

НАДЕЖНОСТЬ ОЭП



Надежность является одним из основных показателей качества опико-электронных приборов.

Она влияет на рынок приборов, их конкурентоспособность, стоимость, затраты на транспортирование и хранение, обслуживание, безопасность, экологию, расходование природных ресурсов, а также оказывает мощное воздействие на развитие науки и техники в плане создания новых более надежных материалов, элементов и устройств.

Теория надежности приборов, машин, систем и их элементов изложена в многочисленной литературе и обычно преподается студентам в специальных курсах учебных дисциплин.

В лекции рассматриваются лишь те аспекты надежности, знание которых необходимо при проектировании ОЭП приборов.

Надежность ОЭП достаточно высока, так как они, как правило, содержат небольшое количество подвижных элементов, работают с малыми нагрузками в относительно благоприятных условиях и режимах по сравнению, например, с машинами.

Однако обеспечение и повышение их надежности невозможно без проведения специальных мероприятий на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации.

Рассмотрим основные **понятия и показатели надежности изделий.**

Основные понятия и определения

Надежность технического изделия - его свойство выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах (т.е. работоспособность), соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортирования в течение требуемого промежутка времени или требуемой **наработки**.

Наработка - объем или продолжительность работы изделия, которые измеряются в единицах времени, длины, массы, количестве повторных циклов функционирования и т.д.

Например:

- наработка выключателей реле измеряется в числе циклов включения-выключения,
- наработка двигателей и покрышек автомобиля - в километрах,
- наработка источников и приемников излучения, аккумуляторов - в часах работы.

Надежность изделия обуславливается его **безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью.**

Отказ - неисправность, без устранения которой невозможно дальнейшее выполнение изделием всех или хотя бы одной из его основных функций, т. е. нарушение работоспособного состояния изделия.

Безотказность – свойство изделия сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени или наработки без вынужденных перерывов.

Непрерывное сохранение работоспособности в течение заданного времени не исключает некоторых профилактических мероприятий по ее поддержанию (осмотр, чистка, смазка, контроль, тестирование).

Безотказность особенно важна для приборов, вынужденный перерыв (отказ) в работе которых связан с опасностью для жизни людей или большими экономическими и экологическими потерями

Например, безотказность медицинских операционных микроскопов, авиационных приборов, приборов контроля и управления работой атомных электростанций и т.п.

Безотказность конкретного прибора измеряется длительностью или объемом выполненной работы до первого отказа.

После отказа работоспособность прибора, как правило, может быть восстановлена.

Существуют изделия (приборы), принципиально невосстанавливаемые после отказа, например приборы спутников связи, ряд унифицированных электронных блоков и другие изделия однократного использования.

Обнаружение причин отказа и последующее восстановление зависят от конструкции прибора, характера отказа и связаны с показателями **ремонтпригодности**.

Ремонтпригодность - свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов, а также поддержанию работоспособности путем технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность характеризуется затратами времени и средств на восстановление изделия после отказа и поддержание его в работоспособном состоянии.

Ремонтопригодность прибора закладывается на этапе разработки его конструкции (особенно при компоновке), обеспечивающей доступность к малонадежным элементам, контролепригодность, легкозаменяемость, удобство и простоту обслуживания и ремонта.

Долговечность - свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т. е. способность к длительной эксплуатации при проведении необходимого технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние изделия - состояние, при котором его дальнейшее использование по назначению невозможно, недопустимо или нецелесообразно.

Предельное состояние наступает в случаях:

- когда после отказа прибора его невозможно восстановить либо невозможно достичь требуемых показателей качества (например, точности);
- когда безопасность эксплуатации прибора ухудшается до недопустимых пределов;
- когда восстановление изделия после отказа экономически нецелесообразно либо его дальнейшая эксплуатация становится экономически не эффективна, так как он морально устарел и не обеспечивает необходимых производительности работы, габаритов и т.п.

Хорошей иллюстрацией сокращения долговечности приборов из-за их морального устаревания являются такие бытовые приборы, как телевизоры, любительские видеокамеры, мобильные телефоны, персональные компьютеры (замена которых чаще всего происходит при появлении новых, более совершенных моделей, а не по причине их отказа).

Долговечность изделий характеризуется **техническим ресурсом - наработкой до предельного состояния.**

Для невозстановливаемых объектов значения понятий долговечности и безотказности совпадают.

Сохраняемость - свойство изделия сохранять значения показателей безотказности, ремонтпригодности и долговечности (т. е. эксплуатационные показатели) в течение и после хранения и транспортирования.

Подавляющее большинство приборов поступает к потребителю, пройдя стадии хранения и транспортировки, во время которых прибор подвергается различным воздействиям:

- механическим нагрузкам (статическим и динамическим),
- климатическим (осадки, температура, влажность и др.),
- биологическим (микроорганизмы, насекомые, грызуны),
- радиационным и химическим.

В результате эксплуатационные показатели и характеристики приборов могут ухудшиться или же изменится вероятность их появления.

Наиболее эффективные методы повышения **сохраняемости** связаны с правильной конструкцией упаковки, консервацией, применением специальных защитных покрытий, профилактическим обслуживанием при хранении.

Если возникла неисправность, не связанная с эксплуатационными показателями, например царапины и небольшие вмятины на корпусе прибора, перегорание сигнальной лампочки, коррозия неответственной детали и т. п., то это событие называют **повреждением или дефектом**, приводящим прибор в неисправное состояние (но работоспособное), так как он не будет соответствовать всем требованиям технической документации.

Отказы классифицируются по ряду признаков на следующие виды **(рис. 1)**.

