некоторые из них выполняются плохо).

В зависимости от характера процесса, приведшего к отказу, отказы делятся на:

1. Постепенные (обычно являются следствием изнашивания, старения, температурной деформации, усталостных разрушений, коррозии и тому подобных медленных и часто необратимых процессов). Эти процессы приводят к постепенным изменениям свойств деталей. Пока изменения не накопились в количестве, достаточном для появления отказа, он наступить не может, следовательно, существует определенное время от момента начала испытаний, в течение которого появление постепенного отказа практически невозможно. Закон распределения случайного времени работы оборудования до появления наступления отказа – закон нормального распределения.

Внезапные отказы, которые могут наступить в любой момент в следствие случайного резкого возрастания нагрузки на какую-либо деталь прибора. Внезапные отказы возможны тогда, когда оборудование попадает в условия, на которые его конструкция не рассчитана, либо когда его конструкция или качество изготовления фактически не удовлетворены и не соответствуют установленным требованиям, либо тогда, когда приходится при изготовлении оборудования применять элементы, прочность которых заведомо недостаточно высока, чтобы при данных условиях эксплуатации прибора обеспечить полную его безотказность.

Закон распределения случайного времени работы прибора до появления внезапного отказа имеет совсем другой характер, чем у постепенного отказа. Часто этот закон считают экспоненциальным.

Отказы одного и того же вида могут в одних условиях эксплуатации оказаться внезапными, в других – постепенными. Так, если новое оборудование попадает в условие, где на какой-либо его элемент действуют нагрузки, которые могут превысить его прочность, то отказ оборудования, вследствие повреждения этого элемента, будет внезапным. Если же условия таковы, что таких больших нагрузок не бывает, то этот же элемент может быть так же поврежден, но лишь после того, как его прочность в процессе эксплуатации снизится. Это приведет к такому же отказу, но отказ будет постепенным.

Таким образом, чтобы решить, является отказ внезапным или постепенным, необходимо рассмотреть процесс его возникновения, а не судить по внешним признакам.

Для промышленного оборудования наиболее важной является классификация отказов по степени сложности и трудоемкости восстановления после отказа. По этому критерию отказы делятся:

1). Отказ, требующий ремонта. Это такой отказ, для устранения которого нужен ремонт силами специальных ремонтных рабочих с прекращением эксплуатации оборудования на длительное время.

2). Межремонтный отказ. Это отказ, который устраняет дежурный слесарь или электрик при межремонтном обслуживании и уходе.

3). Текущий отказ. Этот отказ устраняется станочником или наладчиком в ходе обслуживания и тех.процесса.

Существуют и другие критерии, по которым производится классификация отказов.

По возможности использования оборудования после отказа:

- 1) полный отказ – это отказ, до устранения которого оборудование не применяется;
- 2) частичный отказ – при котором возможно частичное использование оборудования.

По связи с другими отказами:

- 1). устранимый отказ – после которого возможно восстановление работоспособности оборудования;
- 2). неустраимый отказ – устранение которого в данных условиях невозможно или экономически нецелесообразно.
- 3). окончательный отказ – ни восстановление, ни частичное использование не возможно и нецелесообразно.

По необходимости специальных мер для устранения отказов:

- 1). устойчивый – устранение которого может быть произведено мерами, предпринимаемыми для восстановления работоспособности;
- 2). самоустраняющийся – через некоторое время устраняется без вмешательства обслуживающего персонала;
- 3). сбой – однократно возникающий самоустраняющийся отказ, продолжительность которого мала (1-2 цикла измерений для прибора).

10. Надежность, определяемая процессами, происходящими в элементах и узлах машин и приборов

Надежность любой, даже самой сложной технической системы, зависит прежде всего от надежности каждого используемого в ней элемента. В общем случае систему можно представить практически из элементов двух видов:

1. элементы электрической схемы
2. механические элементы.

В качестве электроэлементов обычно рассматриваются детали и изделия, имеющие самостоятельные обозначения на принципиальных и монтажных электрических схемах. Большинство из электроэлементов являются типовыми.

Среди механических элементов можно выделить две группы:

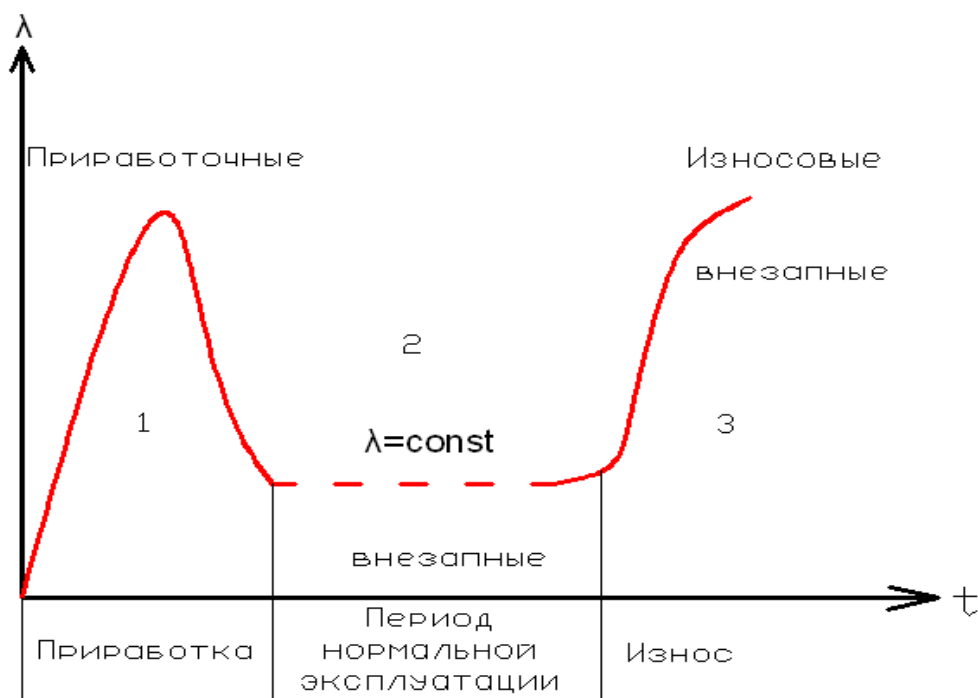
- 1). элементы кинематические (кулачки, зубчатые колеса, плунжеры, клапаны, подшипники и т.д.)
- 2). крепежные элементы (стойки, панели, винты и т.д.)

К механическим можно отнести также элементы пневмо и гидросистем.

Для любых из элементов системы задаётся номинальный нагрузочный режим, то есть значение силы тока, температуры, влажности, вибрации и т.д., при которых гарантируются технические параметры и характеристики элемента, приводимые в его паспорте и технических условиях. Указываются также предельные нагрузки, при которых параметры элемента ещё не выходят за допустимые границы. Если к рассмотрению различных видов отказов элементов подойти с точки зрения средств и методов, которые могут способствовать их устранению и предупреждению, то часто бывает выгодно делить отказы на три группы:

- 1) Приработочные отказы
- 2) Внезапные отказы
- 3) Износные отказы

Такое деление соответствует трём явно выраженным периодам работы любого прибора или машины.



Из кривой видно, что в 1-й период интенсивность отказов вначале быстро достигает высокого уровня, затем резко падает. Во 2-й период – период нормальной эксплуатации – интенсивность отказов устанавливается на постоянном минимальном уровне. В 3-й период – период износа – интенсивность отказов вновь возрастает.

Приработочные отказы, характерные для 1-го периода, - это результат наличия в приборах и машинах дефектных элементов, характеристики которых значительно ниже требуемого уровня. В условиях использования в приборах и машинах многих тысяч элементов даже при их тщательной отбраковке не всегда удаётся исключить возможность попадания элементов, имеющих те или иные скрытые производственные дефекты. Причиной приработочных отказов могут быть и ошибки, допущенные при сборке и монтаже. Повышенное число отказов в приработочный период иногда объясняется недостаточной освоенностью обслуживающего персонала.

Физическая природа возникновения приработочных отказов носит такой же случайный характер, как и внезапных. Разница состоит в том, что если внезапный отказ нормального стандартного элемента происходит при очень высокой концентрации нагрузок, то для отказа дефектного элемента обычно достаточно нагрузки во много раз меньше. В период приработки происходит «выжигание» неполноценных дефектных элементов, которые заменяются нормальными элементами. Чем круче кривая в период приработки, тем надёжней прибор или машина.

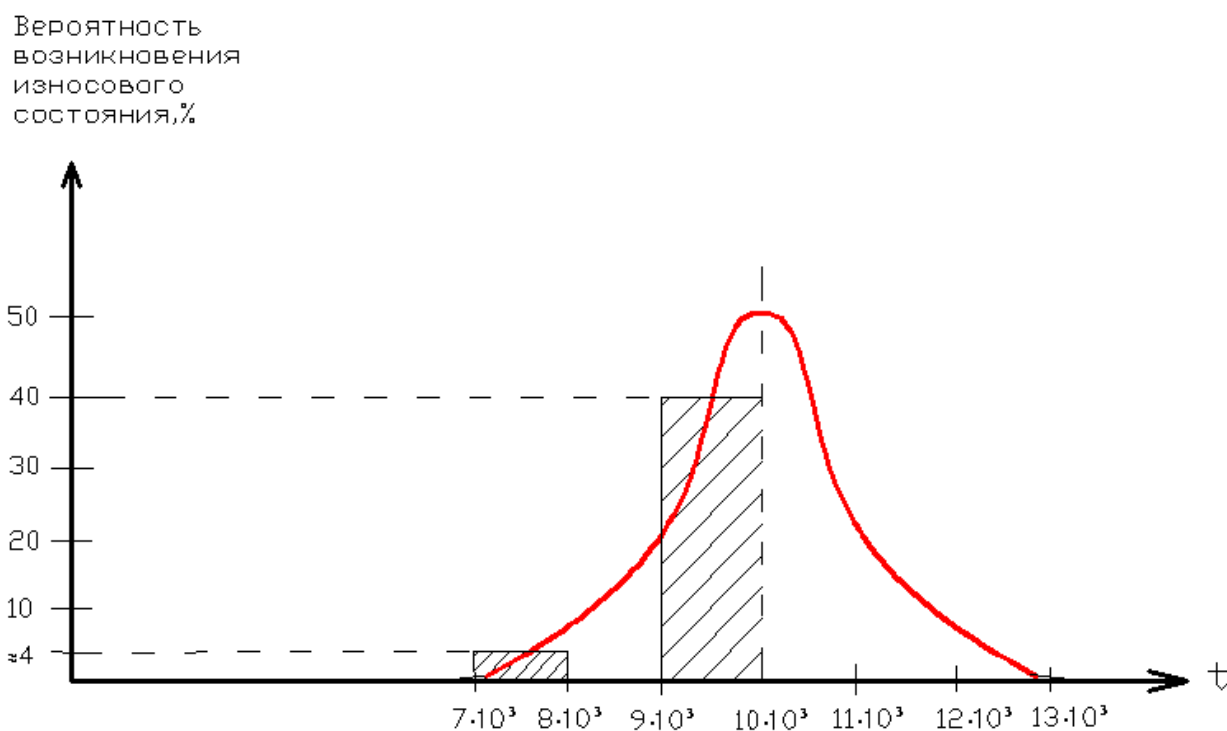
После окончания приработки наступает период нормальной эксплуатации. Его продолжительность во много раз больше, чем продолжительность периода приработки. Если период приработки длится десятки-сотни часов, то период нормальной эксплуатации – тысячи-десятки тысяч часов. Заканчивается данный период, когда естественный и неизбежный процесс износа начинает приводить элементы к постепенным износным отказам. Интенсивность отказов изделия в течение всего периода нормальной эксплуатации остаётся постоянной. Вероятность безотказной работы изделия становится

одинаковой для любых равных отрезков времени всего этого периода. Период нормальной эксплуатации заканчивается, когда возникают износоставные отказы.

3-й период – период износа элементов машин – наступает, когда к внезапным отказам добавляются постепенные износоставные отказы, и суммарная интенсивность отказов возрастает. Вероятность износоставных отказов превышает вероятность внезапных.

Обеспечение надёжной работы изделия во 2-м периоде, снижение его внезапных случайных отказов является основной задачей на всех этапах создания и использования машин и приборов, а именно: при проектировании, производстве и эксплуатации.

Наибольшими возможностями в её решении обладает конструктор. Нередко при изменении конструкции или облегчении режима работы одного или двух элементов обеспечивается резкое повышение надёжности всего изделия. Большие возможности в повышении надёжности даёт своевременная профилактическая замена элементов. Рассматривая 2-й период можно прийти к выводу, что заменять в нём элементы до наступления их внезапного отказа нецелесообразно. Это утверждение основывается на том, что вероятность внезапных случайных отказов, подчиняющихся экспоненциальному закону распределения, не зависит от «возраста» элемента, и интенсивность таких отказов для равных промежутков времени в течение всего периода нормальной эксплуатации постоянна. Поэтому замена элементов до наступления их внезапных отказов не может способствовать повышению надёжности изделия. Другое дело, когда речь идёт о периоде износа. Вероятность возникновения износоставных постепенных отказов, подчиняющихся нормальному закону распределения, непосредственно зависит от «возраста» элемента. Интенсивность таких отказов для равных промежутков времени в период износа непостоянна, повышается по мере увеличения срока эксплуатации. Чтобы яснее представить себе это, вспомним типовую кривую нормального распределения.



Из этой кривой ясно видно, что вероятность возникновения износоставного отказа для равных промежутков времени работы элемента неодинакова. Так, в данном случае в течение тысячи часов в период от семи до восьми тысяч часов вероятность возникновения

износосового отказа будет составлять примерно 4%. В то же время, за такой же промежуток времени, но от девяти до десяти тысяч часов она составляет 40%. Так, профилактическая замена элементов до наступления их износосовых отказов позволяет практически отодвинуть наступление 3-его периода и значительно увеличить продолжительность наиболее важного для нас продолжительность 2-го периода. В этом основной смысл и значение профилактической замены элемента.

11. Надёжность, определяемая повреждениями механических деталей и сопряжений

Различные вредные процессы, воздействующие на машину или прибор, приводят к повреждению их деталей, что, в свою очередь, может явиться причиной отказа. Для оценки работоспособности детали необходимо установить характер повреждений, в результате которых она выходит из строя, т.е. возникает отказ.

Виды повреждений деталей машин или прибора и соответственно отказы можно разбить на 2 группы:

1. Допустимые (по характеру, а не по величине повреждения), возникающие при нормальных условиях эксплуатации.
2. Недопустимые (носят аварийный характер). При этом разрушению или деформации может подвергаться как тело детали, так и ее поверхность, находящаяся во взаимодействии с соприкасаемой поверхностью другой детали.


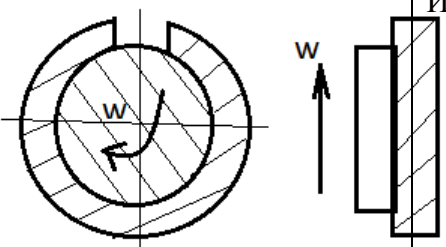
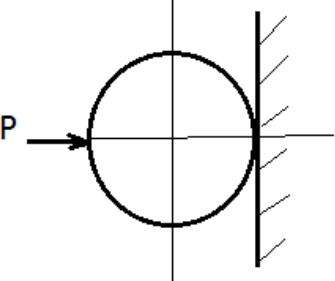
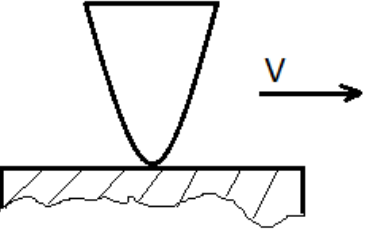
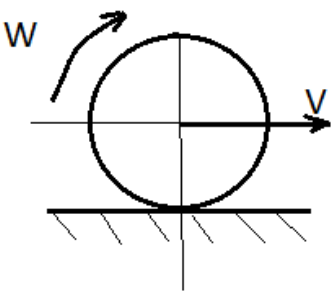
К допустимым повреждениям можно отнести коробление или остаточную деформацию детали, поломку в результате усталости, некоторые виды износа (абразивный износ, износ при хрупком разрушении), усталость поверхностных слоев. Как правило, недопустимы поломки деталей в результате недостаточной статической, динамической или усталостной прочности, тепловые трещины, в результате нагрева детали, и в ряде случаев коррозии. Для поверхностей контакта характерны такие недопустимые виды повреждений как некоторые виды износа, протекающие с большой интенсивностью (молекулярно-механический износ, тепловой износ), выкрашивание частиц с поверхностей трения. Все недопустимые повреждения должны быть устранены теми или иными методами. Допустимые же повреждения во многих случаях не могут быть полностью устранены. Можно лишь отсрочить их проявление путем уменьшения скорости изнашивания.

