

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА  
АВИАЦИОННОГО  
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

КГТУ им. А.Н. ТУПОЛЕВА  
2009

В отличие от теории надежности, которая исследует методы расчета средне-вероятностных статистических показателей объекта, ТД занимается изучением его действительного состояния. Однако в целях определения действительного состояния не исключена возможность использования математического аппарата теории вероятности.

Термин «диагностика» происходит от греческого слова «диагнозис» что означает распознавание, определение.

В процессе диагностики устанавливается диагноз, т.е. определяется состояние АиРЭО (объекта).

Технической диагностикой (ТД) называют науку о распознавании состояния технической системы, а процесс распознавания технического состояния носит название технического диагностирования.

Этот процесс реализуется в системе технического обслуживания (СТО), которая содержит:

- средства диагностирования,
- объект диагностирования,
- исполнителя (оператора), владеющего навыками диагностирования,
- методы диагностирования, регламентированные в нормативно-технической документации.

ТД, благодаря раннему обнаружению предпосылок к появлению дефектов и неисправностей, позволяет устранить отказы путем их устранения в процессе технического обслуживания, что повышает надежность и эффективность эксплуатации, а также дает возможность проведения эксплуатации систем ответственного назначения по состоянию.

Эксплуатация по техническому состоянию может дать экономический эффект, эквивалентный 30% стоимости общего парка машин.

Основной задачей ТД является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Алгоритмы распознавания в ТД частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображением в пространстве диагностических параметров (сигналов).  
Решение диагностической задачи (отнесение объекта к исправному или неисправному состоянию) связано с риском ложной тревоги или пропуска цели. Для принятия обоснованного решения целесообразно привлекать методы статистических решений, разработанные впервые в радиолокации.

Другим важным направлением ТД является теория контролепригодности. Под контролепригодностью понимается свойство технического объекта обеспечить достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Таким образом, решение задач технической диагностики сводится:

- К анализу объекта и выбору метода проверок с целью определения действительного состояния;
- К разработке систем контроля параметров, обеспечивающих проведение выбранных проверок с учетом требований к технической эксплуатации объекта.

# Разделы технической диагностики

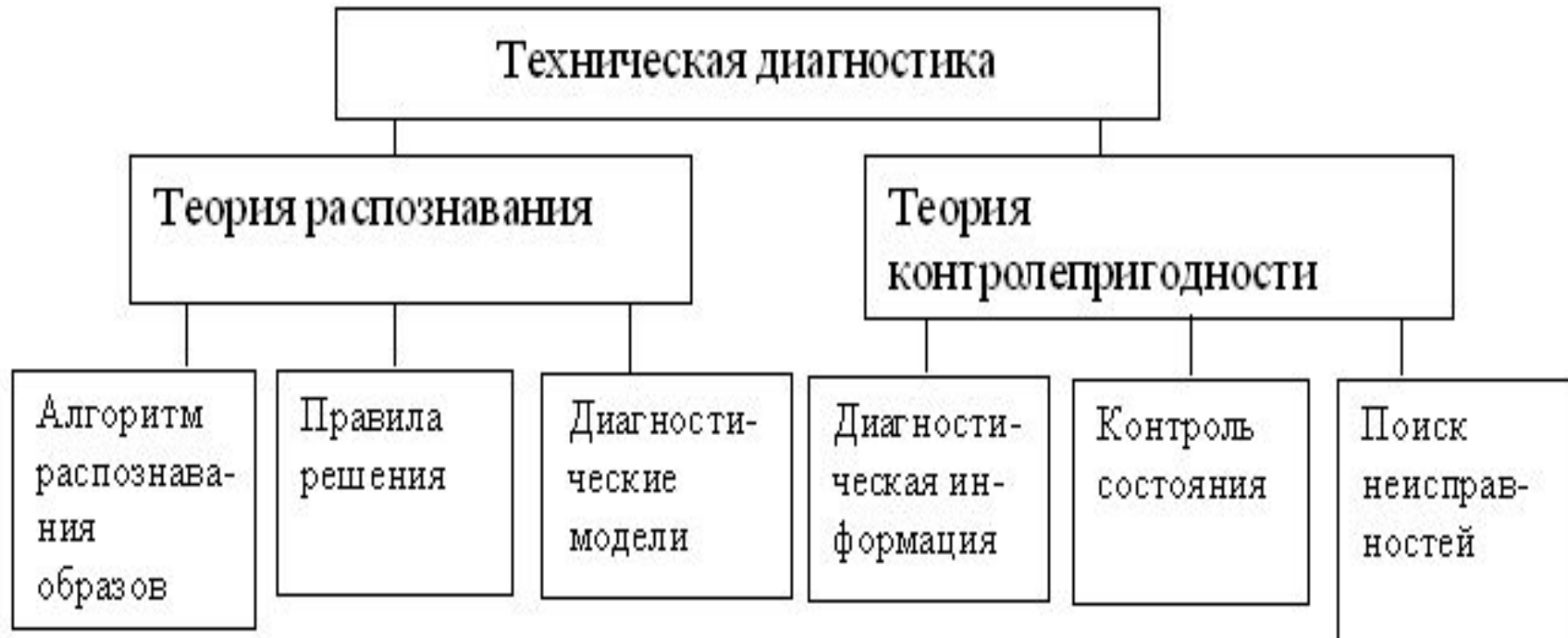
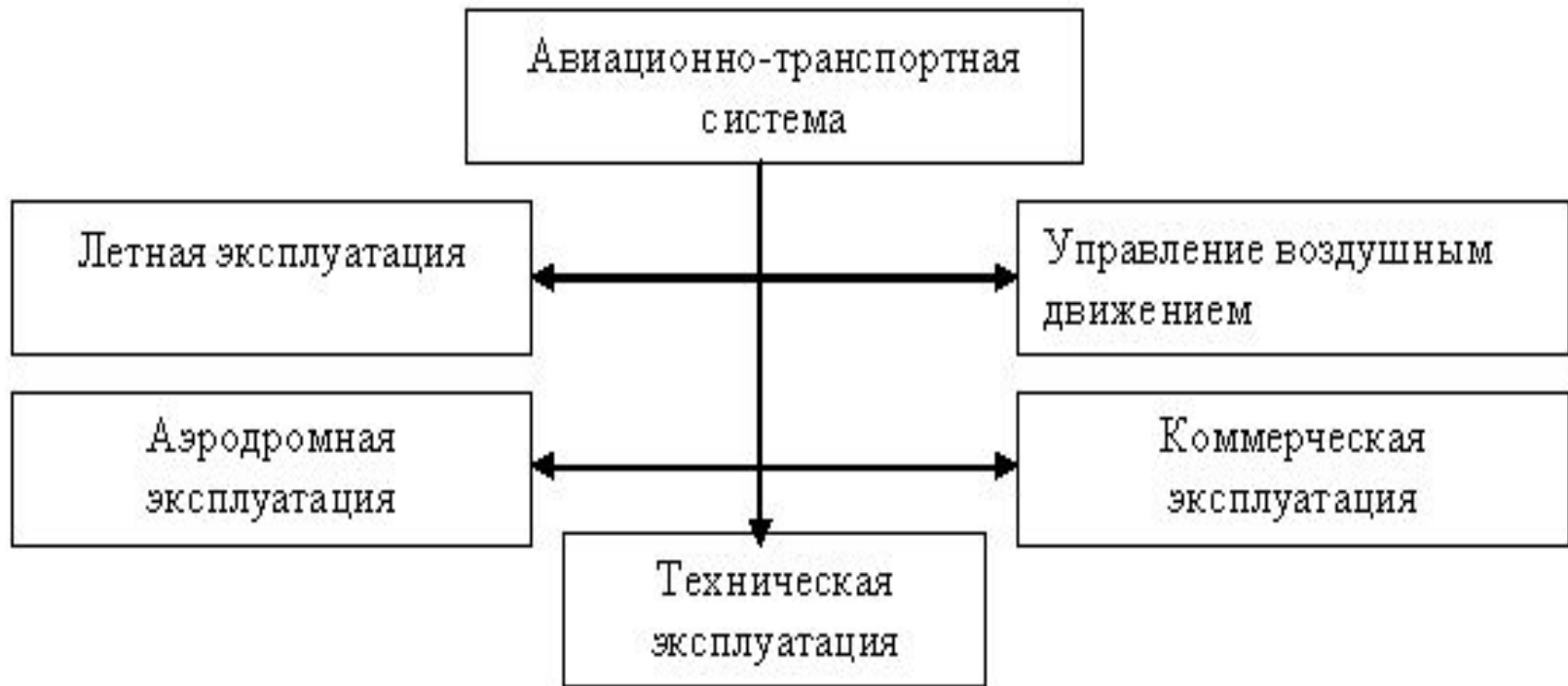