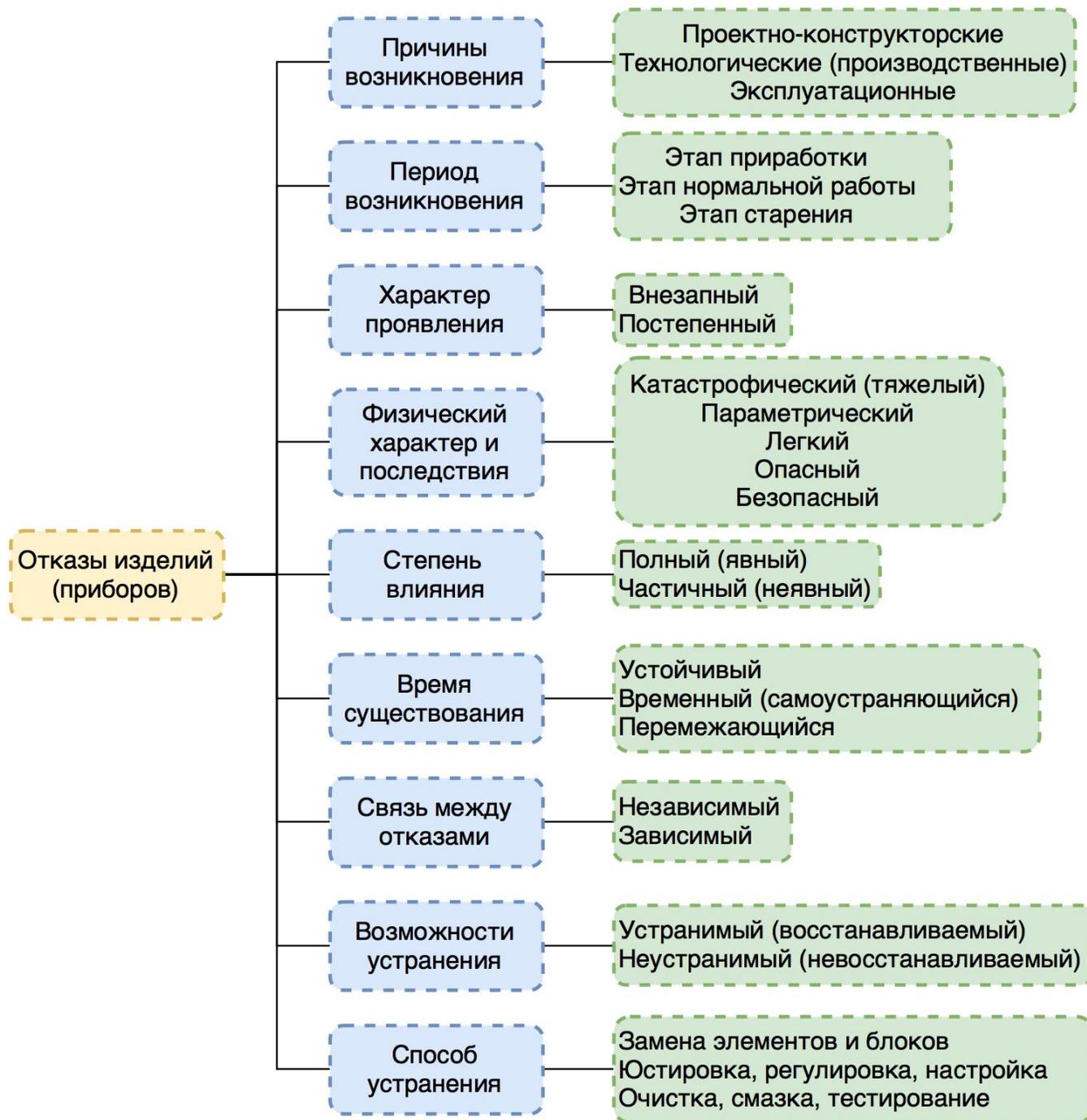


Рис. 1. Виды отказов

По причинам возникновения.

Проектно-конструкторскими причинами отказов являются ошибки, заложенные в концепцию, структуру или конструкцию элементов прибора.

Например, физический принцип работы и структура прибора не согласованы с условиями его эксплуатации (наличие электромагнитных полей, динамических нагрузок, климатических воздействий);

неправильно выполнена компоновка (источник излучения нагревает эталонные элементы);

неудачно выбран материал деталей и неправильно рассчитаны допуски на погрешности их размеров (деформации или децентрировки оптических деталей в оправках при колебаниях температуры).

Технологическими или **производственными** причинами отказов являются нарушения технологических процессов изготовления и сборки деталей, дефекты материалов и комплектующих, а также отступления от инструкций и методик юстировки, калибровки, аттестации и испытаний приборов (например, расклейка деталей из-за того, что они не были обезжирены перед склейкой, или вследствие применения клея с истекшим сроком использования).

Эксплуатационными причинами отказов являются ошибки операторов, эксплуатация приборов при недопустимых условиях и режимах, износ и старение элементов.

По периоду возникновения.

Отказы этапа приработки - отказы, возникающие в начальный период эксплуатации изделия. Они обусловлены, как правило, проектно-производственными ошибками и погрешностями, поэтому их называют часто **конструкторско-технологическими отказами**.

Отказы этапа нормальной работы - отказы, появляющиеся после периода приработки

Отказы этапа старения - отказы, обусловленные старением, износом и коррозией элементов

По характеру проявления.

Внезапные отказы - отказы, появляющиеся внезапно в результате резкого, скачкообразного изменения основных параметров прибора под воздействием факторов, связанных с внутренними дефектами его элементов или с ошибками оператора.

Наиболее характерным признаком внезапного отказа является то, что он может наступить в любой момент, предвидеть и предупредить его очень трудно.

Чаще всего **внезапные отказы** происходят в начальный период эксплуатации прибора. Закон распределения случайного времени работы прибора до наступления внезапного отказа на этом этапе обычно носит экспоненциальный характер (**рис.2 а**).

$f(t)$ - дифференциальная (плотность вероятности) функция распределения случайного времени работы прибора до наступления внезапного отказа).