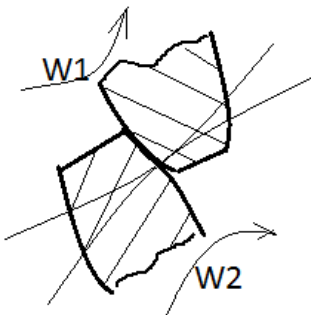
Виды повреждений определяют содержание ремонта машин. Допустимые повреждения деталей устраняются в результате плановых ремонтов. Отказы деталей из-за недопустимых повреждений устраняются в результате аварийных ремонтов. Ремонт этих деталей не может быть предусмотрен планом, т.к. их отказ, как правило, возникает внезапно.

Основные виды повреждений, а соответственно и отказов деталей машин и приборов при нормальных условиях эксплуатации связаны главным образом со взаимодействием поверхностей.

Рассмотрим наиболее характерные виды повреждений, возникающих в результате взаимодействия поверхностей.

Начальное касание тел	Относительное перемещение	Типовой пример	Наиболее характерный вид
-----------------------	---------------------------	----------------	--------------------------

			повреждени я
Соприкосновени е по поверхностей	Соприкосновени е без перемещения		Смятие
	Соприкосновени е с перемещением (Скольжение)		Износ
Соприкосновени е по линии или в точке	Соприкосновени е без перемещения		Смятие
	Скольжение		Износ
	Обкатка (качение без скольжения)		Смятие, усталость

	Качение со скольжением		Износ, усталость
--	------------------------	--	------------------

Если нет относительного перемещения поверхностей, то это, как правило, вызывает их смятие. Смятие поверхностей является характерным видом разрушения шпоночных и шлицевых соединений, упоров, штифтов, осей цепных передач, резьбовых соединений и т.д. Относительное скольжение поверхностей вызывает их износ. При этом влияние пластических изнашиваний может быть уменьшено или устранено путем повышения твердости элементов пары. При начальном касании поверхностей по линии или в точке имеется большое число вариантов их относительного перемещения. Качение без скольжения (обкатка) двух тел вызывает усталость поверхностных слоев, которая проявляется в виде отслаивания мелких частей металла с поверхностей контакта. При небольшой твердости материалов и больших ударных давлениях наблюдается смятие (подшипники качения, ролики кулачковых механизмов).

При качении с относительным скольжением (зубчатые передачи) наблюдается износ, усталость, а в ряде случаев и смятие. Зона усталости расположена там, где относительное скольжение минимально или равно 0 (в зоне начальной окружности колеса), а зона интенсивного износа расположена в местах наиболее интенсивного скольжения (головка и ножка зуба).

12. Надежность, определяемая свойствами проводниковых и изоляционных материалов

12.1. Надежность изоляционных материалов

Для этих материалов характерным является изменение их свойств под влиянием взаимодействия с окружающей средой. Скорость химических реакций определяется законом Аррениуса:

$$C = C_{\infty} e^{\frac{-W_0}{RT}} = C_{\infty} e^{\frac{-B}{T}}$$

C_{∞} – постоянная реакции, соответствующая температуре T_{∞} ,

W_0 – энергия активации,

R – газовая постоянная (коэффициент Больцмана).

Для большинства инженерных задач достаточную точность дает использование закона Аррениуса в виде:

$$C = C_0 e^{-\alpha \Delta \theta}$$

Под влиянием взаимодействий, происходящих с окружающей средой, меняется толщина слоя изоляции, сохранившего свои электрические или механические свойства. Если среднее значение критической толщины слоя изоляции, соответствующее разрыву ее

под влиянием механических усилий принять $\overline{h_{кр}}$, то в этом случае среднее время, необходимое для достижения критической толщины

$$t = \frac{\overline{h_0} - \overline{h_{кр}}}{\overline{C}} = \frac{\overline{h_0} - \overline{h_{кр}}}{\overline{C_0}} * e^{-\alpha \Delta \theta}$$

Задаваясь необходимым средним сроком службы изоляции можно найти допустимую для нее температуру перегрева:

$$t = \overline{\tau_0}, \quad \Delta \theta = \Delta \theta_{доп}$$

$$\overline{\tau_0} = \frac{\overline{h_0} - \overline{h_{кр}}}{\overline{C_0}} * e^{-\alpha \Delta \theta_{доп}}$$

Обычно выбирают для изоляции в промышленных изделиях $\overline{\tau_0} = (10^5 \dots 8,5 * 10^4)$ ч $\approx 11 \dots 10$ лет.

Для других изделий (например, авиационных) $\overline{\tau_0} = (10^3 \dots [2 \dots 5] * 10^3)$ ч

Другим критерием может быть такое изменение толщины слоя изоляции, при котором может возникнуть электрический пробой. Если имеет место чисто электрический пробой, то при известном среднем значении электрической прочности изоляции

$\overline{E} \left(\frac{В}{мм} \right)$ мы можем определить среднее значение толщины $\overline{h_{кр}'} = \frac{\sigma}{E}$. Зная среднее значение начальной толщины изоляции, можно найти среднее значение срока службы

$$\overline{\tau_0}' = \frac{\overline{h_0} - \overline{h_{кр}'}}{\overline{C_0}} * e^{-\alpha \Delta \theta}$$

12.2. Надежность, определяемая свойствами проводниковых материалов

Внезапные отказы частей из проводниковых материалов могут происходить вследствие механических или тепловых причин. Рассмотрим отказы, вызванные тепловыми причинами. Пусть проводник имеет дефект, состоящий в том, что на длине Δl его сечение уменьшено на величину ΔS .

$S = S_0 - \Delta S$ – реальное сечение.

Падение напряжения на участке Δl может быть определено:

$$\Delta U = \rho \frac{\Delta l}{S} I$$

Баланс мощности, выделяемой на участке Δl и отводимой в окружающую среду, будет определяться следующим образом:

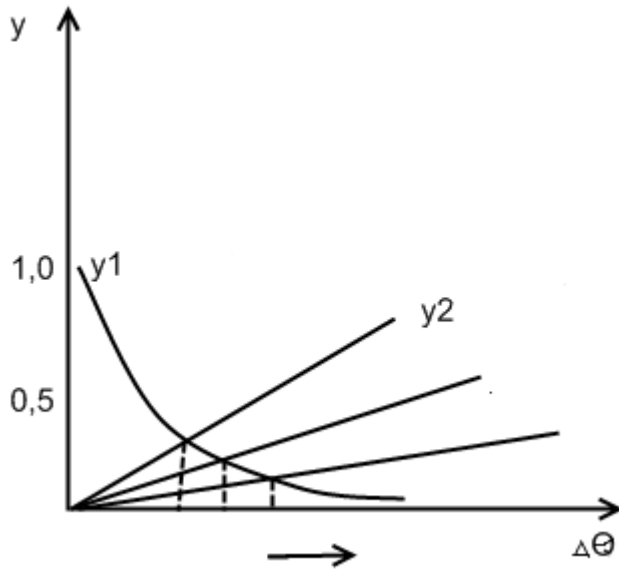
$$e^{-\alpha \Delta \theta} = k_s \Delta \theta$$

$\Delta \theta$ – перепад температур,

k – имперический коэффициент.

Если проводник имеет положительный температурный коэффициент изменения сопротивления, т.е. $\alpha > 0$, то температура в месте дефекта может быть найдена как точка на оси абсцисс, соответствующая пересечению графиков функций:

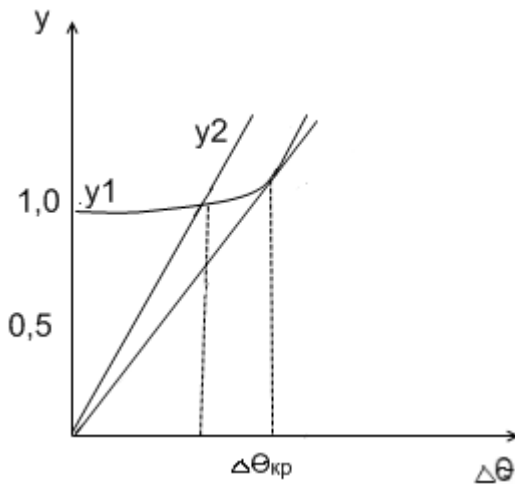
$$y_1 = e^{-\alpha \Delta \theta}, \quad y_2 = k_s \Delta \theta$$



По мере уменьшения сечения S , величина k_s уменьшается, и это соответствует уменьшению угла наклона прямой y , следовательно, пересечение графиков функций будет происходить все при больших значениях $\Delta\theta$. Однако, как правило, этот процесс развивается медленно, и при $U=\text{const}$ и $\alpha > 0$, обрыв скорее произойдет от действия механических воздействий, чем от тепловых. В этом случае будут иметь место преимущественно параметрические отказы, вызванные повышением температуры проводника.

Если $\alpha < 0$, то

$$y_1 = e^{-(-\alpha\Delta\theta)} = e^{\alpha\Delta\theta}, y_2 = k_s\Delta\theta$$



Если проводник имеет отрицательный температурный коэффициент, то температура в месте дефекта может быть найдена как точка пересечения кривых

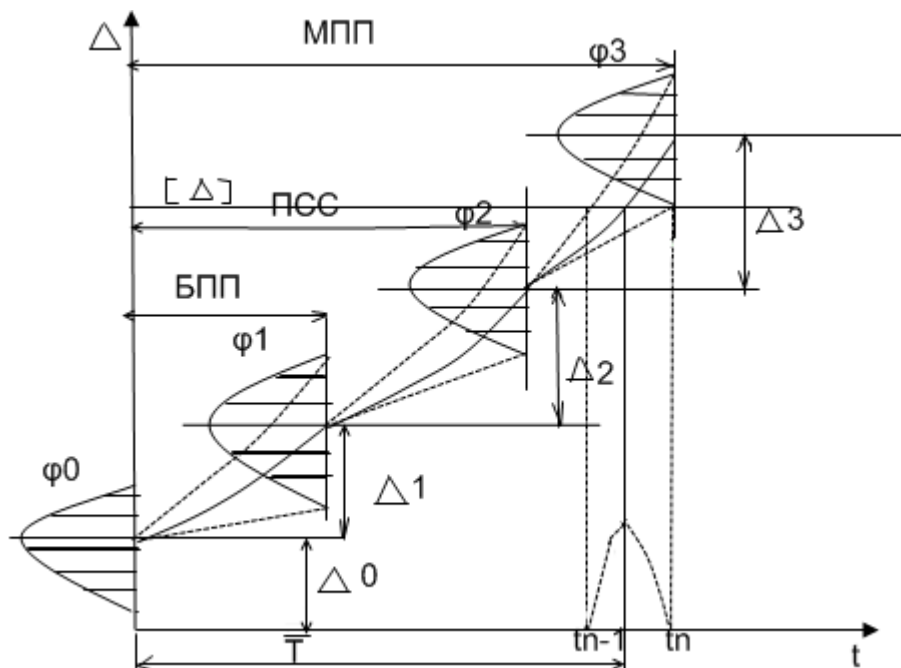
$y_1 = e^{\alpha\Delta\theta}$, $y_2 = k_s\Delta\theta$. При изменении S уменьшается k_s , точка пересечения лежит все правее, но при некотором $k_s = k_{s\text{кр}}$ зависимости станут касательными, т.е. выполняется условие $\alpha e^{\alpha\Delta\theta} = k_{s\text{кр}}$.

При переходе через значения, определяемые этим условием, приращение температуры в месте дефекта проводника будет неограниченно возрастать, достигнет температуры плавления и проводник перегорит. Таким образом при $U=\text{const}$ и $\alpha < 0$ может произойти катастрофический внезапный отказ от тепловых причин.

13. Общая схема изменения показателей работоспособности

Рассмотрим суммарное воздействие различных параметров на показатели работоспособности приборов.

По вертикали отложим показатели, характеризующие точность выполнения прибором заданных функций (инструментальная погрешность), а по горизонтали время работы прибора.



Каждый прибор имеет начальные погрешности, которые зависят от его конструкции и качества изготовления (погрешности схемы и погрешности нулевых параметров). Узлы прибора обладают некоторой геометрической неточностью, неабсолютной статической жесткостью и другими показателями, которые определяют начальные погрешности Δ_0 . Для различных приборов данной модели многие параметры неодинаковы и характеризуются кривой φ_0 .

Когда прибор начинает работать, то быстропротекающие процессы приводят к рассеиванию показателей. В результате точность уменьшается на величину Δ_1 . Быстропротекающие процессы имеют периодичность изменения, измеряемую долями секунды.

Эти процессы заканчиваются в пределах цикла работы и вновь возникают с новым циклом. Сюда относятся вибрации узлов, колебания рабочих нагрузок и другие процессы, влияющие на взаимное положение узлов прибора в каждый момент времени и искажающие цикл его работы.

Затем начинается влияние процессов средней скорости, в результате чего происходит смещение центра группирования на величину Δ_2 . Эта величина является функцией времени и имеет определенное поле рассеивания φ_2 . Процессы средней скорости связаны с периодом непрерывной работы прибора и их длительность измеряется в минутах или часах. Они приводят к монотонному изменению начальных параметров прибора. К этой категории относятся: изменение температуры прибора и окружающей среды, изменение влажности и т.д.

С течением времени под влиянием медленно протекающих процессов начальные параметры прибора будут ухудшаться на Δ_3 . Медленные процессы протекают за время t работы прибора между периодическими осмотрами и ремонтами (дни и месяцы).

Проанализировав все выше приведенные факторы можно определить суммарную погрешность прибора, которая будет складываться из всех выявленных составляющих:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_0 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

Формула написана в символическом виде и при подсчете по ее составляющим целесообразно применять теоретико - вероятностный метод сложения:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}$$

Прибор достигает предельного состояния, когда его суммарная погрешность достигает допустимого уровня. Это произойдет через отрезок $t = \bar{T}$, а действительное значение T будет колебаться от t_{n-1} до t_n .

Таким образом при работе приборов происходит постепенное ухудшение его параметров, характеризующих его качества и работоспособность.

14. Сроки службы прибора при различных видах отказа

Срок службы является основной характеристикой надежности детали прибора.

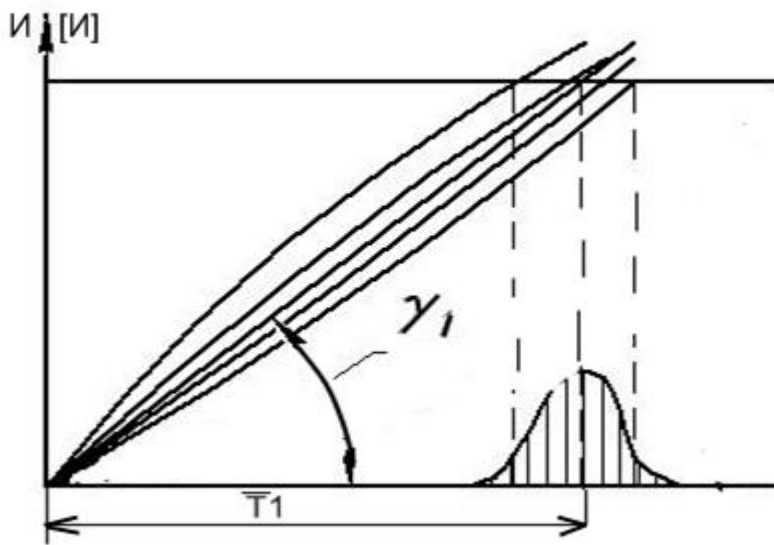
Срок службы измеряется:

- Нарботкой, т.е. продолжительностью работы детали в часах или же эквивалентным показателем для тех деталей, выход из строя которых зависит от длительности работы детали .
- Календарным временем нахождения детали в приборе (если причина выхода из строя детали связана с коррозией, старением и другими аналогичными процессами).