Рис.1.1.



# Структура авиационно-транспортной системы



Контроль состояния, проводимый в конечные интервалы времени, позволяет повысить уровень надежности



# Задачи инженерно-авиационной службы (ИАС) по совершенствованию технического обслуживания авиационной техники (СТО АТ)

- ▣ Сохранение уровня безопасности полетов;
- ▣ Наличие признаков, прогнозирующих уровень работоспособности;
- ▣ Возможность обнаружения и индикации отказов;
- ▣ Наличие соответствующих средств и методов контроля;
- ▣ Высокая степень технологичности при ТО и ремонте с заданными средствами;
- ▣ Возможность быстрого восстановления отказавшего изделия РЭО;
- ▣ Сохранение уровня регулярности полетов;
- ▣ Экономическая эффективность.

Выполнение всех требований является сложной задачей, т.к. АиРЭО является многофункциональным комплексом, с наличием множества внешних связей, с применением цифровых методов обработки информации и высоким уровнем автоматизированного управления

Стратегия технического обслуживания (ТО) по состоянию с контролем параметра отдельных изделий, обуславливается требованиями, выполнение которых может быть достигнуто в процессе эксплуатации и промышленного производства.

Внедрение прогрессивных стратегий ТО по состоянию (ТОС) связано с решением ряда комплекса задач:

Прогноза ТО на стадии эксплуатации по предварительным проектировочным расчетам показателей надежности и апостериорным данным диагностики и контроля.

Разработка и внедрение эффективных средств ТД на стадиях исследования, проектирования и эксплуатации оборудования, обеспечивающих стратегию ТОС.

Внедрение мероприятий по метрологическому обеспечению ТЭ.

Создание системы оценок качества эксплуатации и ТО.

# Радиоинженер должен знать:

- Основные типы бортового и наземного АиРЭО, его характеристики, принцип работы;
- Условия и особенности функционального применения;
- Структуру, стратегию, виды и методы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), ТД и контроля (ТДиК), эксплуатационно-техническую документацию и ГОСТы по ТД;
- Правила проведения ТОиР, особенности контроля и метрологическую

# Радиоинженер должен уметь:

- ▣ Выбирать оптимальную совокупность параметров для определения ТС;
- ▣ Моделировать изделия как объект ТОиР;
- ▣ Составлять и оптимизировать алгоритм поиска ТО, проводить проверку на соответствие нормам технических параметров;
- ▣ Осуществлять поиск мест отказа и восстанавливать работоспособность;
- ▣ Прогнозировать ТС по статистическим данным и результатам диагностирования;
- ▣ Рассчитывать технико-экономическую эффективность решений в области ТОиР.

# Жизненный цикл АиРЭО

- Исследование и проектирование;
- Изготовление и испытание;
- Эксплуатация;
- Утилизация.

## Эксплуатация содержит этапы:

- транспортирование,
- хранение,
- функциональное использование,
- техническое обслуживание и ремонт (ТОиР)



# Техническое обслуживание (ТО) включает в себя

- диагностирование и контроль,
- монтаж,
- регулирование,
- восстановление,
- ожидание

# Свойства объекта диагностирования и его показатели качества.

- Свойства, обеспечивающие пригодность объекта диагностирования удовлетворять определенным потребностям в соответствии с её назначением, определяют качество объекта.
- Качество объекта реализуется через показатели качества и эффективности.
- Показателем качества является количественная характеристика одного или нескольких свойств АиРЭО, составляющих его качество

Комплексные показатели определяют совместно нескольких простых свойств или одно сложное свойство системы. Таким показателем является коэффициент технического использования устройства:

$$k_{ТИ} = T_0 / (T_0 + \tau_{\theta} + \tau_{то}),$$

где:  $T_0$  – средняя наработка на один отказ,

$\tau_{\theta}$  – среднее время восстановления,

$\tau_{то}$  – средняя продолжительность  
технического  
обслуживания.

Совокупность параметров работоспособности (СП) может быть представлена  $n$ -мерным вектором  $\Pi(n)$ , область допустимых значений которого  $V(n)$ .

Тогда условие работоспособного состояния выглядит

$\Pi(n)$  принадлежит  $V(n)$ .

$\Pi(n) = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$  должен находиться в пределах

$$u_{iH} < u_i < u_{iB}$$

где  $u_{iH}$  и  $u_{iB}$  - допустимые верхние и нижние значения  $i$ -го параметра

Параметры АиРЭО подразделяются на четыре группы:

Параметры функционального использования (ПФИ) –  $P_{\phi}(n_1)$ ;

Технические параметры (ТП) –  $P_m(n_2)$ ;

Параметры технической эксплуатации (ПТЭ) –  $P_э(n_3)$

Системные параметры (СП).

ПФИ характеризуют АиРЭО с точки зрения их потребительской сущности.

ТП определяются инженерными решениями, реализуемыми на стадиях исследования, проектирования и изготовления. Их количественные значения влияют на ПФИ на стадии эксплуатации. П

ТЭ характеризуют АиРЭО как объект технической эксплуатации (технического обслуживания или ремонта).

СП представляют АиРЭО как большую техническую систему.

ПФИ определяют функциональное назначение системы (например, пропускная способность АиРЭО).

К ТП относят диапазон радиоволн, чувствительность, полоса пропускания радиоприемника и т.д.

К ПТЭ относят параметры надежности (безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность и их взаимосвязи, т.е. показатели качества, которые определяют внутрисистемные и внешние связи).



# Условия работы АиРЭО

- ▣ В процессе эксплуатации на АиРЭО действуют внешние и внутренние деградационные процессы,  $D(t)$ , стремящиеся перевести АиРЭО в предотказное состояние,  $S_{n.o.}(t)$ . Таким образом,
- ▣ условие перехода:  $D(t) > S(t) > S_{n.o.}(t)$
- ▣ В процессе технической эксплуатации (ТЭ) воздействуют три фактора:
  - ▣ 1 – деградационный
  - ▣ 2 – поддержки на заданном уровне функционирования

Деградационные процессы, действующие на радиоэлектронную систему (АиРЭО), переводят систему в состояние, определяющее её для технического обслуживания.