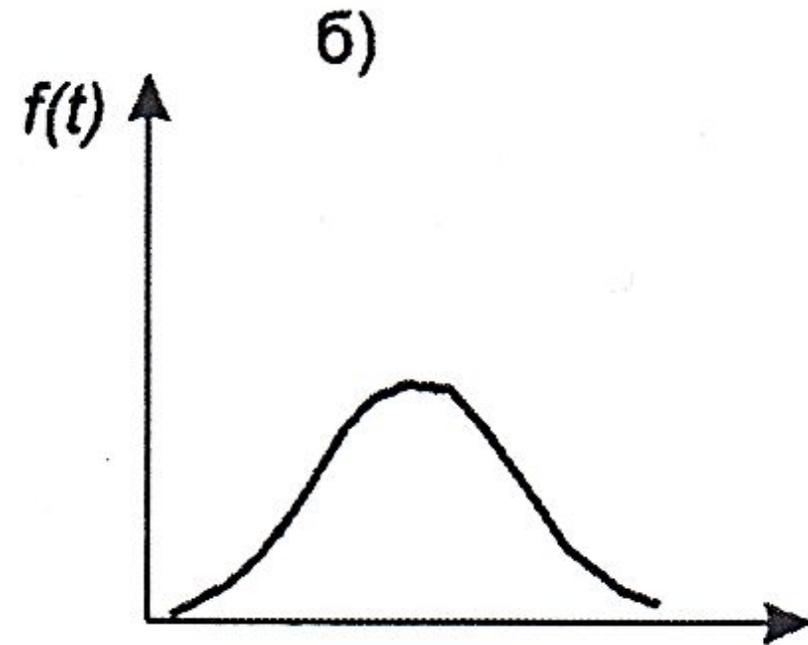
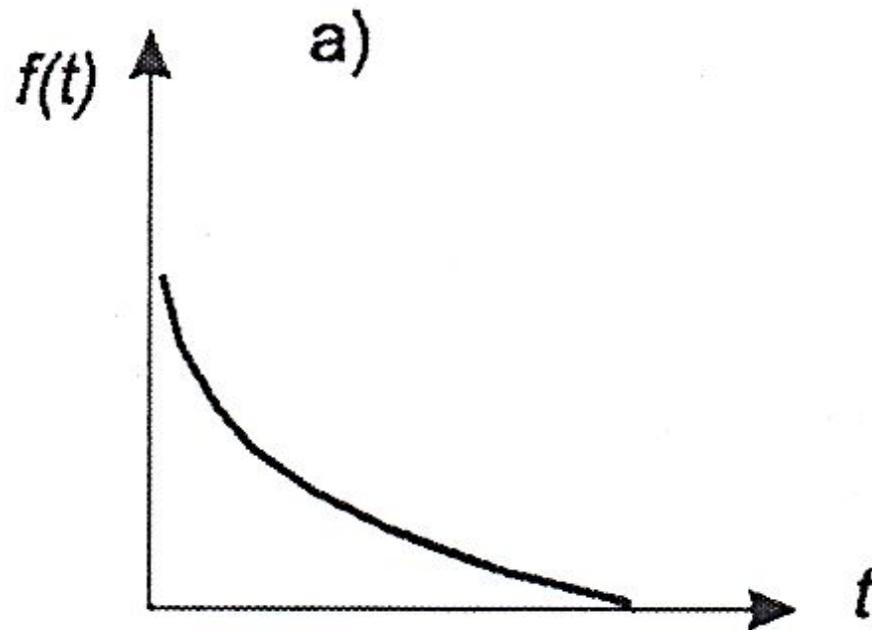


Рис. 2. Экспоненциальный (а) и нормальный (б) законы распределения отказов

Постепенные отказы - отказы, при которых наблюдается постепенное изменение параметров прибора в результате естественного старения, износа, коррозии, запыленности его элементов.

Например: ухудшение контраста изображения из-за старения элементов монитора.

Так как параметры элементов прибора ухудшаются постепенно, то данный отказ можно предвидеть и предупредить. Например, профилактической заменой элементов, срок эксплуатации которых приближается к предельному.

Естественно, что **постепенный отказ** не может произойти при испытаниях прибора или на этапе приработки.

Закон распределения случайного времени работы прибора до появления постепенного отказа обычно близок к нормальному (**рис. 2 б**).

По степени влияния и последствиям.

Полный отказ (явный) - отказ, при возникновении которого невозможно использовать прибор по прямому назначению до устранения причины отказа. Например, перегорела лампочка подсветки марки автоколлиматора.

Частичный отказ (неявный) - отказ, связанный с ухудшением какой-либо одной из характеристик прибора, при котором возможно частичное использование изделия по прямому назначению. Например, невозможность включения светофильтра для повышения контраста изображения.

По физическому характеру и последствиям.

Катастрофический отказ (тяжелый) - отказ прибора, приводящий к полному нарушению его работоспособности, устранение которого связано с большими экономическими и временными затратами. Например, разрушение оптических элементов; полная разъюстировка систем; поломки; короткое замыкание в электросхемах).

Параметрические отказы - отказы, при которых прибор выполняет все свои основные функции, но один из эксплуатационных параметров (показателей) вышел за границу допустимых значений.

Например, увеличился шум работы прибора, ухудшилась точность функционирования.

Часто параметрические отказы (особенно по точности) удается обнаружить не сразу, что может привести к нежелательным последствиям (например, к выпуску бракованной продукции).

Легкие отказы - отказы, устранение которых не связано со значительными экономическими и временными затратами и не требует привлечения ремонтных служб (например: замена предохранителей, источников излучения, элементов питания, тестирование программ после сбоя и т.п.).

Опасные отказы - отказы, которые связаны с опасностью для жизни или здоровья людей, а также с экологическими катастрофами.

Безопасные отказы - отказы, которые не связаны с опасностью для жизни или здоровья людей, а также с экологическими катастрофами.

По связи между отказами.

Независимые отказы - отказы, которые не являются причиной других отказов.

Зависимые отказы - отказы, которые возникают или изменяется вероятность их появления из-за других отказов. Например, уменьшение срока службы лампы подсветки при подаче на нее напряжения выше номинального из-за сбоя регулировки блока питания; заклинивание гайки винтового механизма при поломке ограничителя вращения винта (двигателя).

По времени существования.

Устойчивый отказ - это отказ, который устраняется только в результате ремонта, регулировки (тестирования) или замены отказавших элементов и блоков прибора.

Временный (самоустраняющийся) отказ - это отказ самопроизвольно устраняющийся, без вмешательства обслуживающего персонала, вследствие исчезновения вызвавшей его причины. Такие отказы возникают часто из-за нарушения режимов или условий работы. Например, отказ из-за запотевания оптических деталей; из-за расфокусировки, обусловленной перепадом температуры; потеря точности из-за недопустимых внешних вибраций прибора.

Перемежающиеся отказы (сбои) - это внезапно повторяющиеся непродолжительные самоустраняющиеся отказы.

Они свидетельствуют о наличии ненормальности в элементах прибора, программах или режимах и условиях его работы.

Например, отказ из-за нарушения контакта лампочки подсветки, обусловленного ослаблением крепления и вибрациями прибора; погрешность некоторых результатов измерений из-за вируса в памяти приборного компьютера.

По возможности устранения.

Устранимый отказ - отказ, который подлежит устранению и может быть устранен.

Неустранимый отказ - отказ, не подлежащий устранению (невосстановливаемые объекты) или не поддающийся устранению.

По способу устранения.

Заменой элементов и блоков.

Юстировкой, регулировкой или **настройкой** отказавшего элемента или всего прибора.