Обычно целесообразней измерять срок службы детали временем работы, делая соответствующие пересчеты для процессов, зависящих от календарного времени. Срок службы деталей приборов обусловлен двумя основными причинами:

1. Возникновение постепенных (износных) отказов.
2. Возникновение внезапных отказов.

Главной причиной отказов большинства деталей является протекание разнообразных процессов, которые постепенно ухудшают начальные показатели деталей и приводят к износному отказу. Наблюдение за протеканием вредных процессов показало, что они принадлежат к категории случайных функций, т.к. заранее нельзя определить какая из реализаций функции будет иметь место.



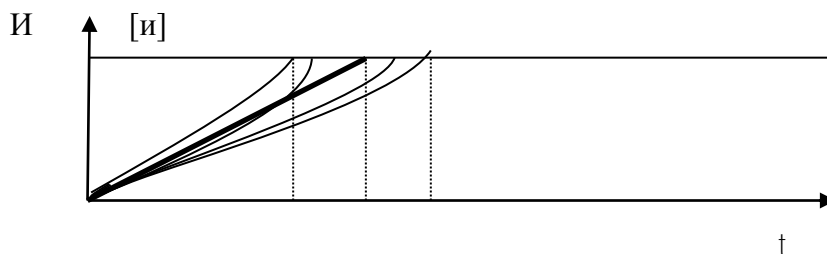
Как видно из приведенного рисунка, рассеивание сроков службы зависит от параметров функции, определяющей скорость процесса, и от предельного состояния детали. Если известна случайная функция γ , которая характеризует скорость изнашивания, а также допустимая величина износа, то срок службы может быть определен как:

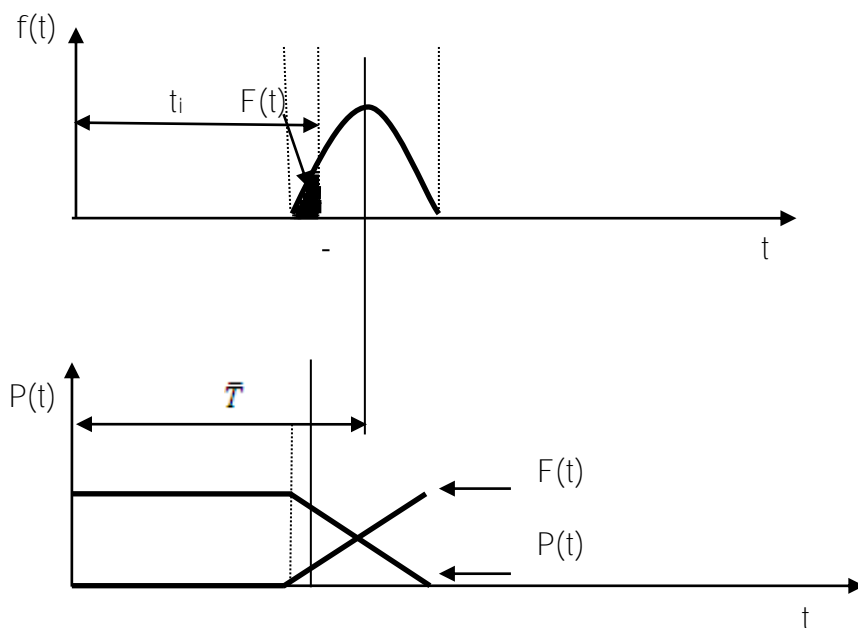
$$\bar{T} = \frac{[И]}{\gamma}$$

Обычно все отказы, которые связаны с протеканием вредных процессов в приборе, называют износowymi отказами.

14.1. Сроки службы при износowych постепенных отказах

Полной характеристикой рассеивания сроков службы деталей служит функция плотности распределения $f(t)$, вид которой зависит от закономерностей процесса потери деталью работоспособности.





Кривая распределения $f(t)$ дает возможность подсчитать средний срок службы детали (как математическое ожидание от этой функции), а так же рассеивание или дисперсию этих сроков службы относительно центра группирования. Если взять некоторый промежуток времени t_i , то площадь $F(t)$ под кривой $f(t)$ будет характеризовать вероятность отказа деталей за этот промежуток времени. Поэтому левая ветвь кривой $f(t)$, относящаяся к области малой вероятности отказов, используется обычно для характеристики безотказности работы изделия, а вся кривая $F(t)$ и ее параметры необходимы для оценки ее долговечности. Функция $P(t)$ определяется как зеркальное отображение функции $f(t)$ и определяет вероятность безотказной работы детали за данный промежуток времени.

При нормальном законе распределения для вычисления значения $P(t)$ пользуются функцией Лапласа $\Phi(z)$.

$$\Phi(\infty) = 0,5$$

$$\Phi(0) = 0$$

$$\Phi(-z) = -\Phi(z)$$

$$P(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\bar{T} - t}{\sigma}\right)$$

14.2. Сроки службы при внезапных отказах

Существуют отказы, причины которых не связаны с процессами, происходящими в приборе и его элементах. Это, так называемые, внезапные отказы, которые определяют срок службы тех деталей, выход из строя которых является следствием сочетания неблагоприятных факторов. Примерами таких отказов могут быть тепловые трещины, возникающие в детали вследствие прекращения подачи смазки, поломки деталей прибора из-за неправильных методов эксплуатации, проявление технологических дефектов. Выход из строя при этом происходит внезапно, без предшествующих симптомов разрушения, и не зависит от длительности работы детали.

В зависимости от условий эксплуатации прибора и его конструкции все время существует (пусть небольшая) вероятность внезапного отказа. И этот поток отказов также необходимо учитывать при оценке надежности прибора. Поток внезапных отказов можно характеризовать интенсивностью отказов λ , которая может быть определена как отношение числа изделий ΔN , отказавших в единицу времени Δt , к числу изделий N , безотказно работающих в данный момент времени.

$$\lambda = \frac{\Delta N}{N * \Delta t}$$

В тех случаях, когда $\lambda = const$ вероятность безотказной работы определяется по формуле $P(t) = e^{-\lambda t}$

Для современных приборов требуется, как правило, высокая безотказность работы $P(t) = 0,99 \dots 0,99999$, для значения $P(t) > 0,9$ можно с достаточной для практики точностью определить $P(t) = 1 - \lambda t$. Следует отметить, что экспоненциальный закон не применим при оценке износных отказов.

14.3. Вероятность безотказной работы деталей при совместном действии внезапных и износных отказов

В ряде случаев деталь подвержена износным отказам и кроме того существует опасность выхода из строя из-за внезапных отказов.

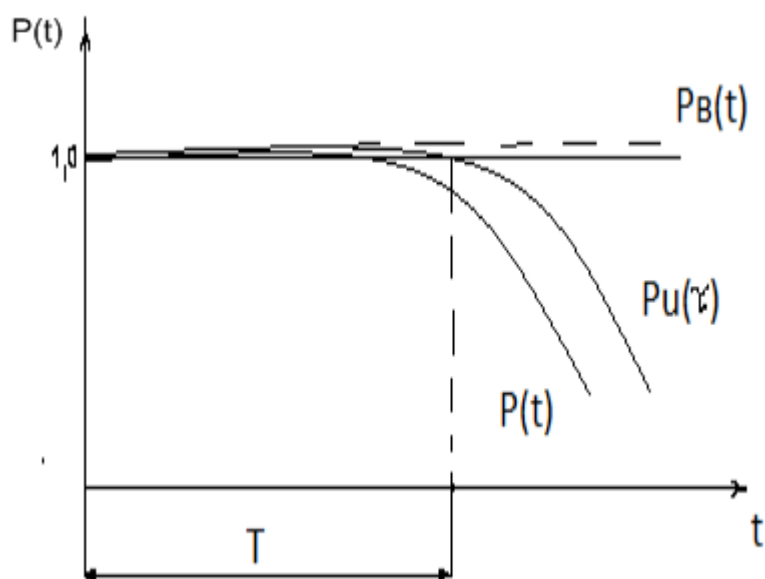
При совместном действии износных и внезапных отказов значение $P(t)$ может быть определено по теореме умножения вероятностей, т.к. событие, а именно безотказность работы деталей за время t , заключается в выполнении двух условий:

1. Безотказность от износных отказов $P_H(t)$
2. Безотказность от внезапных выходов из строя $P_B(t)$

$$P(t) = P_H(t) * P_B(t)$$

Если известны параметры законов распределения, то можно подсчитать вероятность безотказной работы элемента или узла.

$$P(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{\sigma * \sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}} dt$$



Из этого рисунка видно, что в начальный период работы детали основное влияние на $P(t)$ оказывают внезапные отказы, а затем все большее значение приобретают износосовые отказы.

15. Методы и способы функционального резервирования

Повышение надежности систем путем резервирования достигается за счет рационального применения избыточных элементов. Избыточные элементы могут приносить вред, снижая надежность системы. Вместе с тем с помощью избыточных элементов можно добиться значительного повышения надежности системы. При этом все зависит от способа соединения основных и избыточных элементов. Поэтому при резервировании основное внимание обращают на выбор рациональной схемы резервированной системы.

При поисках рациональных путей создания резервированных схем используются методы математического, обычно вероятностного, исследования возможных резервных схем.

Будем считать систему резервированной, если при отказе одного или нескольких элементов она продолжает нормально функционировать. Оставшиеся элементы выполняют ту же функцию, что и нерезервированная система. Подобное применение избыточных элементов можно назвать функциональным резервированием. При функциональном резервировании системы отличаются одна от другой в первую очередь реакцией на появление отказа элемента. С этой точки зрения можно различать два пути создания резервированных систем, т.е. два метода резервирования. При одном из них система проектируется таким образом, что при появлении отказа элемента она перестраивается и восстанавливает свою работоспособность, т.е. происходит саморемонт системы. При этом система активно реагирует на появление отказа элемента, в силу чего данный метод называется методом **активного резервирования**.

- Активное резервирование обычно связано с применением переключателей, которые отключают поврежденный участок и включают резервный.

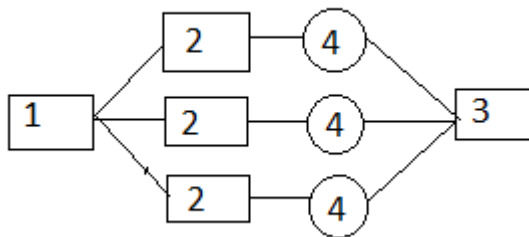
- Во многих случаях целесообразно применять метод **пассивного резервирования**. При этом методе система проектируется так, что отказ одного или нескольких элементов не влияет на ее работу. Система как бы пассивно сопротивляется появлению неисправности элемента. Т.к. при пассивном резервировании вышедший из строя элемент или блок не отключаются, то при создании подобных систем приходится учитывать различные последствия, к которым может привести отказ элемента, т.е. необходимо учитывать вид отказа элемента.

Можно различить пять способов резервирования:

1. Общее резервирование.
2. Автономное резервирование.
3. Раздельное резервирование.
4. Единичное резервирование.
5. Внутриэлементное резервирование.

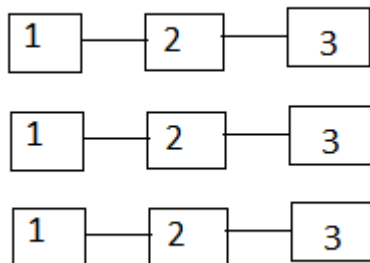
Принципиального различия между способами резервирования нет. Для многих систем одни из них являются частными случаями других.

Общее резервирование состоит в резервировании всей системы кроме входных и выходных блоков.



- 1- Входной элемент
- 2- Рабочая цепь
- 3- Выходной элемент
- 4- Цепь переключателей

Автономное резервирование состоит в применении нескольких независимых систем, выполняющих одну и ту же задачу. Каждая из этих систем имеет свой вход и выход и обычно независимые источники питания.



Примером систем с автономным резервированием может служить совокупность устройств телевидения, выполняющих одну и ту же задачу. Автономное резервирование обычно применяется при проведении ответственных экспериментов и эксплуатации систем ответственного назначения. Если все другие способы резервирования могут

применяться как при активном, так и при пассивном методах, то автономное резервирование является только пассивным.

Раздельное резервирование состоит в резервировании системы по отдельным участкам. Систему с активным общим резервированием можно считать частным случаем системы с раздельным резервированием при одном участке резервирования.

Единичное резервирование состоит в замене элементов системы элементарным резервированными схемами. В сложных схемах с обратными связями очень трудно найти рациональную схему раздельного резервирования и кроме того схемы резервирования различных систем каждый раз приходится проектировать заново, что требует значительных материальных затрат. Поэтому единичное резервирование находит широкое применение из-за простоты построения сложных резервированных систем.

Внутриэлементное резервирование состоит в резервировании внутренних связей элементов (вплоть до молекулярных). Если при единичном резервировании используются схемы из существующих элементов (ячейки), то применение внутриэлементного резервирования связано с изменением конструкции элементов.

Системы с активным резервированием можно классифицировать так же по условиям работы резервных цепей. Обычно различают три вида условий работы резерва:

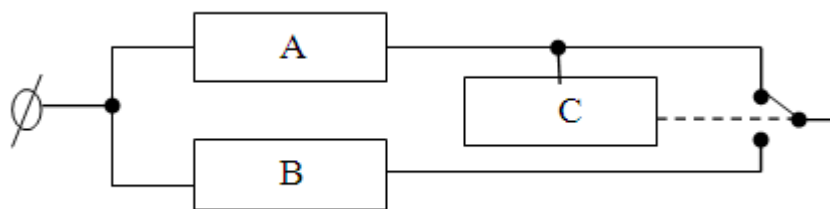
1. Нагруженный резерв – рабочие и резервные цепи находятся в одинаковых условиях работы.
2. Облегченный резерв – резервные цепи находятся в облегченных условиях работы.
3. Ненагруженный резерв – резервные цепи включаются в работу после отказа рабочей цепи.

На практике в зависимости от структуры и условий работы машин или приборов применяются различные виды резервирования.

1. Резервирование путем переключения на запасной элемент.

В этом случае необходим дополнительный элемент (переключатель C), для которого необходимо знать:

- p_a – надежность включения запасного элемента в момент времени, когда это требуется.
- p_s – надежность невключения (в период, когда не требуется включение).
- p_c – надежность контакта



Надежность схемы может быть определена следующим образом:

$$p = p_c [p_a p_b + q_a p_b p_a + q_b p_a p_s]$$

$$q_a = 1 - p_a; q_b = 1 - p_b$$

Эта формула получена в результате рассмотрения всех возможных случаев, при которых схема остается работоспособной.

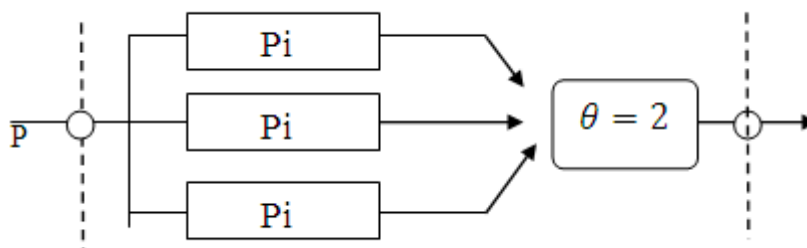
1. Резервирование при наличии отказов как вследствие обрыва, так и короткого замыкания.

Пусть два одинаковых элемента А и В включены параллельно с целью резервирования. Если обозначить q_s – вероятность короткого замыкания в элементе А или В, q_0 – вероятность обрыва в элементе А или В, p – вероятность отсутствия отказов в элементе А или В, то

$$p = 1 - (q_s + q_0)$$

2. Резервирование по методу голосования .

При данном методе применяется так называемый кворум-элемент, формирующий свой выходной сигнал (0 или 1) в зависимости от состояния (0 или 1), в котором находится большинство элементов на входе. При этом число входов должно быть нечетное и минимально равно 3.