При техническом обслуживании система также меняет свои состояния под воздействием управляющих восстанавливающих процессов, среди которых определяющее значение имеет процесс технического диагностирования.

Переход системы из исправного,  $S_u(t)$ , и работоспособного состояния,  $S_p(t)$ , под воздействием деградационных процессов в предотказовое состояние,  $S_{n.o.}(t)$ , можно представить в виде записи:

$$D(t) \rightarrow S_p(t) \rightarrow S_{n.o.}(t).$$

Если степень воздействия технического обслуживания,  $Y_{m.o.}(t)$ , пропорциональна степени деградационного процесса, то система переходит в работоспособное (исправное) состояние, т.е.

$$Y_{m.o.}(t) = k[S_p(t) - S_{n.o.}(t)]$$

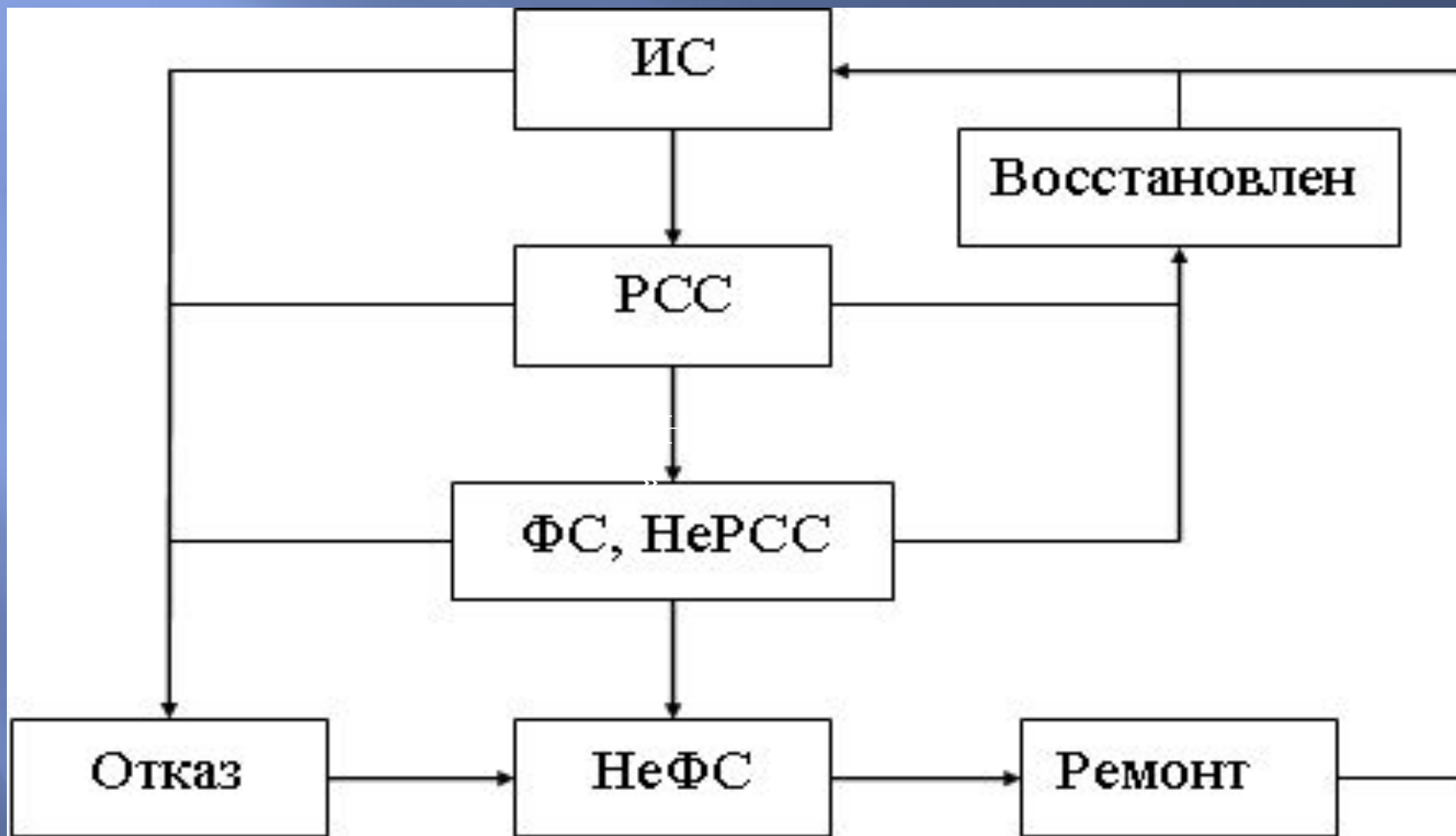
# Термины и определения в технической диагностике

- ▣ Радиотехническое устройство
- ▣ Элемент
- ▣ Система                      Наработка
- ▣ Исправность                      Неисправность
- ▣ Работоспособность  
Неработоспособность
- ▣ Безотказность                      Долговечность
- ▣ Ремонтпригодность                      Повреждение
- ▣ Отказ                      Восстановление
- ▣ Восстанавливаемая система
- ▣ Невосстанавливаемая система

# Классификация отказов

- ▣ внезапный или постепенный
- ▣ полный или частичный
- ▣ независимый или зависимый
- ▣ устойчивый, самоустраняющийся или перемежающийся («плавающий»)
- ▣ очевидный (явный) или скрытый (неявный)
- ▣ конструкционный, производственный, эксплуатационный
- ▣ естественный или искусственный
- ▣ при испытаниях, эксплуатации, в полете или при хранении
- ▣ устранимый или неустранимый

# Процесс изменения состояния системы



«ИС» – исправное состояние

«РСС» – работоспособное состояние

«ФС» – функционирующее состояние

«НеРСС» – неработоспособное состояние

«НеФС» – не функционирующее состояние

# Основные сведения из теории Марковских процессов

Величина  $\xi$  (контролируемый параметр) который принимает одно из возможных значений  $\xi_i$  с вероятностью  $P(\xi_i) = p(\xi = \xi_i) \quad i=1,2,\dots,n$  и называются дискретным случайным событием и также является дискретной случайной величиной.

Функция  $p(\xi = \xi_i)$  сопоставляется каждому значению  $\xi_i$

$P(\xi_i)$  определяет случайную величину и называется дискретным распределением или функцией вероятности.

При  $F(\xi_i) = P(\xi \leq \xi_i)$  - это вероятность того, что случайная величина не превышает значения  $\xi_i$ . Она называется интегральной функцией распределения.