Организационно-техническими мероприятиями:
очисткой, смазкой, тестированием («лечением»)

Основные единичные показатели надежности приборов

Единичные показатели надежности приборов являются количественными характеристиками **безотказности, ремонтпригодности, долговечности** или **сохраняемости** приборов в определенных условиях.

Рассмотрим некоторые из этих показателей.

Показатели безотказности являются количественными характеристиками законов распределения **случайного** времени **безотказной** работы прибора или случайного числа отказов за определенное время или наработки.

Наиболее общей характеристикой **случайного времени работы** прибора до появления отказа является вероятность безотказной работы $P(t)$ - вероятность того, что в заданный интервал времени и при заданных режимах и условиях эксплуатации не произойдет отказа:

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt,$$

где $F(t)$ и $f(t)$ - интегральная и дифференциальная (плотность вероятности) функции распределения случайного времени работы (наработки) прибора до первого отказа (иначе, вероятность отказа).

На **рис. 3** показаны типичные изменения вероятности безотказной работы **1** и вероятности отказа **2** прибора во времени.

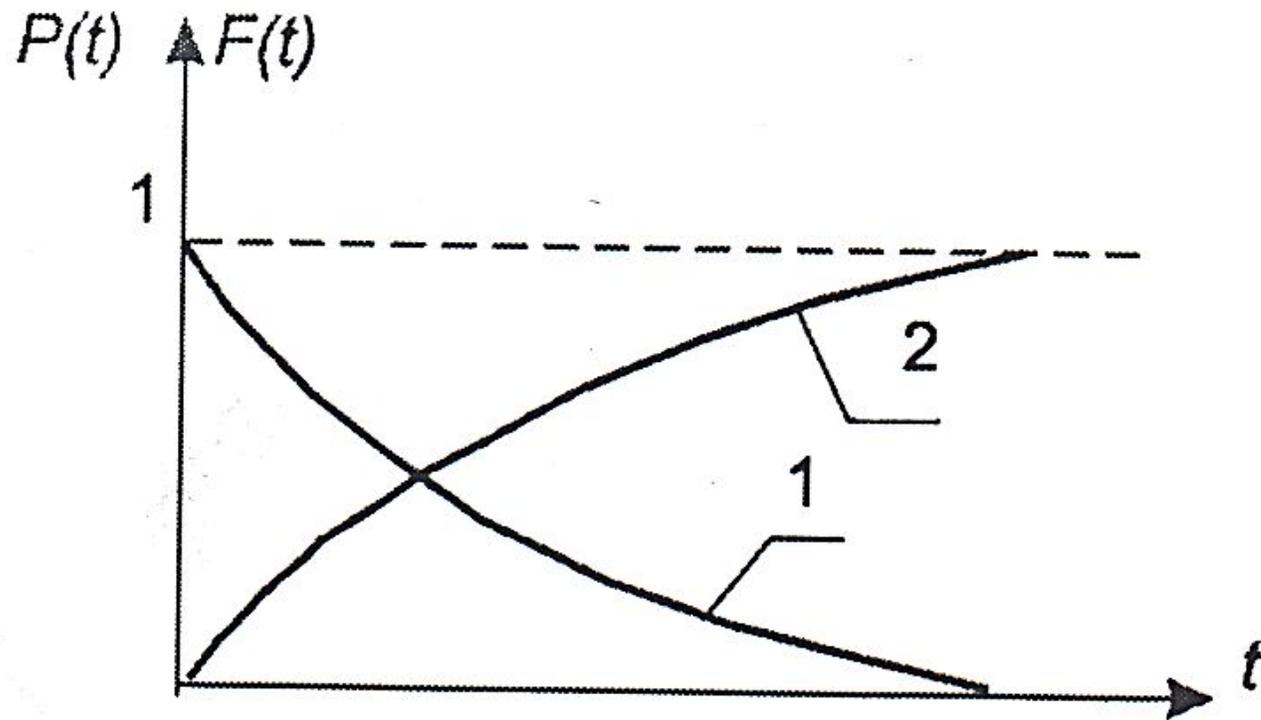


Рис.3.
Графики изменения вероятности отказа **2** и безотказной работы **1**.

Другим нормируемым показателем безотказности является **среднее время безотказной работы: $t_{\text{ср}}$** (средняя наработка до отказа) - ожидаемое время исправной работы прибора до появления первого отказа:

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

Показатели ремонтпригодности характеризуют затраты времени и средств на техническое обслуживание и ремонт прибора.

Коэффициент готовности характеризует потери времени на восстановление прибора и равен вероятности того, что прибор работоспособен в любой момент времени в промежутках между плановым обслуживанием:

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{\text{ср}}}{T_{\text{в}} + t_{\text{ср}}},$$

где $T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления; $t_{\text{ср}}$ – средняя наработка прибора на отказ.

Коэффициент технического использования более полно отражает потери времени из-за ненадежности прибора:

$$K_T = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{обсл}}},$$

где $t_{\text{раб}}$ – суммарное время работы прибора за некоторый период эксплуатации; $t_{\text{рем}}$ – суммарное время, затраченное за этот период на ремонты после отказов; $t_{\text{обсл}}$ – суммарное время, затраченное за этот период на техническое обслуживание и профилактические мероприятия.

Кроме потерь времени, **ненадежность** прибора приводит к материальным затратам на ремонт и поддержание прибора в работоспособном состоянии.

Поэтому существуют также **экономические показатели ремонтпригодности**, характеризующие **стоимость ремонтов и технического обслуживания прибора** за определенный период эксплуатации.

Показатели сохраняемости дают количественную характеристику способности прибора сохранять безотказность и другие показатели качества при хранении и транспортировке в определенных условиях. Такими показателями являются, например, **коэффициент сохранения безотказности** и **коэффициент сохраняемости**.

Коэффициент сохранения безотказности определяется отношением вероятности безотказной работы нового прибора в течение некоторого времени (или наработки) t_0 после хранения и транспортировки $P_1(t_0)$ к этой же вероятности до хранения и транспортировки $P_0(t_0)$:

$$L_c = \frac{P_1(t_0)}{P_0(t_0)}$$

Коэффициент сохраняемости определяется по следующей формуле:

$$K_c = \prod_{i=1}^n \frac{Q'_i - Q_{i \text{ доп}}}{Q_i^0 - Q_{i \text{ доп}}}$$

где Q_i^0, Q'_i – значения независимых показателей качества прибора (например, точности, дальности действия, мощности и т.д.) до и после его хранения и транспортирования; $Q_{i \text{ доп}}$ – предельно допустимое значение этих показателей.

Показатели долговечности.