Надежность схемы резервирования для одной группы элементов (одного каскада) при надежности кворум-элемента $p_m=1$

$$p_{\Sigma} = p_i^3 + 3 * (1 - p_i)p_i^2 = p_i^2(3 - 2p_i)$$

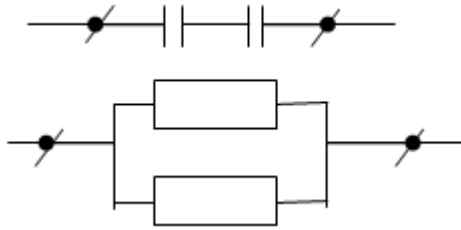
при надежности кворум-элемента $p_m \neq 1$

$$p_{\Sigma} = p_m p_i^2(3 - 2p_i)$$

Функциональное резервирование отдельных деталей трудно осуществимо на практике. Чаще удается осуществить функциональное резервирование крупных блоков и узлов оборудования. Кроме функционального резервирования для повышения надежности электронных блоков и схем применяется резервирование элементов по нагрузке.

15.1. Резервирование элементов электронных схем по нагрузке

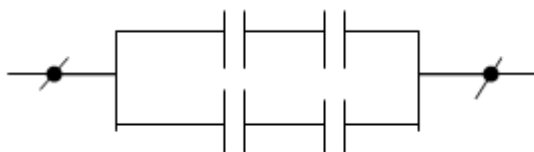
Резервирование отдельных элементов почти всегда является пассивным, т.е. при появлении отказов не происходит перестроения схемы. При этом приходится учитывать различные последствия, к которым может привести отказ элемента резервированной схемы. Резервированная схема, заменяющая один нерезервированный элемент, может быть составлена так, что электрическая нагрузка, которую должен был испытывать один нерезервированный элемент, может быть распределена между всеми элементами схемы. При отказе одного из элементов этой схемы выходит из строя вся схема.



При резервировании по нагрузке интенсивность отказов каждого элемента резервированного узла значительно снижается за счет уменьшения электрической нагрузки, которая перераспределяется между всеми элементами схемы. С другой стороны интенсивность отказов резервированной схемы равна сумме интенсивности отказов всех элементов резервированной схемы. Резервирование по нагрузке приносит пользу, если интенсивность отказов резервированной схемы снижается за счет уменьшения нагрузки на большую величину, чем повышается за счет увеличения числа работающих элементов. Резервирование по нагрузке может служить средством повышения надежности сильно нагруженных элементов или же элементов невысокого качества, имеющих низкие номинальные нагрузки.

15.2. Смешанное резервирование элементов.

Резервирование по нагрузке и функциональное резервирование являются предельными случаями общего или смешанного резервирования, когда резервированная схема хотя и продолжает работать при отказе одного или нескольких элементов, но при этом меняются режимы работы элементов схемы. Иначе говоря, при смешанном резервировании надежность резервированной схемы повышается как за счет того, что при отказе одного или нескольких элементов функции этих элементов будут выполнять оставшиеся элементы, так и за счет того, что действующая на резервированной схеме электрическая нагрузка распределяется между всеми элементами схемы, и они работают в облегченном режиме. Для большинства элементов смешанное резервирование легче осуществимо, чем функциональное. Как и всякая классификация, деление на резервирование по нагрузке и смешанное резервирование являются условными, зависящими от требований, предъявляемых к элементам.



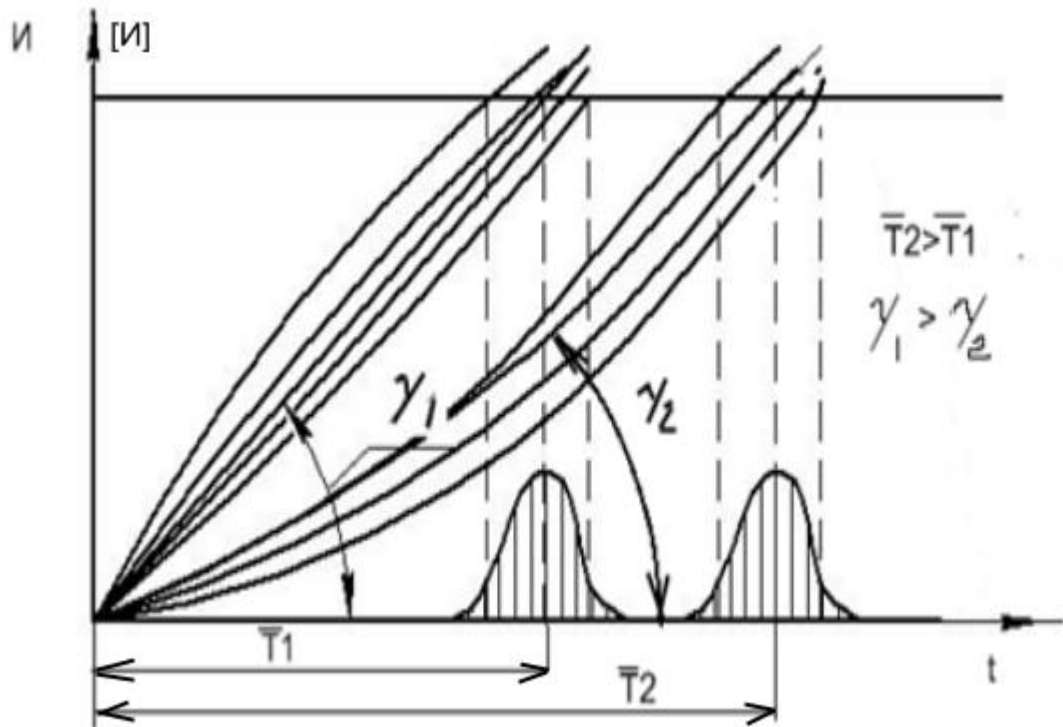
Когда от нерезервируемого конденсатора требуется постоянство емкости в пределах $\pm 5\%$, схема из конденсаторов, приведенная на рисунке, может при некоторых условиях обеспечить лишь резервирование по нагрузке. Когда же допускаются колебания емкости в пределах $\pm 70\%$ от номинала, то та же самая схема обеспечивает смешанное резервирование.

16. Основные методы повышения безотказности приборов

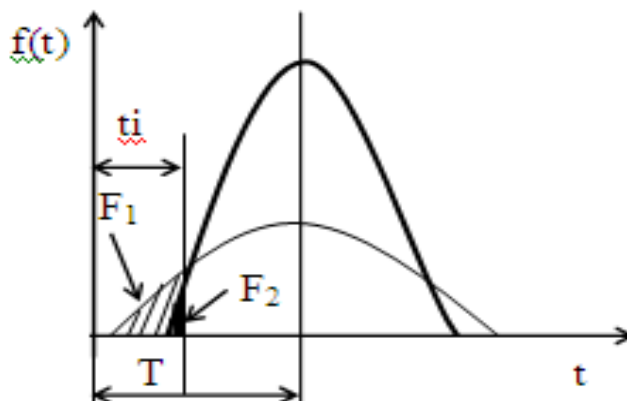
Для повышения безотказности приборов применяются следующие основные методы:

1. Повышение надежности узлов и элементов благодаря рациональной конструкции и применению износостойких материалов.

Большая сопротивляемость вредным воздействиям на узел уменьшает скорость потери его работоспособности, смещает кривую рассеивания в область более высоких значений t и следовательно повышает вероятность безотказной работы за данный промежуток времени.



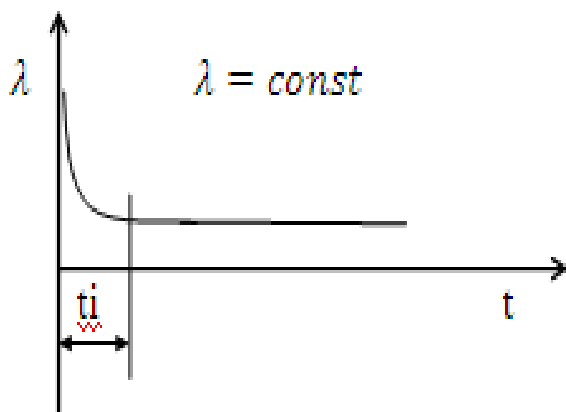
2. Повышение стабильности технологических процессов при изготовлении детали



Это приводит к уменьшению дисперсии сроков службы, что даже при одинаковых средних значениях срока службы может резко повысить надежность элемента, т.к. $F_2 \ll F_1$

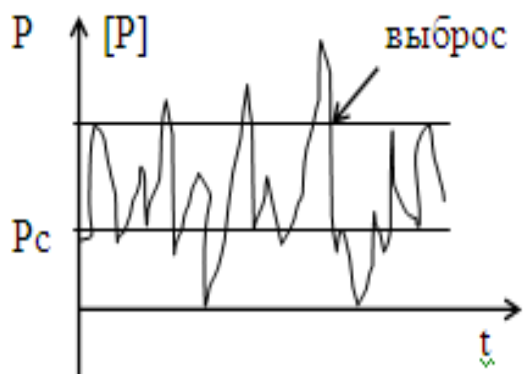
3. Обкатка приборов и его узлов.

Позволяет выявить те недостатки изготовления и сборки, которые приводят к повышенным внезапным отказам в первый период работы прибора.



Анализ интенсивности отказов для экспоненциального закона показывает, что в первое время внезапные отказы более интенсивны, и его необходимо исключить из периода нормальной эксплуатации прибора.

4. Защита прибора от случайных перегрузок или вредных воздействий.



В реальных условиях всегда можно ожидать, что любая случайная функция (например, характеризующая силу в механизме) даст выброс за допустимый уровень. Выброс, даже если он будет крайне редким, может привести к повреждениям, при которых прибор выйдет из строя. Для того, чтобы придать приборам защитные функции от таких случайностей в них широко применяют различные механизмы, предохраняющие от перегрузки. Такие механизмы размыкают механическую цепь, если нагрузка превышает допустимое значение.

5. Применение резервирования для получения надежных систем из элементов невысокой надежности.
6. Применение самовосстанавливающихся систем, которые при утрате начальных характеристик восстанавливают свои функции. Такие системы автоматической подналадки в последнее время все больше применяются в приборах (автоматическая компенсация износа, автоматическое регулирование температурных параметров, автоматическое управление деформациями).
7. Упрощение системы и создание узлов с меньшим числом кинематических цепей и изнашивающихся элементов, что всегда приводит к повышению

надежности прибора. Создать более простой прибор, выполняющий заданные функции, значительно труднее, чем сложные, т.к. это требует оригинальных и глубоко продуманных решений.

17. Виды испытаний на надежность и их классификация

Большое значение в оценке качества продукции имеют данные, получаемые в процессе эксплуатации или же при проведении испытаний. Это обусловило необходимость создания единой системы промышленных испытаний (ЕСПИ). Эта система включает:

1). комплекс нормативной технической документации на:

1.1. Методы и средства промышленных испытаний.

1.2. Методы сбора, кодирования и обработки информации по результатам испытаний.

1.3. Организационные основы оценки контроля обеспечения качества продукции.

2). систему отраслевых и межотраслевых испытательных центров.

В ЕСПИ ведущее место принадлежит испытаниям на надежность. Они предусматривают:

1). Определение уровня надежности и соответствия нормам надежности.

2). Определение допустимых и оптимальных условий и режимов эксплуатации.

3). Отработку системы технического обслуживания во время эксплуатации.

4). Исследование методов повышения надежности за счет улучшения конструкции, качества изготовления, упаковки, транспортировки и хранения.

Каждое готовое изделие проходит перед поставкой к потребителю приемо-сдаточное испытание. Для оценки стабильности технологических процессов проводятся периодические испытания. При внесении изменений в конструкцию, материал, технологию изготовления проводятся типовые испытания.

Все выше описанные испытания относятся к категории контрольных.

Испытания, проводимые при подготовке к аттестации качества или же для изучения допустимых границ параметров, относятся к категории исследовательских. В зависимости от стадии разработки или производства проводятся:

1). Испытания опытных образцов новых конструкций.

2). Испытания образцов установочной серии, изготовленных по серийной технологии.

3). Испытания серийных или массовых изделий.

4). Испытания модернизированных изделий (отличающихся по конструкции или материалу).

5). Испытания отремонтированных изделий.

В зависимости от цели испытания подразделяются на:

- Определительные
- Контрольные
- Исследовательские

Определительные испытания позволяют определить закон распределения времени безотказной работы, установить ресурс и т.д.

В зависимости от сроков проведения испытаний делятся на:

- Ускоренные
- Обычные

В зависимости от вида разрушения, воспроизводимого при испытании:

- Изнашивание
- Усталость
- Коррозия
- Старение
- Испытания, при которых воспроизводятся комплексные разрушения. Данная

группа относится к ресурсным испытаниям (испытаниям по определению показателей долговечности).

В зависимости от места проведения:

- Стендовые
- Полигонные
- Эксплуатационные

В зависимости от объема используемой информации испытания подразделяются на:

- Прямые
- Испытания по сокращенной программе

При прямых испытаниях для оценки надежности используют информацию, полученную в процессе конкретных испытаний, а при испытании по сокращенной программе используют не только результаты испытаний, но и дополнительную информацию об изделии.

Проблема организации любого вида испытаний на надежность включает 3 аспекта:

- 1). Технический
- 2). Математический
- 3). Экономический

Технический аспект – предусматривает анализ свойств и параметров изделий, подлежащих испытанию, выбор режимов испытаний, а также выбор контрольной и измерительной аппаратуры.

Математический – включает расчет числа изделий, длительности испытаний, оценку показателей надежности по результатам испытаний (определяющие испытания) либо правило принятия решения о соответствии надежности требуемому уровню, методы оценки результатов ускоренных испытаний.

Экономический – требует анализа вопросов, связанных со стоимостью испытаний, с выбором плана испытаний с экономической точки зрения.

18. Планы определительных испытаний

План определительных испытаний должен содержать следующую информацию.

- 1). Количество образцов N , поставляемых на испытание
- 2). Индекс, указывающий восстанавливается или нет отказавший элемент (планы с индексом U – без замены или восстановления, с индексом R – с заменой).
- 3). Указание об окончании испытаний (T – по окончании календарной продолжительности, r – при наступлении заданного числа отказов или предельных состояний).

Планы обозначаются следующим образом (всего 5 типов):

- 1). $[NUN]$ – на испытание поставлено N изделий, исследования ведутся до отказа всех изделий, отказавшие изделия не заменяются.

- 2). [NUT]
- 3). [NUr]
- 4). [NRT]
- 5). [NRr]

При планировании и оценке результатов определительных испытаний приняты следующие основные предпосылки:

- 1). Все образцы изделий, поставленные на испытание и используемые для замены, являются однотипными
- 2). При восстановлении изделий им полностью возвращаются свойства, в независимости от того, сколько проработало изделие.

Последнее допущение может считаться допустимым лишь для начального периода эксплуатации, когда процессы износа и усталостного разрушения оказывают слабое влияние на работу изделия. По этой причине испытания на безотказность должны быть незавершенными, «усеченными» во времени, т.е. не все изделия, поставленные на испытания, должны доводиться до отказов.

19. Определение минимального числа объектов наблюдений

Согласно ГОСТ 17510 методы расчета минимального числа объектов наблюдений могут быть:

- 1) Параметрический (при известном виде закона распределения исследуемой случайной величины) - наработка до первого отказа, ресурс, срок службы, время восстановления.

- 2) Непараметрический (вид закона распределения неизвестен).

Параметрический метод:

- 1) Этот метод базируется на использовании следующих законов распределения:

- экспоненциальный
- распределение Вейбула
- распределение Гаусса
- логарифмически - нормальный закон

- 2) определяют относительную ошибку среднего значения исследуемой случайной величины:

$$\varepsilon = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср}}}{t_{\text{ср}}}$$

$t_{\text{в}}$ – верхняя односторонняя доверительная граница

- 3) Выбирают доверительную вероятность относительно ошибки β (выбирают из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,99)

- 4) Определяют число объектов наблюдений N (определяют по эмпирическим формулам в зависимости от закона распределения). Если по результатам наблюдения за N объектами получен коэффициент вариаций меньше или равный заданному, то наблюдение прекращают. Если же коэффициент больше заданного, то точность считается недостаточной и необходимо произвести дополнительные наблюдения.