Причем:

Если  $\xi_i \leq \xi_j$ , то функция  $F(\xi_i) \leq F(\xi_j) \leq 1$ , т.е. интегральная функция распределения будет монотонно возрастающей:  $0 \leq F(\xi_j) \leq 1$ .

$$F(\xi_i) = \sum_{\xi=\xi_i} P(\xi)$$

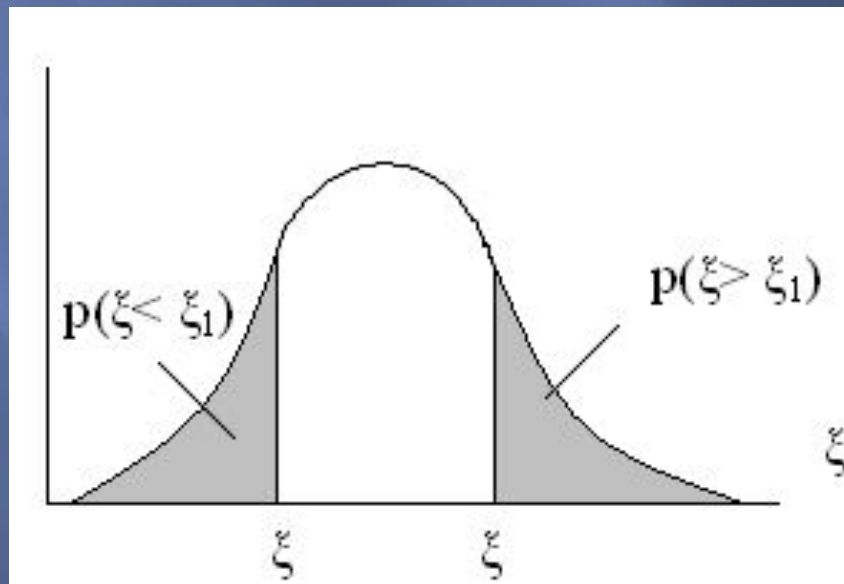


Случайная величина характеризуется плотностью распределения, плотностью вероятности и дифференциальной плотностью распределения.

$$f(\xi) = \lim_{\Delta \xi} \frac{P(\xi_i \leq \xi < \xi_i + \Delta \xi)}{\Delta \xi} = \frac{dF(\xi)}{d\xi}$$

$$F(\xi) = \int_{-\infty}^{\xi} f(z) dz$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) d\xi = 1$$



# Метод прогнозирования Марковских процессов

- Метод прогнозирования Марковских процессов сводится к решению задач прогнозирования изменения функции плотности распределения контрольного параметра в соответствующий момент времени.
- Законы распределения плотности вероятности для Марковского процесса могут быть выражены через двумерный закон распределения, т.е. течение случайного процесса будет определено двумерным законом распределения для любого начального и конечного значения времени  $t$  и  $\tau$ .

Для граничных и начальных условий, которые накладываются на Марковский процесс, условная плотность вероятности определяются через:  $f(t, \xi, \tau, \eta)$ , где  $\eta$  – контролируемый параметр в конечной точке наблюдения. Эта условная плотность вероятности представляется уравнениями Колмогорова двух видов:

$$a(t, \xi) + \frac{\partial f(t, \xi)}{\partial t} + a(t, \xi) \cdot \frac{\partial f(t, \xi)}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \cdot b(t, \xi) \cdot \frac{\partial^2 f(t, \xi)}{\partial \xi^2} = 0$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  – неслучайные функции времени текущих параметров.

$$a(\tau, \eta) + \frac{\partial f(\tau, \eta)}{\partial \tau} + a(\tau, \eta) \cdot \frac{\partial f(\tau, \eta)}{\partial \eta} + \frac{1}{2} \cdot b(\tau, \eta) \cdot \frac{\partial^2 f(\tau, \eta)}{\partial \eta^2} = 0$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  – неслучайные функции времени будущих параметров.

для случая, когда условная плотность вероятности распределяется как функция первоначального состояния, т.е. от параметра  $t$  и  $\xi$

когда плотность вероятности имеет такие же значения и рассматривается как функция от конечных состояний параметров  $\tau$  и  $\xi$

Решение удастся получить для случая, когда удастся осуществить разделение переменных для случайных функций  $a(t, \xi)$ ,  $b(t, \eta)$ .

Искомая вероятность сохранения работоспособного состояния диагностируемого объекта равна:

$$p(\xi(t) < \xi^*) = \int_{-\infty}^{\xi^*} f(\xi) d\xi$$

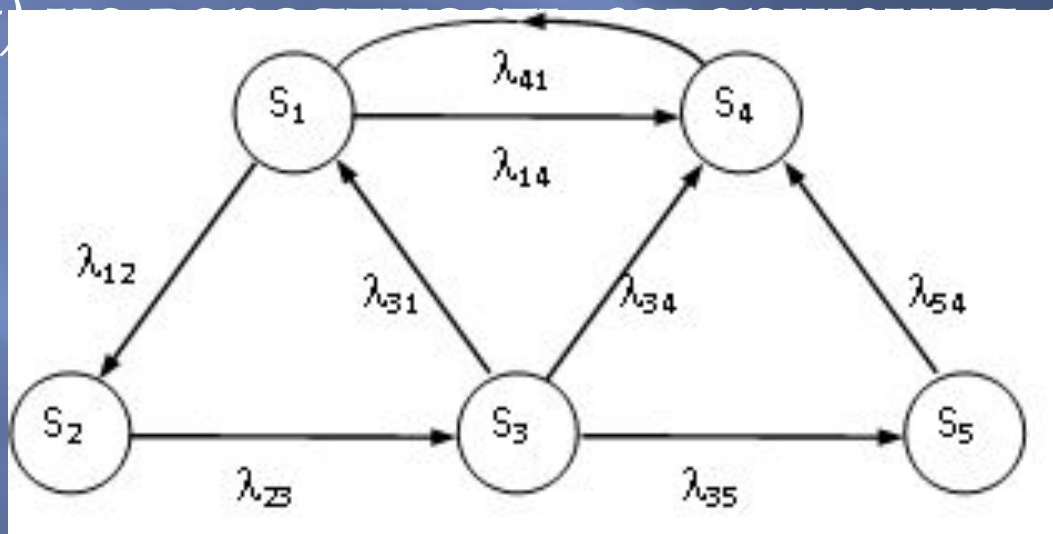
Зная интегральную функцию плотности распределения контролируемого параметра  $\xi(t)$ , можно определить плотность распределения вероятности безотказной работы на любом интервале значений случайной величины  $\xi$ .

# Модели процессов изменения состояний АиРЭО

- В процессе жизненного цикла АиРЭО переходит из одного состояния в другое: исправное, диагностирование исправного состояния, диагностирование работоспособного состояния, вновь работоспособное и так далее. Любой из этих переходов является сложным процессом. Наиболее близко к реальной модели процесса перехода может быть представлена модель в виде Марковского процесса.

Характеристикой вероятностного перехода из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  является плотность вероятности перехода  $\lambda_{i,j}$ , которая может быть постоянной, в случае однородного процесса, или переменной. Поток вероятности перехода из состояния  $S_i$  в  $S_j$  называется величина  $[\lambda_{i,j} \cdot P_i(t)]$ , определяемая произведением потока отказа  $P_i(t)$

объекта  $\lambda_{i,j}$ .



Здесь  $n=5$  – это число состояний.

Производная вероятности любого состояния равна сумме всех потоков вероятностей, идущих из другого состояния ( $j$ ) в данное  $i$ -ое состояние за вычетом суммы всех потоков вероятностей, идущих из данного состояния ( $i$ ) в другое ( $j$ )

$$\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - (\lambda_{12} + \lambda_{14})P_1,$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 - \lambda_{23}P_2,$$

$$\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 - (\lambda_{34} + \lambda_{31} + \lambda_{35})P_3,$$

$$\frac{dP_4}{dt} = \lambda_{14}P_1 + \lambda_{34}P_3 + \lambda_{54}P_5 - \lambda_{41}P_4,$$

$$\frac{dP_5}{dt} = \lambda_{35}P_3 - \lambda_{54}P_5.$$



Для каждого состояния  $S$  суммарный выходной поток вероятности должен быть равен сумме входящих потоков вероятностей и имеет вид:

$$P_1(\lambda_{12} + \lambda_{14}) = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4,$$

$$P_2\lambda_{23} = \lambda_{12}P_1,$$

$$P_3(\lambda_{12} + \lambda_{34} + \lambda_{35}) = \lambda_{23}P_2,$$

$$P_4\lambda_{41} = \lambda_{14}P_1 + \lambda_{34}P_3 + \lambda_{54}P_5,$$

$$P_5\lambda_{54} = \lambda_{35}P_3,$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1.$$



# Резервирование как Марковский процесс

- Простым способом резервирования является параллельная работа  $n$  – элементов в системе.
- В этом случае отказ системы наступает при отказе последнего элемента, причем наибольшая эффективность подобного резервирования проявляется на уровне элементной базы.
- Процесс резервирования усложняется в случае холодного или облегченного резервирования.