Долговечность прибора характеризуется его ресурсом – общим временем или объемом работы за весь срок службы до момента, когда потребуются его списание из-за невозможности дальнейшей эксплуатации или капитальный ремонт.

Для определения рассмотренных выше **показателей надежности** необходимо знать распределение случайного времени между отказами, которое подчиняется обычно законам распределения Гаусса, экспоненциальному, Релея, гамма-распределению, Вейбулла и их суперпозиции.

Эти законы распределения используются при вычислении тех или иных показателей надежности в зависимости от:

- типа приборов (электронные, оптико-электронные и т.д.);
- периода эксплуатации прибора (этапы приработки, нормальной работы, старения);
- вида отказов (внезапный, постепенный, катастрофический, зависимый и др.);
- условий эксплуатации и т.д.

Обеспечение надежности приборов

Надежность прибора закладывается на этапах проектно-конструкторской работы и обеспечивается в процессе его изготовления и эксплуатации.

Рассмотрим некоторые факторы, которые нужно учитывать, и мероприятия, которые нужно выполнять для обеспечения и повышения показателей надежности приборов.

Проектно-конструкторские мероприятия для повышения надежности.

1. При поиске идей и разработке принципа функционирования прибора необходимо учитывать **надежность тех физических эффектов, которые будут заложены в основу его работы.**

Например, приборы для измерения длин, основанные на интерференции света (интерферометры) и работающие в цеховых условиях, будут менее надежны (из-за чувствительности к колебанию температуры, давлению и влажности воздуха, вибрациям и т.д.) по сравнению с оптико-электронными приборами, основанными на фотоэлектрических и телевизионных преобразователях (датчиках) линейных перемещений и расстояний, которые менее чувствительны к влияющим факторам.

2. При разработке структуры и конструкции прибора следует использовать как можно больше известных (заимствованных) конструктивных решений, унифицированных и стандартизированных функциональных устройств, узлов и элементов.

Использование **заимствованных решений и унифицированных устройств** повышает надежность прибора, так как они проверены практикой и лучше отработаны в схемном, конструктивном и технологическом отношении.

3. Для ответственных элементов прибора необходимо использовать **высококачественные материалы и комплектующие изделия**, которые обязательно должны выбираться с учетом условий и режимов его работы.

Например, неправильный выбор материалов опτικο-электронного прибора, работающего в тропиках, существенно уменьшает срок его службы (ресурс) и может привести к катастрофическому отказу.

Применение пластмасс для ответственных деталей (линз, зубчатых колес и др.) снижает надежность прибора, так как многие виды полимеров подвержены старению во времени (т. е. изменению структуры и химического состава, сопровождающемуся изменением механических, физических и химических свойств) под воздействием внешних факторов – солнечного света, температуры и т.д.

Ответственные детали приборов должны подвергаться необходимой термической обработке, покрытиям, смазке, консервирующей защите, что существенно повышает показатели надежности всего прибора.

4. Разрабатывая конструкцию прибора, **необходимо соблюдать принципы конструирования**, оказывающие влияние на его функциональную и точностную надежность (например, принцип отсутствия избыточного базирования в соединениях деталей, принцип учета тепловых свойств соединяемых деталей, принцип кратчайшей цепи преобразования, принцип отсутствия избыточных связей в механизмах и приводах).

При определении размеров и посадок деталей следует учитывать условия жесткости, износостойчивости, отсутствие заклинивания, деформаций и т.п.

5. В конструкции прибора необходимо предусмотреть разнообразные **защитные устройства**, которые можно подразделить на следующие группы:

- **устройства, предохраняющие прибор от аварийного состояния** при отказе того или иного элемента прибора, ошибках оператора, колебании электрического напряжения в сети и т. п. **Например**, автоматические выключатели и плавкие предохранители в цепи питания; защитные колпачки и блокираторы случайного нажатия кнопок включения (выключения) прибора; компьютерные программы защиты от несанкционированного доступа в систему управления прибором или ошибок при вводе значений параметров

- **устройства, предотвращающие подключение низковольтных источников света, фотоприемников и другого электрооборудования прибора в бытовую сеть либо к несоответствующим гнездам электронных блоков. Например,** типичной и частой ошибкой является использование стандартной вилки для подключения источника излучения (лампы подсветки напряжением 6-8 Вт) к блоку питания, которую по ошибке можно включить в бытовую сеть, а также несоблюдение полярности питающего напряжения некоторых приемников излучения, приводящее к выходу прибора из строя или снижению порога его чувствительности;

- **устройства, предотвращающие съём «несъёмных» наружных элементов** без специального инструмента и приспособлений (окуляров, объективов, рукояток управления), а также потерю «съёмных» элементов и их крепежа (невыпадающие винты, поддерживающие цепочки и т.п.);
- **устройства, предохраняющие** наружные оптические детали от механического повреждения и загрязнения, а также исключают возможность воздействия на органы управления и регулирования посторонними предметами (защитные кожухи, диафрагмы, экраны);

- **устройства, предохраняющие порчу прибора** при хранении и транспортировке от влияния влаги, грызунов, плесени и грибков, тряски и вибрации (устройства вентиляции, принудительного продува, осушки, амортизации, защитные металлические сетки и т.п.).

6. Конструкция прибора должна обеспечивать доступность всех его компонентов, узлов и деталей для осмотра, контроля, обслуживания, регулировки или замены. Замена или регулировка малонадежных элементов прибора не должна приводить к разборке других узлов.

7. В приборе **должны быть предусмотрены световые и звуковые индикаторы** включения питания и технического состояния прибора, сигнализирующие о разряде источников энергии, перегрузке, отказе двигателей, перегреве или переохлаждении, выходе из нормального режима эксплуатации, сбое программы вычислений, превышении допустимой погрешности измерений.

8. Весьма эффективным приемом повышения надежности приборов является **резервирование**, под которым понимается использование дополнительных (дублирующих) элементов, средств и возможностей в целях сохранения работоспособного состояния прибора при отказе одного или нескольких его элементов.

Дублирование малонадежных элементов или устройств в технических изделиях применяется достаточно давно и подсказано самой природой, которая заложила дублирование, например, важных органов и чувств человека и животных.

Интересный эпизод связан с работой над повышением надежности самолетов на заре их освоения в начале XX в. В это время большинство катастроф самолетов было вызвано отказом магнето двигателя внутреннего сгорания - так называемым исчезновением искры зажигания.

Проблема повышения надежности магнето была решена юным А. А. Микулиным, будущим академиком и известным конструктором авиационных двигателей.