Непараметрический метод:

1) При неизвестном виде закона распределения случайной величины определение минимального числа N объектов наблюдений для проверки требуемой вероятности безотказной работы $P(t)$ в течение некоторого времени t с доверительной вероятностью β задается из условия отказа за время t .

2) Доверительная вероятность β выбирается из того же ряда, что и при параметрическом методе.

3) Число N объектов наблюдения определяется

$$N = \frac{\ln(1 - \beta)}{\ln P(t)}$$

Если при числе N объектов наблюдений за время t не обнаружено ни одного отказа, то результаты наблюдений считаются удовлетворительными по точности. Если же наблюдается хотя бы один отказ, то требование значения вероятности безотказной работы не подтверждается и необходимо провести дополнительное наблюдение.

20. Определительные испытания

Определительные испытания изделий на надежность проводятся с целью нахождения фактических, количественных показателей надежности для одного из вариантов испытаний, соответствующих заданным условиям применения. Эти испытания проводятся после освоения вновь разработанных или модернизированных изделий на образцах, изготовленных уже по технологии, соответствующей предполагаемому типу производства (серийному или массовому). При определительных испытаниях производится также проверка закона распределения отказов для данного вида изделий.

Результаты определительных испытаний могут служить основанием для оценки соответствия фактических показателей надежности изделий требованиям техническим условиям.

21. Метод однократной выборки

Для испытаний с целью оценки показателей надежности приборов и машин в соответствии с выбранной достоверностью по специальным таблицам определяют объем выборки.

Объем испытаний (количество образцов и продолжительность их проведения) устанавливается исходя из предполагаемой наработки на отказ и требуемой достоверности получаемой оценки.

В зависимости от плана испытаний и принятых показателей надежности на испытания может выделяться различное количество образцов. Увеличение кол-ва испытываемых образцов обеспечивает более достоверную оценку показателей надежности, однако это приводит к удорожанию испытаний. Если же испытывать меньшее количество образцов, но более продолжительное время для сохранения большего объема испытаний, то уменьшится оперативность в получении оценки. Предельная продолжительность испытаний не должна превышать времени появления признаков физического старения (время выхода из строя наиболее ответственных частей изделия или же большинства деталей по причине физического износа).

Испытания могут быть прекращены после некоторого количества отказов каждого испытываемого образца или по истечении определенного времени испытания.

В первом случае суммарное время испытаний определяется:

$$t_{\Sigma} = \sum_{k=1}^N t_k$$

Во втором случае:

$$t_k = t * N$$

t_k - время наработки на k -й отказ.

t - время наработки каждого образца в процессе испытаний.

Для оценки вероятности безотказной работы и других вероятностных показателей надежности необходимо знать закон распределения времени безотказной работы.

Установление закона распределения наработки между отказами производят следующим образом. Полученное значение наработки между отказами располагают в виде вариационного ряда. Для этого весь диапазон значений времен разбивают на k поддиапазонов.

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{k}$$

Количество поддиапазонов берут такое, чтобы среднее количество наработок на один поддиапазон было порядка 4-5. При выборе числа поддиапазонов следует учитывать, что при большом количестве поддиапазонов картина распределения (гистограмма) будет искажаться случайным отклонением значения частот. При слишком малом значении поддиапазона уменьшается достоверность описания статистического распределения тем или иным законом распределения.

$$n \leq 100, k = 1 + 3,22 \lg n$$

$$n > 100, k = 5 \lg n$$

Число поддиапазонов для построения гистограммы определяют по таблицам. Для каждого поддиапазона определяется частота появления наработок.

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}$$

где m_i - количество отказов за одно определенное время, n - количество отказов.

Затем строится статистическая функция распределения (полигон накопленных частот). Графическое ее построение представляет из себя ступенчатую кривую. Соединяя середины столбиков, получаем ломаную, после этого производим аппроксимацию.

22. Ускоренные испытания.

Современные приборы и машины имеют высокую надёжность, поэтому для оценки количественных показателей надёжности необходимо проводить большой объём испытаний. Увеличение же объёма испытаний приводит к их удорожанию. Испытания, позволяющие за более короткий срок получить достоверную оценку показателей надёжности, называются ускоренными или форсированными. Иногда их разделяют. Ускоренными испытаниями называют испытания, использующие нормальные режимы эксплуатации. Форсированными называют испытания, при которых режимы эксплуатации ужесточаются. Форсирование испытаний можно осуществить за счёт различных факторов. Эффективность форсирования может характеризоваться коэффициентом ускорения K_y , равным отношению средних значений времени безотказной работы при нормальных условиях работы ко времени безотказной работы при данных форсированных испытаниях:

$$K_y = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Phi}}$$

Ускоренные испытания могут выполняться:

- а) В нормальных условиях;
- б) Форсированием времени воздействия определяющих факторов;
- в) Форсированием времени функционирования объекта;
- г) Форсированием нагрузки за счёт увеличения жёсткости воздействия определяющих факторов.

Ускоренные испытания в нормальных условиях проводят в том случае, если отказы характеризуются постепенным изменением выходного параметра, которое можно представить математической моделью.

Проведение ускоренных испытаний в более жёстких (форсированных) условиях вызывает определённые трудности. Более жёсткие режимы не должны вызывать появление новых физико-химических процессов, обуславливающих отказы, а имеющие место процессы в нормальных условиях не должны в более жёстких условиях изменять закон распределения.

Построение метода ускоренных испытаний связано с решением многих задач. Основными из них являются:

- 1) Выбор форсированного режима;
- 2) Порядок проведения испытаний и определение способа пересчёта результатов форсированных испытаний к нормальным условиям.

22.1. Метод усиления режима работы изделия

Усиление режима работы изделия данного механизма или узла производится путём применения более высоких скоростей нагрузок, температур, агрессивных сред, абразива и т.д.. Предельные значения этих факторов должны выбираться, в первую очередь, исходя из условий сохранения *физики* отказов, т.е. таким образом, чтобы вид и характер разрушения при нормальной эксплуатации и при работе на повышенных режимах были идентичны. Для определения коэффициента ускорения необходимо определить функциональную зависимость процесса разрушения от данного параметра. При испытании изделий, которые выходят из строя в результате износа, для форсирования испытаний можно увеличить нагрузку P и скорость относительного скольжения V . Максимальные допустимые значения P_{max} и V_{max} определяются условием сохранения данного вида изнашивания. При линейной зависимости износа от нагрузки и скорости относительного скольжения (что имеет место при абразивном изнашивании) коэффициент ускорения может быть определён следующим образом:

$$K_y = \frac{P_{max} \cdot V_{max}}{P_{cp} \cdot V_{cp}}$$

22.2. Метод сокращения простоев и холостых ходов

Проведение испытаний в условиях, когда изделие работает более интенсивно во времени (т.е. без простоев и холостых ходов), чем при нормальной эксплуатации, соответственно, сокращает сроки испытаний. Однако использовать этот весьма простой метод форсирования можно только после анализа влияния перерывов в работе изделия на интенсивность процесса разрушения. Здесь могут встретиться различные случаи. Увеличение частоты циклов нагрузки при усталостных разрушениях в большинстве случаев не влияет на конечный результат. При изнашивании деталей наличие перерывов в работе может как увеличить износ (например, при жидкостном трении в подшипниках скольжения), так и уменьшить его (например, при эксплуатации металлорежущих инструментов). Необходимо разработать такую методику испытаний, чтобы длительность простоев и холостых ходов была минимально допустимой. Если по испытаниям ликвидированы все холостые ходы, и имеет место непрерывная работа, то $K_y = \frac{T_x + T_p}{T_p}$.

22.3. Метод увеличения точности измерения параметров

В тех случаях, когда в узле имеют место износные отказы, не всегда нужно доводить износ до предельного состояния. Во многих случаях достаточно знать скорость процесса или скорость изнашивания, если дальнейшее его протекание во времени определяется известными закономерностями. Для ускорения испытаний необходимо повышать точность измерений данного процесса износа с тем, чтобы за короткий промежуток времени установить ход процесса. Предельная погрешность метода измерения Δl должна быть значительно меньше того условного значения параметра, которое условно принято за предельное значение. Как показал анализ, должно быть выдержано условие $\frac{U_y}{\Delta l} \geq 4$.

22.4. Метод условных полей допусков

Заключается в том, что устанавливаются условные границы допусков, более жёсткие, чем пределы допуска. Вместо отказа станка из-за выхода параметра обрабатываемого изделия за пределы допуска фиксируется условный отказ. Коэффициент ускорения равен $K_y = \frac{\delta}{\delta_y}$.

22.5. Метод сопряжённых распределений

В ряде случаев сокращение времени испытания можно получить путём установления связи между требуемыми показателями надёжности и теми параметрами машины или прибора, которые определяют эти показатели. Так, вместо кривой распределения времени безотказной работы $f(t)$ можно исследовать кривую распределения выходных параметров прибора $f(x)$ и её изменения во времени. Эти два распределения называются сопряжёнными, т.к. одно определяет другое.

22.6. Метод испытаний с использованием закономерностей отказов

Если на основании теоретических и экспериментальных исследований раскрыта оценка данного вида отказов и установлены закономерности, связывающие интенсивность этого процесса с физическими параметрами, то время испытания в этом случае может быть сокращено до минимума. Если скорость процесса γ является функцией времени t и ряда параметров $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$, и эти параметры могут изменяться в некоторых пределах, то можно получить функцию случайных аргументов $\gamma = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, t)$. Поскольку безотказность работы изделия $P(t)$ зависит от скорости протекания данного процесса, то надёжность будет являться функцией тех же аргументов: $P(t) = F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, t)$. Параметры $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ не зависят от времени, и определить их даже с учётом дисперсии можно достаточно быстро. Например, если скорость абразивного изнашивания линейно зависит от твёрдости материала, удельного давления, скорости относительного скольжения и т.д., то достаточно знать средние значения и дисперсию этих величин, чтобы определить скорость изнашивания.

Этот метод требует сложных предварительных исследований: установление границ применимости полученных закономерностей, оценка условия работы прибора, определение постоянных параметров, входящих в функциональные зависимости. Однако именно в этом методе заложено решение основной проблемы испытания на надёжность, а именно – получение достоверных данных в кратчайшее время.

23. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Контрольные испытания приборов и машин проводят с целью проверки соответствия выпущенной партии требованиям по надежности. Проведение контрольных испытаний может быть организовано следующим образом:

а) устанавливается два уровня надежности: нижний уровень соответствует эксплуатационным требованиям, а верхний — требованиям к производству. Проверка осуществляется по контрольному уровню, при котором ошибки первого и второго рода не превышают допустимого значения;

б) для нижнего уровня надежности при заданной доверительной вероятности и объеме испытаний указывается допустимое число отказов (обычно $C=0$). Если при испытаниях количество отказов не превышает допустимого значения, то испытываемые машины или приборы соответствуют требованиям надежности.

Из-за ограниченного объема испытаний (т.е. ограниченное количество испытываемых образцов и время испытаний) Результаты испытаний не позволяют с высокой достоверностью оценить фактическое значение показателей надежности. Поэтому при оценке возможны ошибки двух родов:

а) ошибки первого рода — признание контролируемой партии изделий негодной, хотя в действительности она соответствует требованиям по надежности (вероятность принятия такого ошибочного решения обозначается через α и называется риском поставщика или изготовителя).

б) ошибки второго рода — признание контролируемой партии изделий годной, хотя в действительности она не соответствует требованиям по надежности (вероятность принятия такого ошибочного решения обозначается через β и называется риском потребителя или заказчика).

Для уменьшения ошибок α и β требуется уменьшить рассеивание значений показателей надежности (повысить требования к производству), либо увеличить интервал между предельно допустимым и приемочным уровнями надежности. Установление более высоких значений и приводит к уменьшению объема испытаний; но вместе с тем и к уменьшению достоверности получаемых оценок. Уменьшение объема испытаний получается также при увеличении разности между предельно допустимым и приемочным уровнем надежности. Практикой установлено, что соотношение между приемочным значением наработки между отказами T_0 и предельно допустимым T_1 должно находиться в пределах $T_0/T_1 = 1,25 \dots 2,5$. Значения для α и β обычно принимаются равными $\alpha = \beta = 0,05 \dots 0,10$. Контрольные испытания не предназначены для определения показателя надежности. Они служат средствам контроля надежности по некоторому косвенному признаку. Такими признаками могут быть, например, отсутствие отказов при испытаниях на протяжении заданного времени, предельные числа допустимых и недопустимых отказов для последовательных интервалов времени. В первом случае испытания называются испытаниями, основанными на числе допустимых отказов, равном 0, во втором случае — испытаниями, основанными на последовательном анализе.

24. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ ЧИСЛЕ ДОПУСТИМЫХ ОТКАЗОВ, РАВНЫХ НУЛЮ

ГОСТ 13216 для контрольных испытаний рекомендует проводить испытания с числом допустимых отказов c , равных нулю при доверительной вероятности 0,8. Для выбора числа испытываемых объектов при $c=0$ рекомендуется формула:

$$m = a / (1 - P_{\min}) - a / 2,$$

где a — значение половины аргумента функции при числе степеней свободы $K=2$;
 P_{\min} — нижнее значение вероятности безотказной работы.

Пример: Требуется определить число изделий для испытаний при условии, что минимально допустимое значение вероятности безотказной работы равно 0,90 при доверительной вероятности 0,8.

Решение: 1) по таблице определяем X_2 для $K=2$ и $F(t) = 1 - 0,8 = 0,2$

$$X_2 = 3,22$$

2) по формуле $m = a / (1 - P_{\min}) - a / 2$ определим m

$$m = (0,5 \times 3,22) / (1 - 0,9) - (0,5 \times 3,22) / 2 = 15$$

Если число допустимых отказов не равно нулю, тогда формула для подсчета количества образцов запишется так:

$$m = a / (1 - P_{\min}) - (a - c) / 2, \text{ т.е. если } c=2, \text{ то}$$

$$t = (0,5 \times 3,22) / (1 - 0,9) - (0,5 \times 3,22 - 2) / 2 = 16,2$$

т.е. следует взять 16 или 17 образцов для проведения испытаний.

25. Испытания по методу последовательного анализа

Рассмотренные выше испытания основаны на обработке некоторого заранее запланированного объема информации. Результат обработки сравнивается с заданным показателем надежности и на основании сравнения делается вывод либо о соответствии, либо о несоответствии полученных результатов требуемым.

Сокращение времени на контрольные испытания можно добиться, если использовать другой подход к планированию испытаний.

1) Не планировать заранее продолжительность испытаний, а разбить их на ряд последовательных этапов. На каждом из этапов анализировать результат и принимать одно из трех следующих решений:

а) прекратить испытания, т.к. есть основание считать, что изделия удовлетворяют требованиям надежности;

б) прекратить испытания, т.к. есть основание считать, что изделие не удовлетворяют требованиям надежности;

в) продолжать испытания, т.к. нет оснований для вывода о надежности изделий.

2) В основу обработки результатов испытаний положить не сравнение их с заданным показателем, а относить изделия к той или другой группе по показателю надежности, т.е. проводить проверку гипотезы о принадлежности изделия к той или другой группе. При испытаниях на надежность рекомендуется устанавливать две группы. К первой группе относят изделия, забракование которых может быть произведено с малой вероятностью α .

Эта вероятность, как известно, — риск поставщика или ошибка первого рода. Ко второй группе относят изделия, принятие которых может быть допущено с малой вероятностью β . Эта вероятность — риск потребителя (заказчика) или ошибки второго рода.

Испытания, построенные на таком подходе, называют испытаниями, основанными на последовательном анализе. Их характерные особенности: а) два уровня надежности, а также риски α и β , устанавливаемые до проведения испытаний; б) последовательность этапов проведения испытаний, позволяющая заканчивать их в зависимости от получаемых результатов.