Допустим, что основной элемент, проработав некоторое время  $\tau$ , выходит из строя, и на его место включается 1-й резервный элемент, который, проработав случайное время  $\tau_2$ , также выходит из строя, и на его место включается следующий элемент, и т.д., и, наконец, последний элемент, проработав время  $\tau_n$ , выходит из строя, а с ним выходит из строя и вся система. Вероятность того, что за случайное время  $\tau$  элемент откажет, будет характеризовать ненадежность системы:

$$F(\tau) = 1 - p(\tau)$$

При определении надежности системы часто используют интенсивность отказов т.е. плотность отказов, которая характеризуется отношением ожидаемой частоты появления отказов к ожидаемому числу работоспособных элементов:

$$\lambda(\tau) = \frac{f(\tau)}{1 - F(\tau)} = \frac{f(\tau)}{p(\tau)} \approx - \frac{d(\ln p(\tau))}{d\tau}$$

Надежность всей системы определяются

$$P(\tau) = e^{-\Lambda_i(\tau)}$$

как:

$\Lambda_i$  – интенсивность отказов рабочего элемента,

$\Lambda(\tau)$  – условная вероятность, т.е.  $\Lambda(\tau) = \lambda_i \cdot \tau$ .

$$f(\tau_i) = \lambda \cdot e^{-\lambda_i \tau}$$

Плотность распределения отказов будет равна

Ненадежность системы определяется равенством

$$F(\tau) = 1 - e^{-\lambda_i \tau}$$

Надежность всей системы оценивается

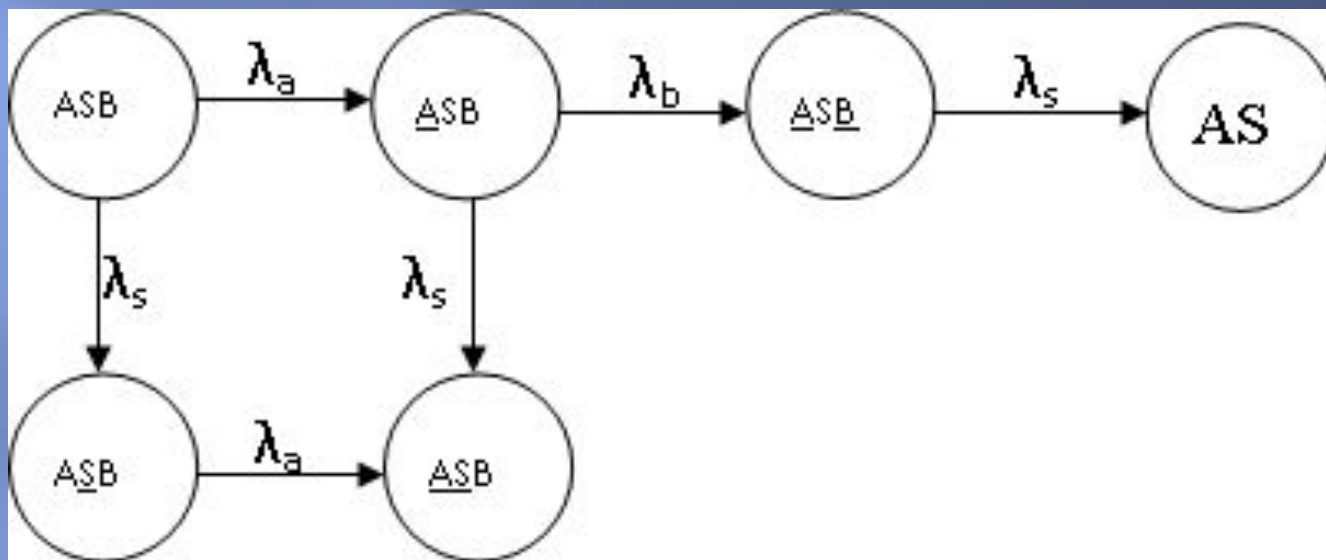
$$P(\tau) \approx 1 - \frac{\prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i \tau})}{n!}$$

При  $(n-1)$  резервных элементах надежность всей системы

$$P(\tau) \approx 1 - \frac{\Lambda(\Lambda + \lambda) \dots (\Lambda + (n-1)\lambda) \tau^n}{n!}$$

$\Lambda$  – интенсивность отказов рабочего элемента,

$\lambda$  – интенсивность отказа в облегченном режиме.



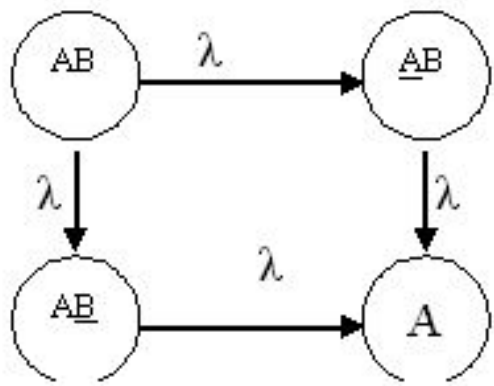
В зависимости от того, какой из этих 3-х элементов отказал, система может находиться в одном из шести состояний:

A B S – отказы элементов.

$\lambda_a$   $\lambda_b$   $\lambda_s$  – плотности вероятности интенсивности отказов.

# Система с облегченным режимом

- ▣ Пусть основной элемент А при отказе заменяется резервным элементом В, причем интенсивность отказов работающего элемента равна  $\lambda$ , а интенсивность отказов резервного элемента до его включения  $\lambda_0$  ( $\lambda_0 < \lambda$ ).



При начальных условиях:  $p_1(0) = 1$ ,  $p_2(0) = p_3(0) = 0$

$$p_1(\tau) = e^{-(\lambda_0 + \lambda)\tau}$$

$$p_2(\tau) = \left( e^{-\lambda\tau} - e^{-(\lambda_0 + \lambda)\tau} \right) \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

$$p_3(\tau) = \left( e^{-\lambda\tau} - e^{-(\lambda_0 + \lambda)\tau} \right)$$

Надежность системы определяется как сумма надежностей её рабочих состояний

$$P(\tau) = p_1(\tau) + p_2(\tau) + p_3(\tau) = \frac{\lambda_0 + \lambda}{\lambda_0} e^{-\lambda\tau} - \frac{\lambda}{\lambda_0} e^{-(\lambda_0 + \lambda)\tau}$$