Произошло все следующим образом .

Как-то раз Микулин встретил на улице огромного мужика с сильно подбитым, заплывшим и ничего не видевшим глазом.

В это время и пришла догадка.

Микулин сразу бросился бежать в гостиницу к знаменитому авиатору С. И. Уточкину, где между ними состоялся следующий разговор:

- У людей по два глаза, подбейте левый - правый будет видеть.
- Я никому не собираюсь подбивать глаза, - сказал Уточкин.
- На вашей машине одно магнето - поставьте два!
- Прекрасная мысль, - сказал Уточкин. - За каждый благополучный показательный полет я буду платить тебе по 10 рублей.

Показательные полеты тогда были платные. И Уточкин сдержал свое слово, посылая после каждого полета денежные переводы.

Кратностью резервирования называют отношение числа резервных элементов (изделий) к числу основных.

Различают **резервирование** следующих видов:

- **общее** (резервирование прибора (изделия) в целом);
- **раздельное** (поэлементное);
- **постоянное** (без перестройки структуры прибора в случае отказа его элементов);
- **динамическое** (с перестройкой структуры, в частности замещением отказавших элементов резервными);

- **нагруженное** (горячее), когда резервные элементы находятся в тех же условиях, что и основные (работающие);
- **облегченное**, когда резервные элементы до их подключения находятся в облегченных условиях;
- **ненагруженное** (холодное), при котором резервные элементы включаются в работу только после отказа основных;
- **смешанное** - комбинация вышеперечисленных видов.

Теоретически резервирование повышает надежность приборов, так как переводит систему из последовательно соединенных элементов (в смысле надежности, а не функциональной структуры) в систему с параллельным соединением.

При последовательном соединении n элементов (рис. 4) отказ системы наступает при отказе хотя бы одного из них, поэтому вероятность безотказной работы системы в течение времени t определяется (согласно правилу умножения вероятностей независимых событий) произведением вероятностей безотказной работы n ее элементов:

$$P_{\Sigma}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

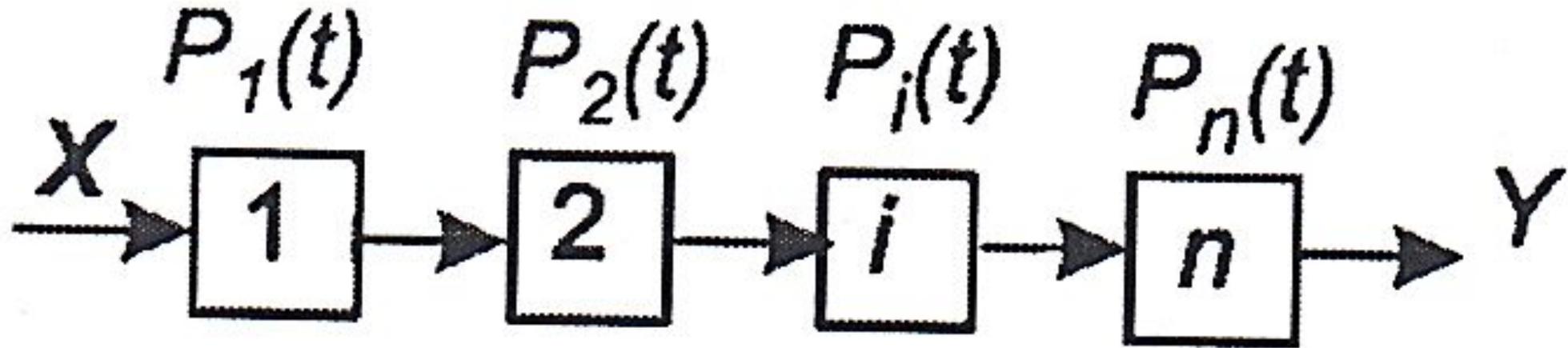


Рис. 4. Последовательное (в смысле надежности) соединение элементов прибора

Для однотипных элементов, имеющих одинаковую вероятность безотказной работы всех элементов, например, при последовательном включении n лампочек (рис. 5)

соответственно имеем: $P_{\Sigma}(t) = P^n(t)$

т. е. вероятность безотказной работы системы уменьшается с увеличением числа последовательно соединенных элементов.



Рис. 5. Последовательное (в смысле надежности) соединение элементов прибора

Следовательно, при проектировании прибора необходимо стремиться к возможно меньшему числу последовательно соединенных элементов и повышению надежности элементов, имеющих наиболее низкую вероятность безотказной работы (например, их резервированием).

Последовательность включения элементов в смысле надежности не эквивалентна последовательности их включения в функциональном смысле (для передачи информации, энергии и т.п.).

Например, система, изображенная на **рис. 6** с параллельно включенными резисторами R_1 и R_2 , выходит из строя при коротком замыкании одного из них.