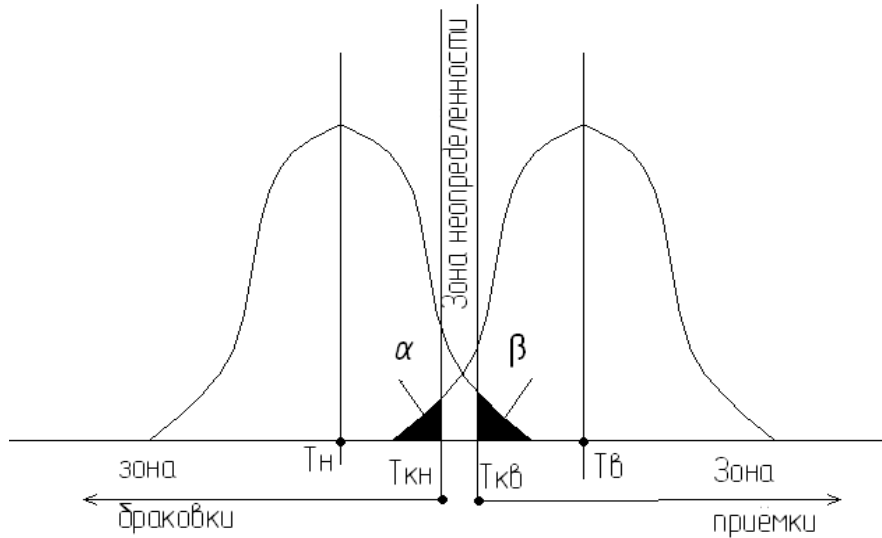


Рисунок а)

На рисунке а) дано графическое представление используемых параметров. Контрольные значения T_{KH} и T_{KB} выбираются таким образом, чтобы риск поставщика и риск потребителя были в пределах заданных норм при заданных значениях T_B и T_H . Из этого же рисунка видна целесообразность контрольных значений T_{KH} и T_{KB} и уровней надежности T_H и T_B .

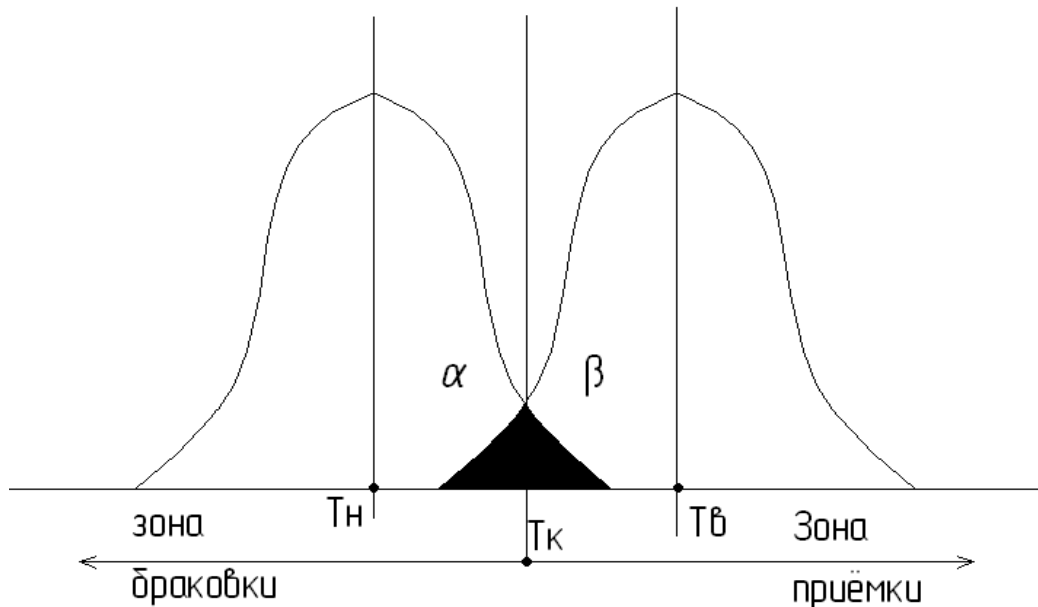


Рисунок б)

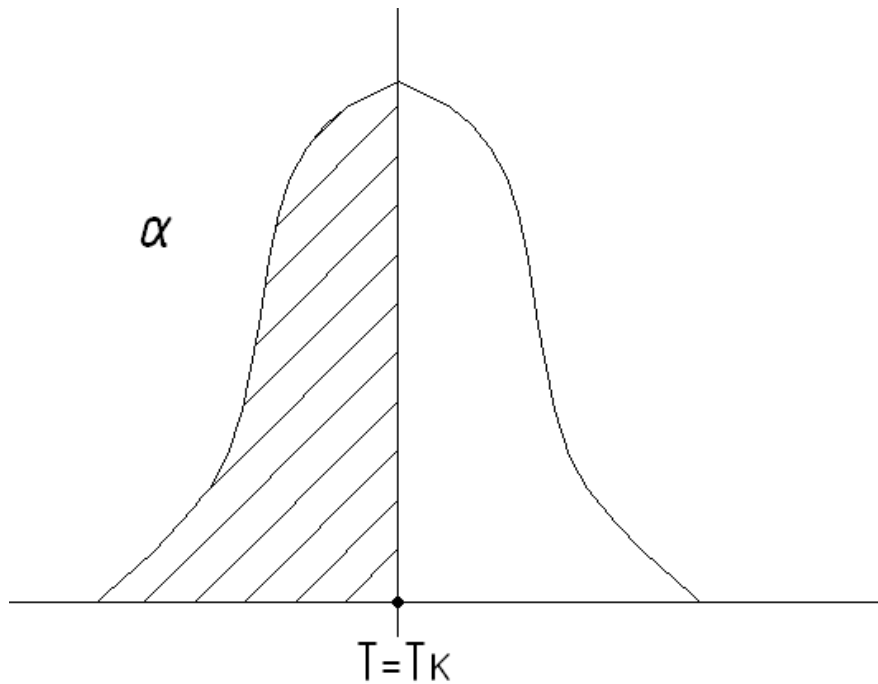


Рисунок в

Использование одного контрольного значения приводит к увеличению риска (рис.б), а одного уровня надежности и одного контрольного значения T_k , совпадающего со средним значением T -- к тому, что 50% годных изделий будет браковаться (рис.в).

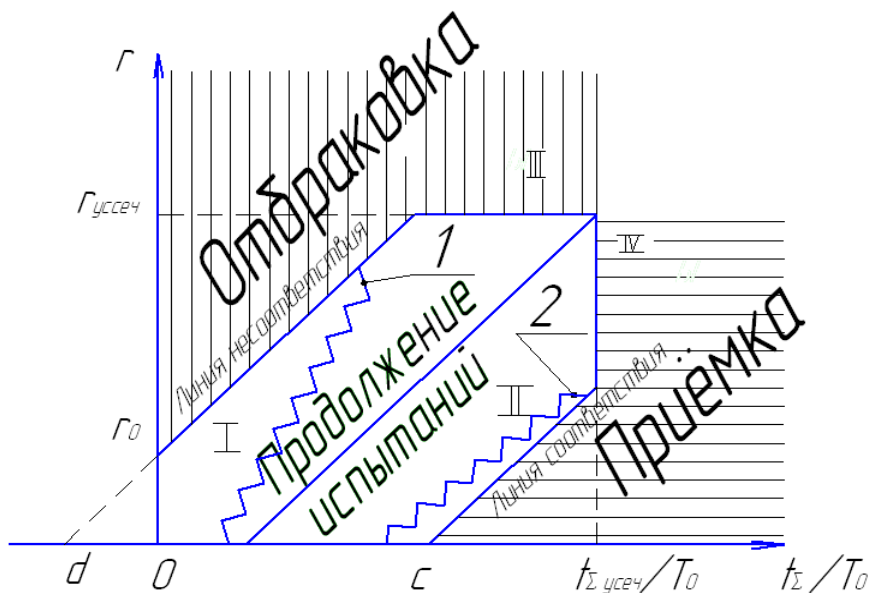
В качестве верхнего уровня надежности принимается уровень заданный в технических условиях; в качестве нижнего уровня - такой уровень, с которым можно принимать изделия с заданным риском. Если в качестве показателя надежности используется средняя наработка на отказ, то отношение T_v и T_n принимается равным 1,25...2,5.

Основные положения метода последовательных испытаний изложены в ГОСТ 17331. Планирование и оценка результатов последовательных испытаний на надежность производятся по наработке на отказ (по среднему времени безотказной работы) испытываемых изделий. Основанием для выбора плана испытаний являются:

- риск поставщика α ;
- риск: потребителя β ;
- приемочное значение наработки на отказ T_0 ;
- браковочное значение наработки на отказ T_1 .

При последовательных испытаниях устанавливается предельное количество отказов, то количество, при получении которого должно быть принято решение о пригодности контролируемой партии. Это количество отказов называется усеченным ($\Gamma_{\text{усеч}}$).

Можно графически представить план последовательных испытаний на надежность (все необходимые для этого данные берутся из таблиц в приложении к ГОСТ).



При последовательных испытаниях на надежность без восстановления работоспособности отказавших изделий или без замены отказавших новыми минимальный объем выборки численно равен $\Gamma_{усеч}$. Последовательные испытания заканчиваются вынесением решения о соответствии партии изделий требованиям надежности

Когда график последовательных испытаний достигнет линии соответствия (линия II, граф 2). Если график испытаний достигнет линии несоответствия (линия I, граф 1), принимается решение о несоответствии.

Испытания, основанные на последовательном анализе, рекомендуются для изделий серийного производства.

26. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ (ГОСТ 16504)

Исследовательские испытания используются для изучения физики и механизма изменений функциональных состояний элементов и их систем с целью разработки методов повышения их надежности. Исследовательские испытания можно разделить на **разрушающие** и **неразрушающие**. При разрушающих испытаниях нагрузку увеличивают до тех пор, пока испытываемый объект не выходит из строя. После чего путем разборки устанавливают причину отказа и усиливают слабые места. Увеличение коэффициента запаса нагрузки обеспечивает повышение надежности испытываемых объектов. Увеличение нагрузки (жесткости испытательных режимов) при разрушающих испытаниях может происходить и не до выхода объекта из строя, а лишь до предельного состояния. После определенной выдержки в предельных режимах объект разбирается и исследуется на предмет обнаружения изменений, приводящих в последующем к появлению **отказов**.

При исследовательских испытаниях для исследования надежности машин и приборов большое значение имеют неразрушающие методы испытаний. К основным методам неразрушающих испытаний относятся:

— Метод акустической эмиссии, который заключается в исследовании акустических колебаний, возникающих в твердых телах при пластическом деформировании или изломе.

— Метод ультразвуковой спектроскопии, базирующийся на исследовании свойств контролируемых объектов и параметров дефектов по изменению спектрального состава.

— Методы, базирующиеся на визуализации ультразвуковых изображений, которые используют ультразвуковые системы контроля с фотографическими, тепловыми, оптическими и другими способами визуализации нарушений целостности конструкции исследуемого объекта.

- Методы, базирующиеся на отражении ультразвуковых волн, которые исследуют состояние поверхности по коэффициенту отражения продольных упругих волн, падающих из жидкости на поверхность контролируемой детали.

— Методы ультразвуковой голографии, использующие *способы* ультразвуковой дефектоскопии, а также электронное сканирование поля ультразвуковой голограммы.

— Методы оптической голографии и когерентной оптики, использующие анализ картины бликов лазерного излучения при контроле механических, тепловых и вибрационных нагрузок.

— Методы, базирующиеся на визуализации рентгеновского и гамма-излучения, которые применяются при контроле толстостенных деталей и сварных швов с использованием телевизионных установок, фотографирования или видеозаписи.

— Методы нейтронной радиографии, основанные на регистрации изображения, получающегося в результате различного ослабления потока нейтронов отдельными участками контролируемого объекта.

— Методы, базирующиеся на волновых процессах, применяемые для обнаружения мест дефектов (раковин, трещин), когда и в качестве волновых процессов используют распространение ультразвуковых и электромагнитных волн в среде без затухания.

— Радиотехнические СВЧ-методы контроля, использующие взаимодействие СВЧ-диапозона с исследуемым материалом.

— Методы теплового излучения, основанные на изучении инфракрасного излучения исследуемого объекта.

Исследовательские испытания являются испытаниями, которые проверяют качество функционирования испытываемого объекта принятого схемно-конструктивного исполнения и устанавливают оптимальное соотношение всех входных параметров.

К исследовательским испытаниям относятся:

— лабораторные испытания для установления работоспособности объекта при выбранных значениях входных параметров;

— лабораторные испытания для установления предельных значений схемно-конструктивных параметров при предельных значениях внешних воздействий;

— граничные испытания;

— ступенчатые испытания и др.

27. **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ**

Лабораторные испытания проводятся с целью определения работоспособности и установления соответствия конструкции машин и приборов требованиям ТЗ.

Лабораторные испытания обычно начинаются с проверки правильности монтажа и соединения функциональных блоков.

Проверка работоспособности машин и приборов в целом производится вначале в нормальных условиях. В случае несоответствия какого-либо параметра машины или прибора требованиям ТЗ производится корректировка характеристик схемных или конструктивных элементов. Произведенные изменения записываются в специальный журнал по форме, установленной нормативной документацией.

После установления работоспособности машин и приборов в нормальных условиях испытания продолжаются в более жестких эксплуатационных условиях. Режимы испытаний, их продолжительность устанавливаются в соответствии с требованиями ТЗ или ТУ.

Кроме обычных эксплуатационных условий в процессе лабораторных испытаний может проверяться работоспособность машин и приборов и в предельных условиях. В этом случае объекты испытаний подвергаются воздействию предельных значений механических и климатических воздействий, которые могут быть в условиях эксплуатации.

Выявленные в процессе испытаний отказы анализируются и разрабатываются мероприятия по совершенствованию схемных и конструктивных решений, обеспечивающих повышение надежности машин и приборов.

28. ГРАНИЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Граничными испытаниями называются испытания, позволяющие *экспериментально* определить границы устойчивой работы элементов, узлов, блоков, приборов, машин при изменении входных параметров и внешних воздействий.

Граничные испытания позволяют:

- 1) установить оптимальный режим работы элементов, узлов, блоков и т.д., а также оценить границы возможных допусков входных параметров;
- 2) проверить соответствие параметров функциональных преобразователей требованиям ТУ при предельных значениях внешних воздействий, параметров применяемых элементов и деталей, источников питания, предельных значений измеряемой величины (для приборов) и параметров выходной нагрузки;
- 3) обеспечить наиболее устойчивое функционирование машин и приборов в реальных условиях их изготовления и эксплуатации.

Проведение граничных испытаний состоит из следующих основных этапов:

- а) предварительный анализ работы объекта испытания и составление программы испытаний;
- б) экспериментальное проведение и построение графиков граничных испытаний;
- в) проведение анализа граничных испытаний и разработка предложений по повышению устойчивости функционирования испытываемого объекта;
- г) реализация разработанных предложений и проверка их эффективности.

Различают два основных вида граничных испытаний:

- 1) граничные испытания устройств в процессе их проектирования;

2) граничные испытания устройств в процессе их эксплуатации. Существуют несколько практических способов выполнения граничных испытаний.

28.1. Аналитический способ

Для несложных схем, имеющих простое математическое описание, границы области безотказной работы могут быть определены расчетным путем с помощью уравнений типа:

$$y_{imin} = F_i(x_1, x_2 \dots x_n)$$

$$y_{imax} = F_i(x_1, x_2 \dots x_n)$$

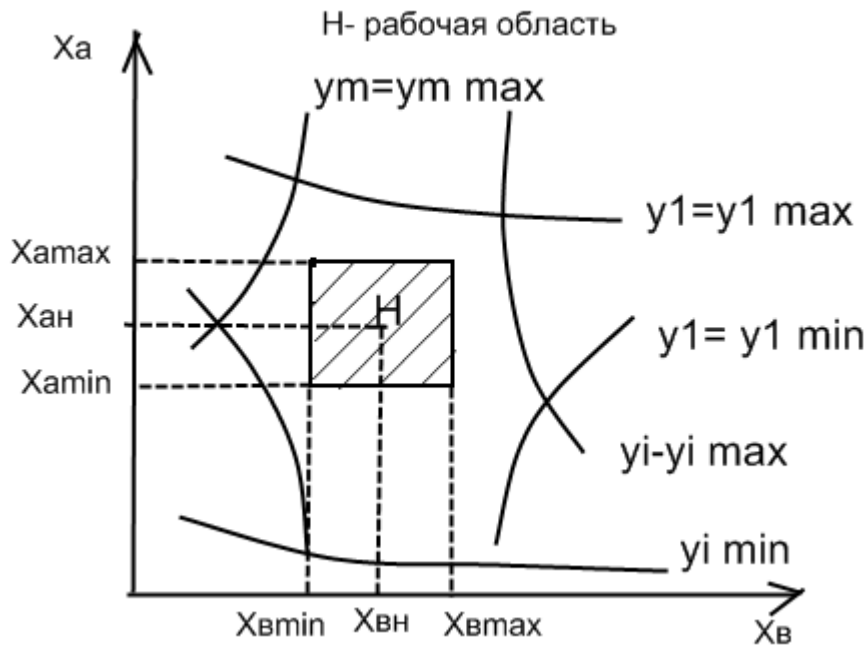
где $y_{imin} = \text{const}$, $y_{imax} = \text{const}$ — граничные значения выходных параметров, $x_1 \dots x_n$ - входные параметры. Это возможно, например, для пассивных линейных четырехполюсников.