При

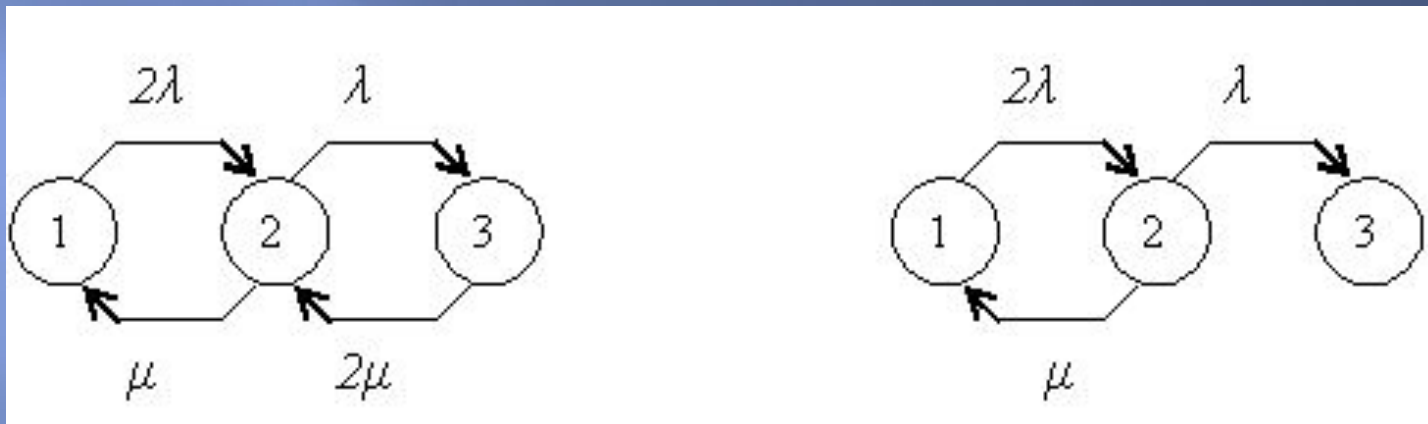
$$\lambda_0 \rightarrow 0$$

$$P = p_1 + p_2 = (1 + \lambda\tau) e^{-\lambda\tau}$$

# Восстанавливаемые системы

- ▣ Восстанавливаемые системы – системы, в которых интенсивность восстановления, , как и интенсивность обслуживания обычно принимается постоянной, а поток отказов рассматривается как входящий поток.





Восстанавливаемая система состоит из двух параллельно работающих устройств. Система может находиться в трех состояниях:

- оба устройства работают;
- одно устройство работает, другое ремонтируется;
- оба устройства ремонтируются (отказ системы). Готовность системы определяется вероятностью того, что система в некоторый момент времени находится в рабочем состоянии.



В стационарном режиме (при  $\tau$  стремящемся к бесконечности),

Готовность  $A(\tau)$  означает долю времени, в течение которого система готова к действию, и называется коэффициентом готовности

Для нашего примера

$$A = \frac{\mu(2\lambda + \mu)}{(\lambda + \mu)^2}$$

Надежность восстанавливаемой системы, т.е. вероятность отсутствия отказа в течение интервала времени  $\tau$  определяется при условии, что система не возвращается из состояния отказа в рабочее состояние.

Функция надежности можно считать как сумму надежностей системы в состояниях 1 и 2, т.е.

$$P(\tau) = p_1(\tau) + p_2(\tau)$$

# СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

- Составляющими системы технического диагностирования (СТД) являются:
  - - объект ТД (ОбТД), т.е. изделие или его составная часть, ТС которой подлежит определению;
  - - средство ТД – это совокупность измерительных приборов, средств коммутации и сопряжение с ОбТД.
  - - устройства управления, генераторы стимулирующих и имитирующих сигналов.

По характеру взаимодействия ОбТД и средств ТД СТД подразделяются на:

1) Системы с функциональным определением ТС в данный момент времени. В этой системе решение задач диагноза осуществляется в процессе функционирования объекта по своему назначению.

2) Системы с тестовым определением ТС в данный момент времени. В этой системе задача диагноза решается в специальном режиме работы объекта, путем подачи на объект тестовых сигналов.

По используемым средствам ТД СТД подразделяются на:

- 1) Системы с универсальными средствами ТД и контроля (например, ЭВМ);
- 2) Системы со специализированными средствами (стенды, имитаторы, специализированные ЦВМ);
- 3) Системы с внешними средствами, в которых средства ТД и ОбТД разделены конструктивно друг от друга;
- 4) Системы со встроенными средствами, в которых ОбТД и средства ТД конструктивно представляют собой одно изделие.

По степени автоматизации системы диагностирования подразделяются на:

- 1) Автоматические СТД, в которых получение информации о ТС ОБТД осуществляется без участия оператора.
- 2) Автоматизированные СТД, где получение и обработка информации о ТС ОБТД осуществляется с частичным участием оператора.
- 3) Неавтоматизированные (ручные), где все выполняется человеком-оператором.

Процесс ТД содержит три составляющие: генезис, диагноз, прогноз.

Под генезисом понимают процесс определения технического состояния объекта с определенной точностью на заданном в прошлом временном интервале.

Диагноз—это процесс определения технического состояния ОБТД в данный момент времени.

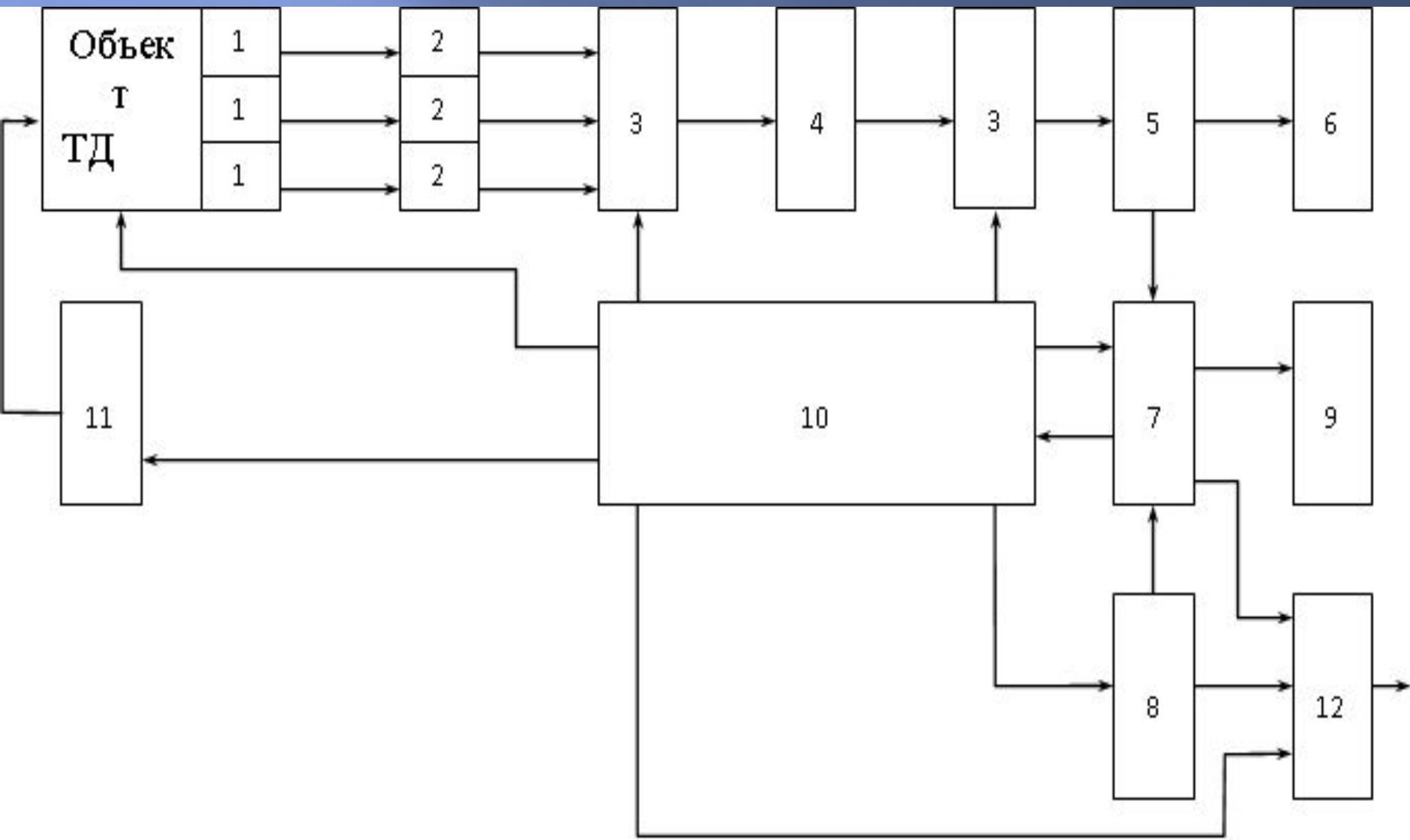
Прогноз —это процесс определения технического состояния ОБТД в будущем на конечном временном интервале с заданной достоверностью.