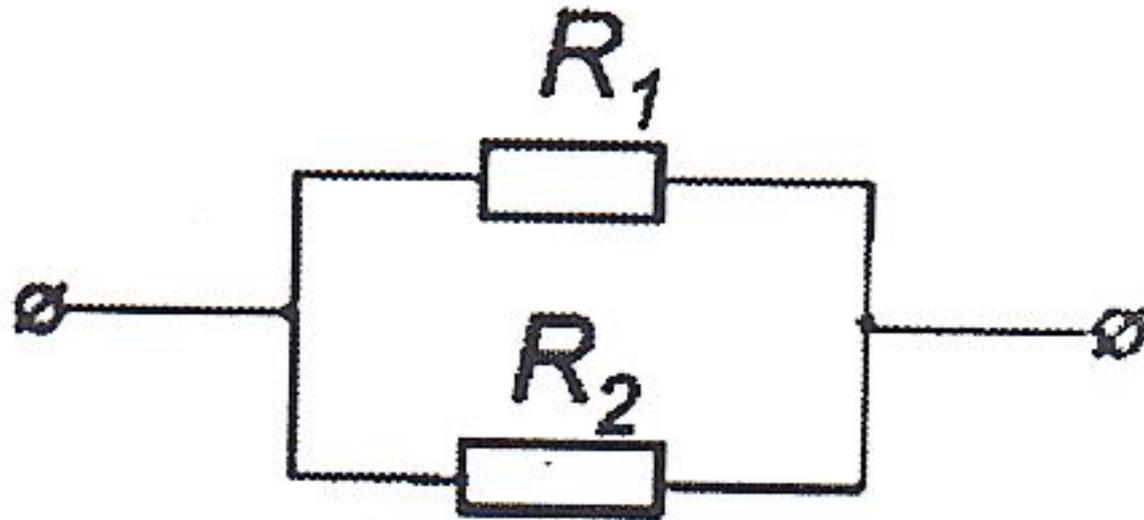
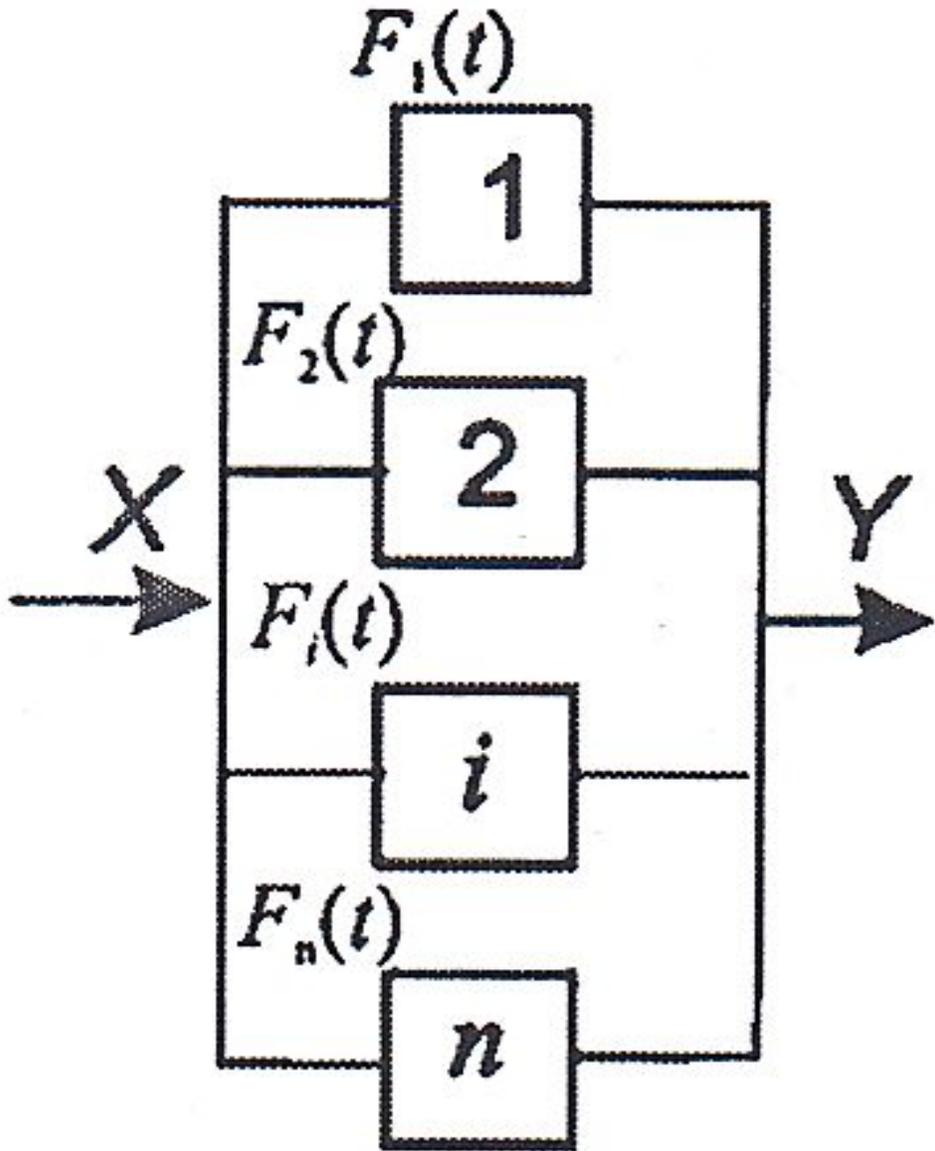


Рис. 6. Последовательное (в смысле надежности) соединение элементов прибора



Отказ системы при параллельном соединении элементов (рис. 7) не возникает при отказе любого элемента и происходит только тогда, когда откажут все элементы.

Рис. 7. Параллельное (в смысле надежности) соединение элементов прибора

При равнонадежных элементах, например, для елочной гирлянды с параллельным включением лампочек (рис. 8) имеем:

$$F_{\Sigma}(t) = F_t^n; \quad P_{\Sigma}(t) = 1 - F_t^n = 1 - [1 - P(t)]^n$$

Таким образом, резервирование является эффективным средством повышения надежности системы.

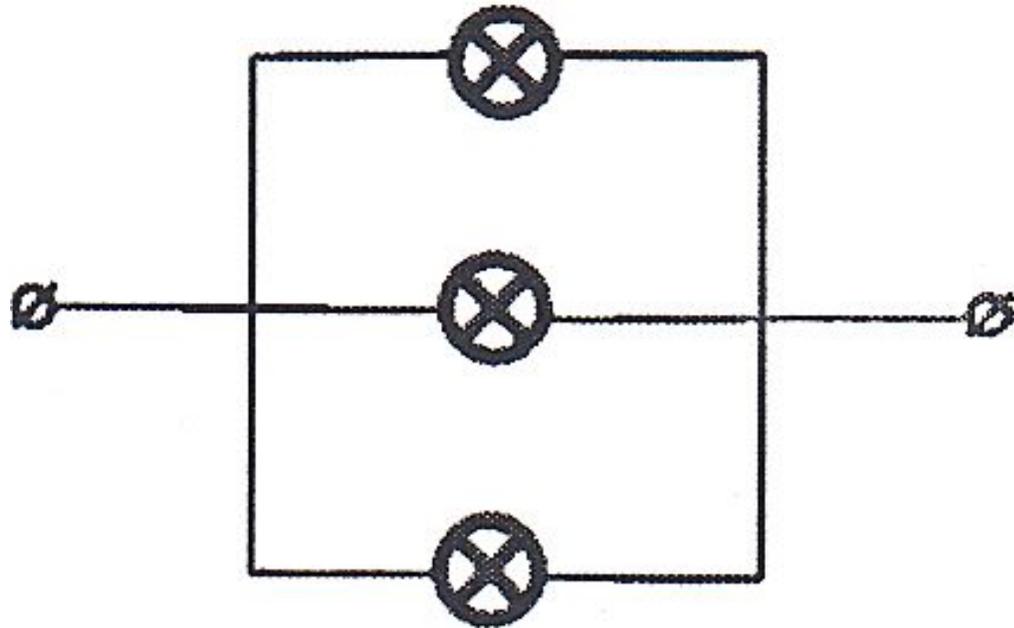


Рис. 8.
Параллельное (в смысле надежности) соединение элементов прибора

Следует еще раз отметить, что параллельность соединения элементов в смысле надежности не всегда означает параллельность их соединения в функциональной структуре.