28.2. Графический способ

Для сложных схем, работу которых математически нельзя удовлетворительно описать, аналитический способ неприменим. Границы области безотказной работы таких схем могут быть определены экспериментально.

Если число входных параметров $n > 3$ (а в сложных схемах всегда $n > 3$), то уже невозможно представить себе конфигурацию области безотказной работы. О ней можно получить некоторое представление, если рассматривать проекции сечений области безотказной работы плоскостями, параллельными координатным плоскостям.

К получению подобных проекций и сводятся на практике выполнение граничных испытаний. На оси абсцисс откладывают относительное изменение напряжения питания, t° окружающей среды и т.п. от номинального значения X_v . На оси ординат - относительное изменение исследуемого параметра X_a . По результатам исследований строятся графики граничных испытаний, представляющие собой сочетание относительных изменений исследуемых параметров, приводящее к отказу испытываемого объекта. Все графики накладывают на один рисунок. Если выходные параметры испытываемого объекта находятся в средней части образованной области устойчивого функционирования и имеют достаточный запас устойчивости, считается, что заложенные схемно-конструктивные параметры обеспечивают достаточную надежность испытываемого объекта. В случае, когда требуемое значение выходных параметров машины или прибора не имеет достаточного запаса устойчивости (по образованной зоне устойчивости), необходимо произвести корректировку номинального значения соответствующего исследуемого параметра.



28.3. Графо-аналитический способ

Дает возможность значительно уменьшить трудоемкость граничных испытаний и ускорить их проведение.

Для этого необходимо математическое описание исследуемого объекта:

$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где $x_1 \dots x_n$ — входные параметры. Значения выходного параметра будут находиться в пределах:

$$y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$$

Разложим функцию F в ряд Тейлора в окрестности номинальной рабочей точки H и ограничимся членами первого порядка, тогда можно записать:

$$y = y_H + \left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)_H \Delta x_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)_H \Delta x_2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n}\right)_H \Delta x_n \quad \text{или}$$

$$y = y_H + \sum \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)_H \Delta x_i,$$

где Δx — приращения входных параметров;

y_H — номинальное значение i -го выходного параметра.

Записанное ранее неравенство можно теперь записать:

$$y_{\min} \leq y_H + \sum \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)_H \Delta x_i \leq y_{\max}$$

Условия функциональной устойчивости можно записать в следующем виде:

$$y_{\min} \leq y_H - \sum \left| \frac{\partial F}{\partial x_i} \right|_H \Delta x_i$$

$$y_{min} \leq y_n + \sum |\partial F / \partial x_i|_n \Delta x_i$$

Очевидно, что если эти неравенства выполняются, то можно утверждать, что рабочая область не выходит за пределы области безотказной работы. Если неравенства не выполняются, то исследуемая схема ненадежна. В этом случае повышение надежности можно обеспечить:

- а) путем уменьшения допусков на параметры элементов;
- б) изменением номинальных значений отдельных параметров, увеличивающих зону функциональной устойчивости.

Указанные мероприятия обеспечивают выполнение неравенств еще с большим запасом.

Экспериментальная часть метода сводится к нахождению частных производных. Частные производные заменяются отношениями приращений выходного параметра при конечном приращении каждого входного параметра. Влияние каждого параметра на значение выходного параметра исследуют при номинальном значении остальных параметров.

Важным достоинством этого метода является и то, что у исследователя появляется возможность видеть всю картину в целом. Действительно, каждый член ряда определяет то частичное изменение выходного параметра, которое вызвано изменением соответствующего входного параметра. Сразу можно оценить удельный вес влияния этого входного параметра. Открывается возможность обоснованного выбора допусков на отклонение тех входных параметров, которые зависят от воли разработчика.

29. Условия эксплуатации и их влияние на показатели надёжности.

29.1. Климатические зоны и факторы, влияющие на надёжность.

В зависимости от функционального назначения изделия используются в определённых эксплуатационных условиях: рабочих режимах, климатических и производственных условиях (температуре, влажности, радиации и т.д.).

В зависимости от изменения климатических и производственных условий можно различать ряд климатических зон:

- 1) Арктическая;
- 2) Умеренная, подразделяющаяся на влажную умеренную и сухую умеренную;
- 3) Тропическая, подразделяющаяся на влажную тропическую (джунгли, побережье морей, острова) и сухую тропическую зону (пустыни).

1. К арктическим и полярным зонам относятся: Арктика и Антарктида, Сибирь, Аляска, Северная Канада, северо-восточная часть Европы. Температура достигает зимой -40°C и даже -55°C ... -70°C , летом температура доходит до $+30^{\circ}\text{C}$, а иногда даже до $+35^{\circ}\text{C}$. Суточные изменения температуры t° - до 20°C . Наилучшая t° моря – 0°C . Абсолютная влажность мала, но вследствие низких температур относительная влажность часто оказывается высокой.

2. Зоны умеренного климата расположены между широтами от 40° до 65° . Условия в этой зоне постепенно переходят с одной стороны, к условиям арктической зоны, а с другой – к условиям субтропической зоны. Области, удалённые от морей и

океанов, отличаются большим непостоянством значений температур, относительно высоких летом и низких зимой. Районы, лежащие вблизи морей и океанов, отличаются менее резкими изменениями температуры в течение года и повышенной влажностью. Это способствует увеличению коррозии материалов. Особенно высока коррозия материалов в промышленных районах, загрязняющих воздух и воду агрессивными примесями.

3. К тропическим сухим зонам (зоны пустыни) относятся Северная и Центральная Африка, Аравия, Иран, Средняя Азия и Центральная Австралия. Зоны характеризуются наличием высокой температуры и большими суточными её изменениями, а также низкими значениями относительной влажности. Максимальные дневные t° достигают 60°C , минимальные ночные доходят до -10°C . Вполне нормальным явлениям являются суточные изменения на 40°C . Вследствие поглощения интенсивного солнечного излучения t° машины приборов на поверхности земли может достигать $70^\circ\text{...}75^\circ\text{C}$. Максимальная относительная влажность ночью достигает $z=10\%$, минимальная $z=5\text{...}3\%$. Вследствие низкого содержания влаги в атмосфере рассеивание и поглощение ультрафиолетовой составляющей в солнечном излучении мало. Наличие ультрафиолетового излучения вызывает активизацию ряда фотохимических процессов на поверхности изделия. Характерным является наличие движущихся потоков пыли и песка, возникающих под влиянием ветров или создаваемых транспортом. Частицы пыли обычно размером $0,05\text{-}0,02$ мм имеют угловатую форму и обладают абразивными свойствами. Песок состоит, главным образом, из зерен кварца со средним диаметром примерно $0,4$ мм.

Тропические влажные зоны расположены у экватора между 23° северной и 23° южной широты. Они характеризуются постоянным высокой t° с малыми суточными изменениями и высокими значениями относительной влажности. В течение значительной части года выпадают обильные осадки. Дневные t° до 40°C , ночные редко ниже 25°C , в дождливые периоды t° может снижаться до 20°C . Относительная влажность днём $z=70\text{-}80\%$, а ночью повышается до $z=90\%$ и выше; часто ночью воздух насыщается водяными парами, т.е. $z=100\%$.

В тропическую влажную зону входят Западная, Центральная и Восточная Африка, Центральная Америка, Южная Азия, Индонезия, Филиппины и архипелаги островов в Тихом и Индийском океанах. Характерным для прибрежных районов и островов данной зоны является наличие высокого содержания соли в атмосфере, что при наличии высокой относительной влажности и высокой температуры создаёт условия для интенсивной коррозии металлов.

В связи с развитием авиации и ракетной техники существенный интерес представляют условия в верхних слоях атмосферы. Для ближайшей к земной поверхности зоны ($0\text{-}12$ км) – тропосферы – характерно падение температуры примерно $6,5^\circ\text{C}$ на каждый километр высоты, происходит уменьшение относительной влажности до $z=5\text{...}2\%$ у верхней границы тропосферы. В следующей зоне ($12\text{-}80$ км) – стратосфере - t° на участке $12\text{...}25$ км высоты достигает $-56,5^\circ\text{C}$, а затем начинает расти. В стратосфере находятся слои озона, которые имеют максимальную концентрацию на высоте $16\text{...}25$ км. В тропосфере и стратосфере существуют ветры и течения. Сила ветров возрастает с высотой в тропосфере, а затем уменьшается в стратосфере. Ветры и воздушные течения имеют западное направление. Наиболее мощные течения (до 120 м/с и больше) лежат вблизи нижнего слоя стратосферы.

В зоне, лежащей выше 80 км – ионосфере - t° снова начинает возрастать. На высоте 82 км находится так называемый слой E, на высоте 150 км – слой F ионосферы, играющие важную роль в распространении коротких и ультракоротких радиоволн. В ионосфере большая часть газов находится в атомарном состоянии. Последняя зона – экзосфера – представляет почти идеальный вакуум.

Итак, как следует из анализа климатических зон, к категории климатических факторов относится действие t° , влажности и солнечной радиации.

Мы выяснили, что t° воздуха вблизи земной поверхности может колебаться от -70° до $+60^{\circ}\text{C}$. Если оборудование не защищено от прямого воздействия солнечных лучей, то температура твёрдого тела у поверхности Земли может превышать температуру окружающего воздуха на $25^{\circ}\dots35^{\circ}\text{C}$. t° внутри защищённого кожуха вследствие выделения тепла работающими приборами может повышаться до 150°C и выше. Т.о., диапазон температур, при котором работает оборудование, весьма значителен. Рассмотрим характерные примеры t° влияния:

- Белая модификация олова, переходя в серую, при $t^{\circ} = 13^{\circ}\text{C}$. При $t^{\circ} = -50^{\circ}\text{C}$ резко возрастает процесс разрушения олова. Под влиянием t° изменяются геометрические размеры деталей, что может привести к возникновению зазоров, заклиниванию.

Изменяются также электрические и магнитные свойства материалов. Температурный коэффициент сопротивления меди равен 0,4% на 1°C . Величина сопротивления непроволочных резисторов меняется при изменении t° от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$ на 15...20%. Сталь с примесью 6% вольфрама теряет до 10% магнитной энергии при изменении температуры от 0° до 100°C . Ёмкость конденсатора существенно меняется при изменении температуры (до 20...30%). При изменении t° окружающей среды от -60° до $+60^{\circ}\text{C}$ параметры полупроводниковых приборов меняются на 10...25%. Существует предельное значение t° , при котором могут работать полупроводниковые приборы, так, для германиевых диодов и транзисторов, предельно допустимое t° $70^{\circ}\dots100^{\circ}\text{C}$, для кремниевых – $120^{\circ}\dots150^{\circ}\text{C}$.

Влажность также влияет на работоспособность. Водные пары всегда находятся в воздухе, окружающем оборудование. Относительная влажность составляет при нормальных условиях 50...70%, среднее значение относительной влажности колеблется от 5% (в зоне пустынь) до 95% (в зоне тропиков). Влага изменяет механические и электрические свойства материалов. Проникновение влаги в поры диэлектрика повышает диэлектрическую проницаемость, что приводит к изменению ёмкости конденсаторов. Влажность уменьшает поверхностное сопротивление, сопротивление изоляции, электрическую прочность, уменьшает ёмкостную связь между проводами, оказывает существенное влияние на работоспособность полупроводниковых приборов, вызывает коррозию всех металлических деталей.

Существенным фактором для ухудшения работоспособности оборудования является наличие ультрафиолетового излучения и, наконец, высокая относительная влажность и высокая температура способствуют быстрому развитию бактерий и микроорганизмов, которые вызывают порчу органических, а в ряде случаев и металлических частей оборудования (изоляция проводов, изолирующие части конструкции, краски, лаки и другие покрытия).

Установлен ряд климатических исполнений (классы исполнений) изделий по условиям их эксплуатации в макроклиматических районах (ГОСТ 15150-69). Например: У

(N) – для районов с умеренным климатом; УХЛ (NF) – с умеренным и холодным климатом; при эксплуатации только в холодном климате – ХЛ (F) и т.д.. Всего установлено 11 климатических исполнений. В зависимости от места размещения изделия при эксплуатации в воздушной среде (на высоте до 4300 м над уровнем моря, а также в подземных и подводных помещениях) установлен ряд категорий размещения:

- 1- На открытом воздухе;
- 2- Под навесом или в открытых помещениях;
- 3- В закрытых помещениях (не отапливаемых);
- 4- В закрытых отапливаемых помещениях;
- 5- В помещениях с повышенной влажностью (шахты, подвалы, цеха и т.д.).

Стандарт устанавливает нормы температуры, влажности и другие эксплуатационные параметры для данного вида условий эксплуатации (класса и категории). Например, для изделий исполнения УХЛ 4 рабочие температуры – от +1° до +36°, средняя рабочая температура +20°С, предельные температуры +1°С; +50°С. Предельная относительная влажность 80%.

30. ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

Значение показателей надежности зависит от условий эксплуатации. При испытаниях на надежность приборов и машин жесткость внешних условий и режимы испытаний должны в максимальной степени соответствовать эксплуатационным условиям и режимам работы. Условия эксплуатации характеризуются климатическими воздействиями, механическими воздействиями и уровнем обслуживания.

В процессе испытаний приборы и машины подвергаются воздействиям внешних факторов и так как внешние факторы в основном делятся на механические и климатические, то и испытания соответственно называются механическими и климатическими.

В настоящее время для проведения испытаний используются различные виды испытательной аппаратуры. Наиболее часто применяется следующее оборудование:

- 1) камеры для испытания на изменение температуры, влажности и давления;
- 2) камеры для испытания на влияние дождя и брызг, солнечного излучения;
- 3) камеры для испытания на влияние пыли и песка;
- 4) камеры для испытания на влияние бактерий и микроорганизмов;
- 5) камеры для испытания на взрывоопасность;
- 6) установки (машины вибростенды) для испытания на вибрацию и акустические воздействия;
- 7) установки для испытаний на удар;
- 8) установки (центрифуги) для испытаний на влияние ускорений;
- 9) установки для испытаний на влияние радиоактивных излучений.

Проверка работоспособности и оценка показателей надежности приборов и машин при механических воздействиях производится при следующих испытаниях:

- на вибропрочность;
- на виброустойчивость;
- на ударную прочность;

— на устойчивость к воздействию центробежного ускорения; ~ на прочность при падении;

— на взрывное воздействие:

— на транспортирование.

Механические испытания проводятся по методике, указанной в ТУ на изделие. Обычно испытываемые объекты (изделие целиком или его составные части) устанавливаются на стендах в трех взаимно перпендикулярных положениях. Уменьшение числа положений оговаривается в ТУ. При испытаниях на ударных стендах рекомендуется для уничтожения возникающих при ударах колебаний высоких частот применять амортизирующие резиновые прокладки, устанавливаемые между соударяющимися элементами ударного стенда.

30.1. ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРОПРОЧНОСТЬ

Эти испытания можно проводить на одной частоте или в диапазоне частот. Установки для испытаний на вибрацию воспроизводят воздействие переменное во времени. Обычно при испытаниях на изделие воздействуют одной частотой, т.е.

$$x(t) = x_{min} \omega t, \text{ где } x \text{ — амплитуда колебаний,}$$

ω — частота колебаний.