В соответствии этой классификации «Техническая диагностика» как область науки и техники содержит три раздела: 1) Техническая генетика;

2) Техническая диагностика;

3) Т

# Структура системы технического диагностирования АйРЭО





Функциональными элементами системы технического диагностирования являются:

- 1– датчики сигналов;
- 2– линии связи;
- 3– коммутаторы;
- 4– преобразователи;
- 5– измерительный прибор;
- 6– элементы индикации;
- 7– дискриминатор (устройство сравнения);
- 8– поле допусков;
- 9– индикатор вида технического состояния (документирующее или запоминающее устройство);
- 10– управляющее устройство;
- 11– стимулирующее устройство;
- 12– прогнозирующее устройство.



# Диагностические модели (ДМ) и их классификация

- ▣ Диагностические модели представляют собой формализованные описания объектов и процессов диагностирования, которые лежат в основе построения алгоритмов диагностирования РЭО.
- ▣ Явная модель – это совокупность формальных описаний исправного и работоспособного состояния объекта, всех его неисправностей и неработоспособного состояния.
- ▣ Неявные модели ОбТД представляют какие-либо формальные описания объекта, математической модели его физической неисправности, а также правило получения по этим данным всех других описаний, характеризующих другие состояния.

## ДМ условно можно разделить на группы:

- непрерывные модели, которые представляют объект и происходящие в нем процессы в реальном течении времени;
- дискретные модели, которые определяют состояние ОбТД в дискретные значения времени без учета характера состояний в интервале между дискретами. Эти модели представлены в виде конечно-разностных уравнений и используются для описания цифровых и импульсных устройств;
- гибридные модели, которые описывают состояния реальных объектов, т.е. модели как непрерывного, так и дискретного действия;
- специальные модели, которые характеризуют большую группу моделей, построение которых

# Методы построения моделей делятся

на:

-аналитические;

-графоаналитические;

-информационные;

# Аналитические методы моделирования

- позволяют решать задачи оптимизации и получать соотношения между состоянием объекта, ДП и показателями качества в аналитическом виде. К методам построения аналитической модели относятся: метод малого параметра (асимптотические методы), функции чувствительности, аналитическое описание процесса прохождения сигнала, уравнение, связывающее параметр функционального использования (ПФИ), технический параметр (ТП) и т.д.

# Графоаналитический метод

- отображает диаграмму прохождения сигналов в виде карт процесса в аналогах объекта, позволяющей вскрывать неочевидные, но важные для решения диагностических задач связи и степень влияния. Как правило, это теоретико-множественное описание объекта на основе теории множеств и теории графов.

# Информационные методы моделирования

- ▣ позволяют формально описать систему и процессы ТД в виде информационных потоков.

# Аналитические модели

Таковыми моделями являются функции, описывающие взаимосвязь внешних измеряемых параметров и внут-ренних параметров элементов РЭО вида

$$U_{\text{вых}} = \Phi[A(t), U_{\text{ex}}(t)]$$

Одним из распространенных описаний РЭО является передаточная функция в операторной форме вида

$$K(p) = \frac{a_k p^k + a_{k-1} p^{k-1} + \dots + a_1 p + a_0}{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}$$

которая имеет  $d$  вещественных  $\gamma_i$  и  $2f$  комплексных  $\alpha_i + j\omega_i$  полюсов.

Переходная характеристика такого устройства представляется уравнением

$$U(t) = A_0 + \sum_{i=1}^f A_i e^{-\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \varphi_i) + \sum_{i=1}^d D_i e^{-\gamma_i t}$$



Для аналитического решения используют упрощенную функцию  $K_1(p)$ , являющуюся ДМ:

$$K_1(p) = \frac{a_{n-1}p^{n-1} + a_{n-2}p^{n-2} + \dots + a_1p + a_0}{p^n + b_{n-1}p^{n-1} + b_{n-2}p^{n-2} + \dots + b_1p + b_0}$$

Решение данного уравнения находят, вычисляя по известным соотношениям коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$ .



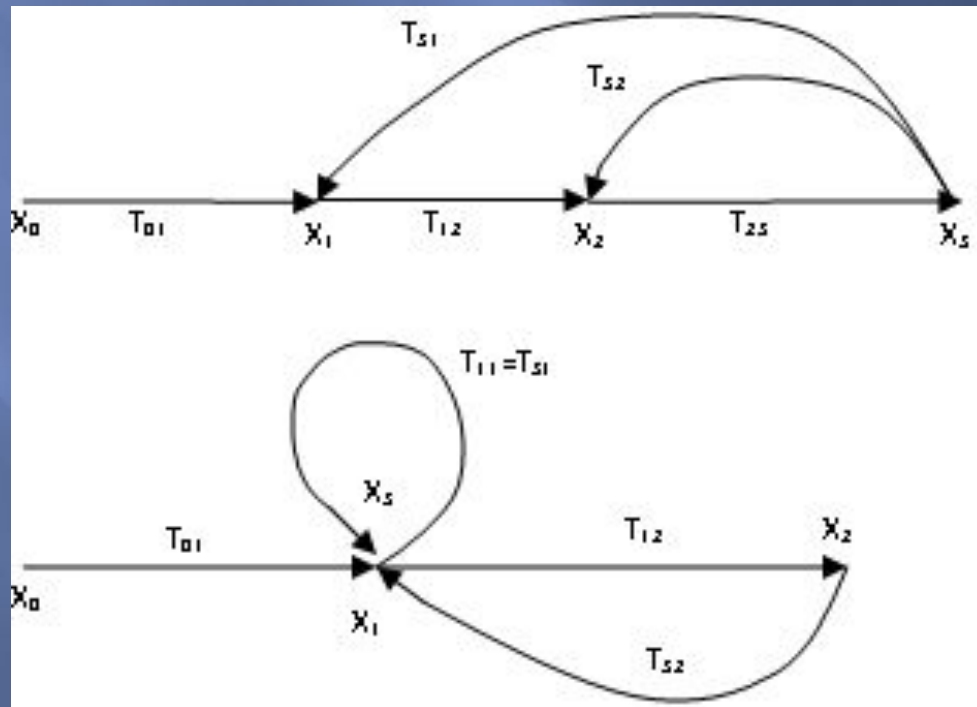
# Графоаналитические модели

- В случае описания объекта системой линейных алгебраических уравнений эту систему можно представить в виде функции – диаграммы прохождения сигналов
- Переменная (сигнал) равна сумме входящих сигналов, а каждый из них — произведению оператора входящей ветви на переменную (сигнал) узла, из которого ветвь выходит.