Например, последовательное структурное соединение конденсаторов (рис. 9) является параллельным в смысле надежности при коротком замыкании одного из них, когда их общая емкость не имеет значения (помехоподавляющий фильтр).

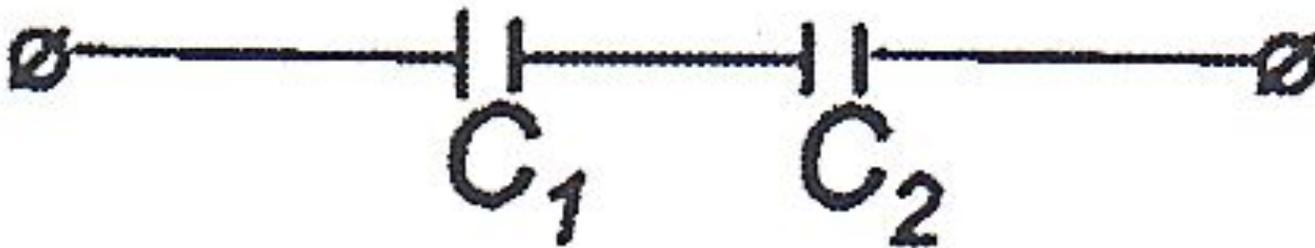


Рис. 9.
Параллельное (в смысле надежности) соединение элементов прибора

Примерами резервирования малонадежных элементов и систем являются следующие:

- дублирование источника освещения в медицинских операционных микроскопах;
- дублирование телевизионных камер в студиях, космических аппаратах.

9. Значительное количество отказов при эксплуатации приборов обусловлено ошибками операторов, вызванных ограниченными психофизиологическими возможностями человека, утомленностью, отступлением от привычных, стереотипных движений и расположений индикаторов, поэтому при проектировании приборов необходимо обеспечивать **эргономические показатели их качества.**

Эти показатели характеризуют степень приспособленности прибора к взаимодействию с человеком с позиции удобства работы, гигиены, безопасности труда.

Технологические мероприятия для повышения надежности

При производстве приборов необходимо:

- обеспечивать правильный выбор технологии производства;
- производить контроль и испытания качества материалов и продукции;
- соблюдать технологические режимы.

Повысить надежность приборов можно за счет проведения следующих мероприятий.

1. Применение рациональных видов и режимов обработки поверхностей деталей при технологической подготовке производства, позволяющих уменьшить шероховатость поверхностей, создать регулярный микрорельеф, повысить микротвердость (упрочнить) поверхностного слоя, что увеличивает износостойчивость деталей, усталостную прочность, повышает коррозионную стойкость, уменьшает вероятность заедания и схватывания.

К таким видам технологической обработки относятся, например, алмазное выглаживание и вибронакатывание поверхностей.

2. Контроль качества (физико-механических свойств) материалов и параметров комплектующих изделий.

Необходимость этого вызвана тем, что поставляемые материалы и комплектующие могут отличаться по своим характеристикам и параметрам от запроектированных.

Например, погрешность датчиков может превосходить допустимое значение, класс точности подшипников более низкий, чем требуется, прочность материала может отличаться от требуемой и т. п.

3. Обеспечение культуры производства:

- чистоты оборудования и рабочего места;
- необходимых санитарных норм работы;
- защиты от вибраций, температурных и магнитных полей.

Необходимость этого обусловлена тем, что данные факторы производства оказывают существенное влияние на качество продукции.

4. Строгое соблюдение технологического процесса, условий и режимов изготовления деталей и их сборки. Это требование обусловлено тем, что нарушение технологических процессов и условий может существенно снизить надежность изделий.

Например, расклейки блоков линз или склеек их с оправками происходят обычно из-за того, что детали перед склейкой не были обезжирены или был использован клей с истекшим сроком применения.

5. Осуществление контроля по операциям при выпуске готовой продукции. Контроль деталей, узлов, компонентов приборов позволяет своевременно выявлять и исключать брак и тем самым повышать надежность прибора в целом.

6. Проведение разнообразных испытаний приборов - лабораторных, стендовых, полигонных, а также приемосдаточных, периодических и проверочных, которые позволяют выявить проектно-конструкторские ошибки, дефекты изготовления и соответствие прибора требованиям **ТУ**, в том числе и показателям надежности.

Приемосдаточные испытания проводят с целью проверки каждого экземпляра прибора на соответствие **ТУ**, эталону и конструкторской документации.

Периодические испытания производят для проверки соответствия произвольно выбранных приборов (прошедших приемосдаточные испытания) требованиям технических условий в течение установленного времени, обычно не реже одного раза в год.

Типовые испытания проводят в целях оценки эффективности изменения принципиальной схемы, конструкции, технологии изготовления, используемых материалов и комплектующих, а также по рекламациям на приборы.

Эксплуатационные мероприятия для повышения надежности

Для увеличения надежности приборов во время их эксплуатации необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на надежность приборов, и обеспечивать соответствующие условия эксплуатации.

1. Так как эксплуатация прибора в непредусмотренных условиях и режимах является одним из основных источников отказов, не следует располагать приборы вблизи источников радиации, вибраций, силовых установок, воздействующих на прибор посредством механических и акустических полей.

Режимы эксплуатации (временной, скоростной, силовой), условия и сроки обслуживания, поверки должны соответствовать инструкции.

2. В связи с тем, что интенсивность отказов наиболее высока в начальный период эксплуатации, целесообразно после хранения и транспортировки прибора, а также при его приобретении провести его тестирование и проверку на всех режимах работы (предпродажная подготовка).

3. Целесообразно подключать приборы к сети электрического питания через устройство стабилизации напряжения, а также обеспечивать их заземление.

4. Работать с приборами, осуществлять их своевременное обслуживание должен квалифицированный и ответственный персонал, подготовленный к работе с конкретными приборами.

5. Необходимо создание специализированных служб по плановым проверкам, обслуживанию и ремонту приборов, осуществлению консультативной помощи персоналу.

Вопросы к экзаменам

1. Надежность оптико-электронных приборов. Основные единичные показатели надежности приборов.
2. Проектно-конструкторские, технологические и эксплуатационные мероприятия для повышения надежности.