Обычно такие испытания проводятся с целью выявления дефектов сборки и монтажа, допущенных в процессе изготовления приборов и машин. Испытания в диапазоне частот проводятся с целью проверки способности оборудования сохранять свою прочность в условиях эксплуатационной вибрации.

30.2. ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Эти испытания проводятся при включенном состоянии оборудования и в эксплуатационном положении. Амортизированные приборы и машины испытывают на виброустойчивость на амортизаторах. Испытания проводятся при плавном изменении частоты в пределах каждого поддиапазона частот, на вибростендах. Иногда в качестве источников вибрации используют мощные акустические излучатели (сирены, реактивные двигатели). Такие излучатели дают широкий спектр частот, воздействующий на изделие. Уровень звукового давления излучателей лежит в пределах 120... 175 дБ.

Под влиянием вибраций возникают усталостные явления в материалах, уменьшается трение и, как следствие, прочность винтовых соединений, ускоряются процессы коррозии и т.д. Испытания проводятся для одного, двух или трех направлений действия ускорения, совпадающих с координатными осями изделия. Испытания на виброустойчивость могут сочетаться с другими видами испытаний.

30.3. ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Машины и приборы испытываются в нерабочем (выключенном) состоянии. Переносное оборудование испытывается в трех взаимноперпендикулярных положениях. Продолжительность испытания в эксплуатационном положении должна составлять 50% от общего времени испытания на ударную прочность.

Установки для испытания на удар (копры) выполняются либо в виде вертикальных копров, в которых контейнер с изделием падает вертикально на основание из материала с известными механическими свойствами (сталь, свинец и т. д.), либо в виде маятникового копра, в котором изделие, помещаемое на конце вращающегося рычага, ударяется в неподвижное основание, поверхность которого состоит из материала с известными механическими свойствами.

С помощью копров можно создавать ускорения до $a=20000...40000 g$. Испытания проводят для одно, двух или трех положений изделия, отвечающих различным координатным осям.

Стационарные и транспортируемые приборы и машины на автомашинах и железнодорожных вагонах испытываются в табельной упаковке.

30.4. ИСПЫТАНИЯ НА ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

Испытание приборов и машин на транспортирование обычно проводится на автомашинах по булыжным и грунтовым дорогам со скоростью 20...30 км/ч на расстояние не менее 300 км. Транспортируемое оборудование в тарных ящиках перевозится в упакованном виде; оборудование, смонтированное в автомашине, в процессе испытаний может находиться во включенном состоянии. В отдельных случаях испытания на транспортирование могут быть заменены испытаниями на вибро- и ударопрочность.

30.5. ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЦЕНТРОБЕЖНОГО УСКОРЕНИЯ

Испытуемое изделие устанавливается на центрифуге. Положение и способы крепления указываются в ТУ или программе испытаний. Оборудование испытывается во включенном состоянии. Величина центробежных ускорений должна выдерживаться приблизительно в центре тяжести изделия.

Установки для испытания на влияние ускорений (центрифуга) представляют собой, как правило, хорошо сбалансированную длинную и узкую платформу (балку), вращающуюся вокруг вертикальной оси, проходящей через ее середину. Если число оборотов платформы в минуту равно n , то ускорение, которое создается в месте закрепления испытываемого изделия, будет:

$$g_x = (2\pi/60)n^2r \approx 0.01n^2r$$

где g_x — ускорение, выраженное в единицах ускорения силы тяжести; r — расстояние от центра до точки закрепления испытываемого изделия (его центра тяжести).

С помощью современных типов центрифуг можно создавать ускорения до 200 g и выше.

30.6. Климатические испытания

Проводятся по методике указанной в ТУ на данное изделие. Для большинства видов приборов и машин имеются отработанные методы испытаний, которые изложены в соответствующих нормалах или ГОСТах. Основными климатическими испытаниями являются:

— Испытания на влагоустойчивость

Производятся с целью определения устойчивости параметров приборов и машин к воздействию влаги. Испытания бывают кратковременными и длительными. Испытываемые изделия помещаются в камеру влажности с температурой и влажностью в соответствии с требованиями ТУ. При кратковременных испытаниях работоспособность приборов и машин проверяется через каждые 12...24 часа, а при длительных — через 2...5 суток. После окончания испытания изделия извлекаются из камеры, выдерживаются в нормальных условиях не менее 1 часа (для высыхания запотевания и капелек росы), затем измеряются необходимые параметры и производится внешний осмотр. К испытаниям на влагоустойчивость также относятся и испытания на влияние агрессивных сред. В этом случае изделия помещают на 48...72 часа в атмосферу, содержащую заданную концентрацию агрессивных компонентов.

В качестве типовых испытаний помещают изделия в атмосферу паров морской воды (что соответствует $pH= 8,1...8,3$) или в туман, получаемый при распылении или испарении морской воды или воды с заданным содержанием агрессивных компонентов (Cl , H_2SO_4 , SO_2 и т.д.).

— Испытания на холодоустойчивость

Производятся с целью выявления дефектов, появление которых обусловлено низкой t° (деформация, нарушение герметичности, нарушение работы механизмов и

органов управления и т.п.). Режимы испытаний устанавливаются в ТУ. Испытываемые изделия помещают в камеру холода и при нормальных условиях проверяют их работоспособность. Затем они выключаются, и в камере устанавливается отрицательная температура. После выдержки изделия при отрицательной t° в течение заданного времени проверяются параметры в соответствии с требованиями ТУ. Затем t° в камере понижается до предельного значения на время не менее 2 часов. По истечении указанного срока t° в камере повышается до нормальной со скоростью 1...2 град/мин и изделие выдерживается в течение 2..4 часов и подвергается проверке в соответствии с требованиями ТУ.

— Испытания на теплоустойчивость

Проводятся с целью проверки работоспособности машин и приборов при повышенной t° окружающей среды. В нормальных условиях перед испытанием и в процессе проведения испытаний контролируются необходимые параметры на соответствие требованиям ТУ. После испытания в рабочих условиях изделия выдерживаются в течение 2 часов, затем после 4...6 часов выдержки в нормальных условиях измеряются необходимые параметры и производится внешний осмотр.

— Испытания на брызгозащищенность

Проводятся с целью проверки безотказной работы изделий во время и после пребывания их в брызгоопасной среде. Машин и приборы во включенном состоянии подвергаются в течение 2 часов равномерному поочередному обрызгиванию с четырех сторон водой под углом 45 и интенсивностью 5 мм/ мин. Этим испытаниям должно подвергаться оборудование, эксплуатирующееся на открытом воздухе.

— Испытания на влияние пыли и песка

Проводятся в специальных камерах. Песок или частицы искусственной пыли заданных свойств и размеров продуваются с необходимой скоростью через трубу, в которой расположено изделие. Через определенные промежутки времени изделие поворачивается с целью учета всех возможных вариантов воздействия потоков пыли или песка.

Проверяется изменение изоляционных свойств вследствие проникновения пыли в микротрещины изоляции: возможность пробоев изоляции, образование проводящих мостиков в схемах с печатным монтажом. Проверяется также изнашивание трущихся поверхностей за счет абразивного действия пыли, износ колец и коллекторов электродвигателей. Органическая пыль способствует развитию плесени и других биоорганизмов.

— Испытания на грибковую плесень (грибкоустойчивость)

Проводятся с целью определения надежности машин и приборов в среде, зараженной плесневыми грибами и с высокой степенью влажности, а также с целью проверки устойчивости покрытий и материалов в этой среде, для проведения таких испытаний изделия помещают на заданный срок (от 48 ч до 6 месяцев) в камеру, где создается сочетание температуры и влажности, соответствующее либо типовым либо наиболее благоприятным условиям развития. Обычно это $t^{\circ} = 25 \dots 40^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 70...85%. В камеру вводят культуру предполагаемых видов плесени или других микроорганизмов.

По окончании заданного срока проверяют механические свойства испытываемых изделий, нарушение за счет коррозии под влиянием образованных микроорганизмов органических кислот; проверяют электрические свойства — изменение сопротивления изоляции, появление замыканий и пробоев, разрушение проводников и нарушение контактов: проверяют изменение оптических свойств стекол, особенно имеющих специальные покрытия. После окончания испытаний изделия должны быть дезинфицированы или уничтожены.

К климатическим испытаниям относятся также испытания на действие солнечной радиации, на высотность и др. В процессе проведения испытаний обычно воспроизводят воздействия внешних факторов в следующих сочетаниях:

а) t° воздействия: повышенная $t^{\circ}C$, пониженная $t^{\circ} C$, тепловые удары. Температурные воздействия могут совмещаться с повышенной влажностью, с низким или повышенным давлением;

б) механические воздействия: вибрационные воздействия в одной или нескольких плоскостях, ударные нагрузки, ускорения, механические воздействия также могут совмещаться с t° и другими воздействиями и т.п.

Для электромеханических устройств наиболее тяжелым сочетанием будет являться воздействие пониженной $t^{\circ} C$ после повышенной влажности, так как в этом случае может происходить замерзание механизмов (замерзание капелек воды между перемещающимися деталями).

Для электронных устройств наиболее тяжелыми сочетаниями будут воздействия повышенной $t^{\circ} C$ после повышенной влажности, которое может привести к понижению сопротивления изоляции, появлению токов утечки, пробоя и т.п.

Пример режимов испытаний

Для отдельной аппаратуры (например, телевизоров) контрольные испытания могут состоять из двух этапов:

— испытания на ударную прочность, частично имитирующие транспортирование телевизоров от завода до торговой сети;

— испытание на электропрогон в течение 750 часов.

Испытания на ударную прочность проводят в следующем режиме:

— ускорение — 15g;

— длительность ударного импульса — 10 мс;

— частота ударов — 40...80 уд/мин;

— количество ударов — 500.

Испытания на электропрогон производятся в нормальных условиях:

— t° окружающей среды $25 \pm 10^{\circ} C$;

— относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$

— атмосферное давление 750 ± 30 мм.рт.ст. (100000 ± 4000 Па).

До испытаний и после каждого вида воздействий проверяется работоспособность аппаратуры, обнаруженные отказы устраняются. По результатам испытаний принимают решение о соответствии испытываемых образцов требованиям ТУ на надежность.

31. Назначение гарантийных сроков.

Гарантийный срок (срок гарантии) – период, в течение которого изготовитель гарантирует и обеспечивает выполнение установленных требований к изделию при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации.

Гарантийный срок относится к числу косвенных показателей надёжности. Чем выше надёжность, тем более продолжительным может быть гарантийный срок, но прямой связи между продолжительностью гарантийного срока и надёжностью не существует. В период гарантийного срока возможны отказы изделия. Количество их обычно не оговаривается (хотя, иногда указывается количество отказов за определённый срок, которое определяет замену изделия на новое).

Гарантийные обязательства могут быть сформулированы различным образом, например:

1) В период гарантийного срока поставщик при возникновении отказа производит бесплатное восстановление работоспособности изделия на месте его эксплуатации;

2) В период гарантийного срока поставщик производит бесплатно ремонт изделия в мастерских гарантийного ремонта и т.д..

Какова же продолжительность гарантийного срока и исходя из чего она определяется?

Гарантийный срок должен быть не меньше периода, в течение которого выявляются скрытые производственные дефекты. Чтобы определить эти дефекты, производятся разнообразные испытания в процессе производства. На заключительном этапе производства осуществляется тренировка изделия и его приработка. Однако даже при наличии таких требований изделие часто поступает к потребителю со скрытыми дефектами. При оплате работы по устранению этих дефектов исходят из того, что изделие должно обладать заданной надёжностью и поэтому количество скрытых дефектов не должно превышать допустимой величины.

Поэтому указание гарантийного срока не ниже некоторой величины и надбавка к стоимости на его обслуживание не выше допустимого уровня служат одним из средств обеспечения заданной надёжности. Предприятие, выпускающее изделие низкой надёжности, вынуждено будет при правильном назначении гарантийного срока и цены на изделие бесплатно ремонтировать некоторую часть отказавших изделий без компенсации в виде доплаты к их стоимости.

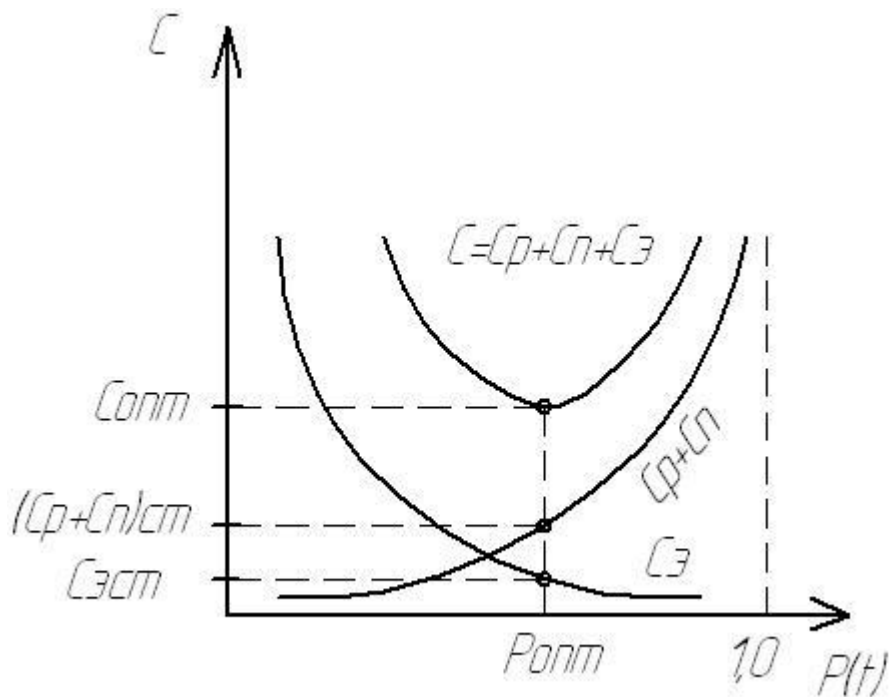
Верхний уровень гарантированного срока определяется продолжительностью периода, в течение которого можно пренебречь отказами, вызванными износом деталей и старением материалов. Период износных отказов связан с резким увеличением числа отказов, требующих ремонта. Распространять гарантийный срок на этот период нецелесообразно по следующим причинам:

- 1) Гарантийный срок утрачивает роль косвенного показателя надёжности;
- 2) Себестоимость изделия резко возрастает в связи с возрастанием оплачиваемых затрат на устранение износных отказов. Указанные верхние и нижние границы гарантийного срока определяются либо на основании изучения статистических материалов, либо на основании проведения специальных испытаний.

32. Определение оптимального уровня надёжности.

Повышение надёжности может быть достигнуто за счёт разработки более совершенных конструкций и техпроцессов, использования более прочных материалов, резервирования, квалифицированного и планомерного обслуживания и т.п.. Однако все эти мероприятия требуют экономических затрат.

Т.о., недостаточная надёжность приводит к экономическим потерям, но повышение надёжности достигается за счёт экономических затрат. Это можно проиллюстрировать на рисунке с помощью функциональных зависимостей.



Полная стоимость разработки, производства и эксплуатации устройства выражается в виде $C = C_p + C_n + C_e$, где C_p – затраты на разработку, C_n – на производство, C_e – на эксплуатацию.

Из приведенных графиков видно, что с ростом вероятности безотказной работы увеличиваются затраты на разработку и производство и уменьшаются затраты на эксплуатацию.

Однако, подобная интерпретация зависимости надёжности и себестоимости изделий носит чисто иллюстративный характер и отражает лишь самые общие тенденции. Основной её недостаток заключается в том, что в ней не отражён характер влияния отказов на экономический ущерб. Поэтому более детальная проработка этого вопроса производится обычно с использованием моделирования.

Литература:

1. ГОСТ 16503 «Промышленные изделия. Номенклатура и характеристика основных показателей надежности.»
2. ГОСТ 17509 «Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных оценок показателей надежности по результатам наблюдений.»
3. ГОСТ 17510 «Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений.»
4. ГОСТ 27.002 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.»
5. ГОСТ 27.003 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.»
6. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин – М.: Изд-во стандартов, 1985.
7. Решетов Д.Н. и др. Надежность машин – М.: выс.шк.,1988.