Если объект описывается системой уравнений

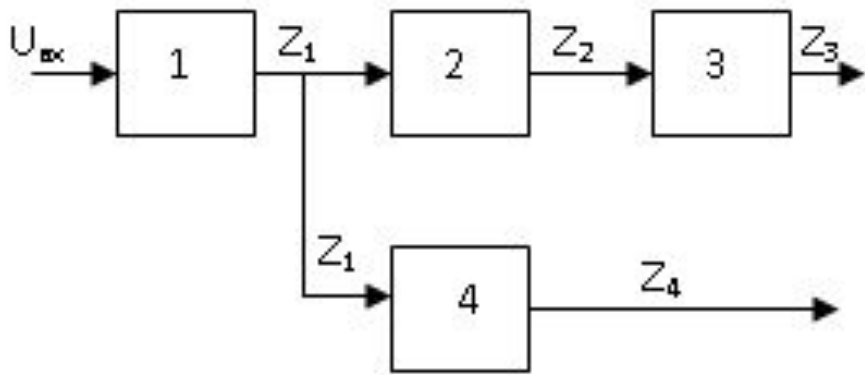
$$\begin{cases} x_1 = T_{01}x_0 + T_{31}x_3 \\ x_2 = T_{12}x_1 + T_{32}x_3 \\ x_3 = T_{23}x_2 \end{cases}$$

то в этом случае диаграмма прохода сигнала будет иметь вид

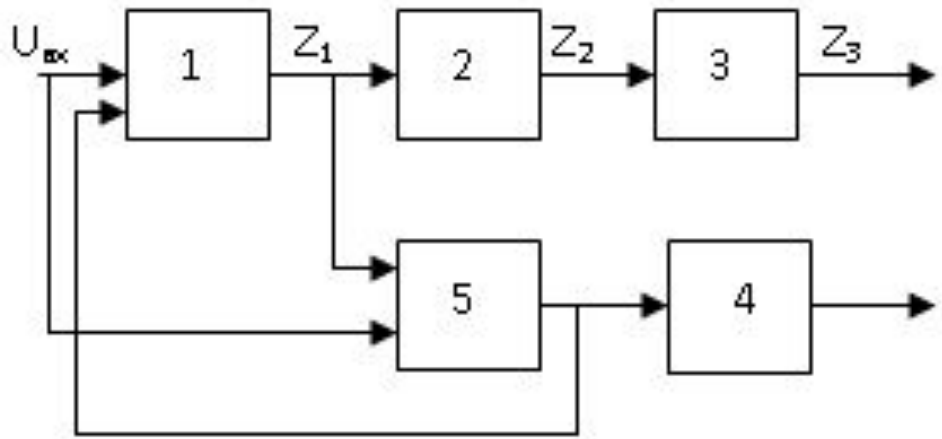


Если структура РЭО задана полностью и для нее определены области значения входных и выходных параметров для всех блоков, то для диагностирования такой системы используется функционально-диагностическая модель (ФДМ) которая строится по правилам:

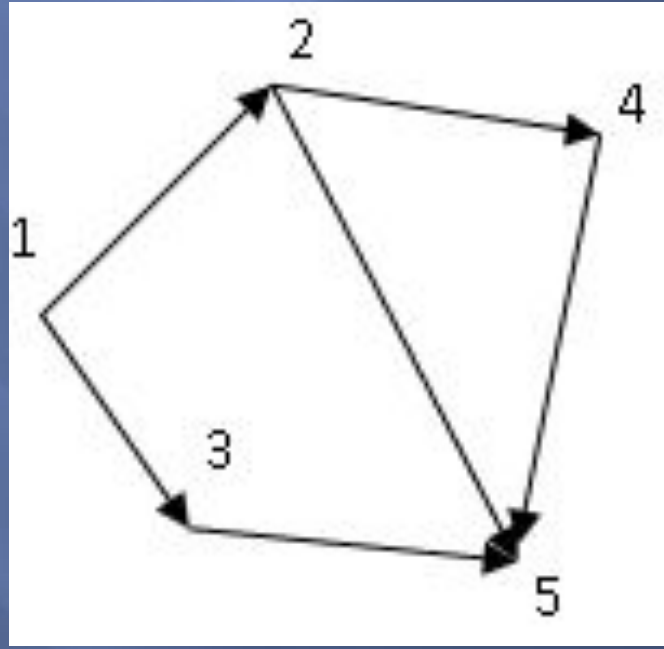
- количество блоков функционально - диагностической модели должно быть увеличено в сравнении с исходной функциональной моделью,
- при этом должно выполняться условие: если хотя бы один входящий блок находится вне допуска, то и выходящий сигнал также будет находиться вне допуска, и этот блок будет считаться неработоспособным,
- наличие разделения сигнала соответствует тому, что вход следующего блока по сигналу также будет разделен, и на основе таких разделений формируется функционально – диагностическая модель.



Функциональная модель



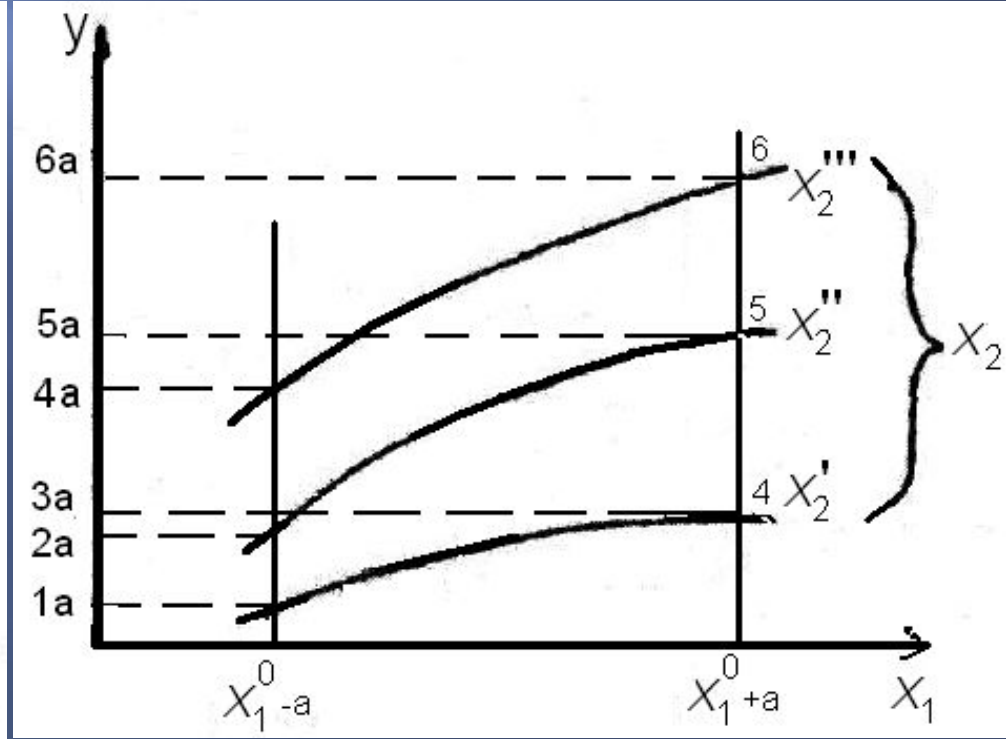
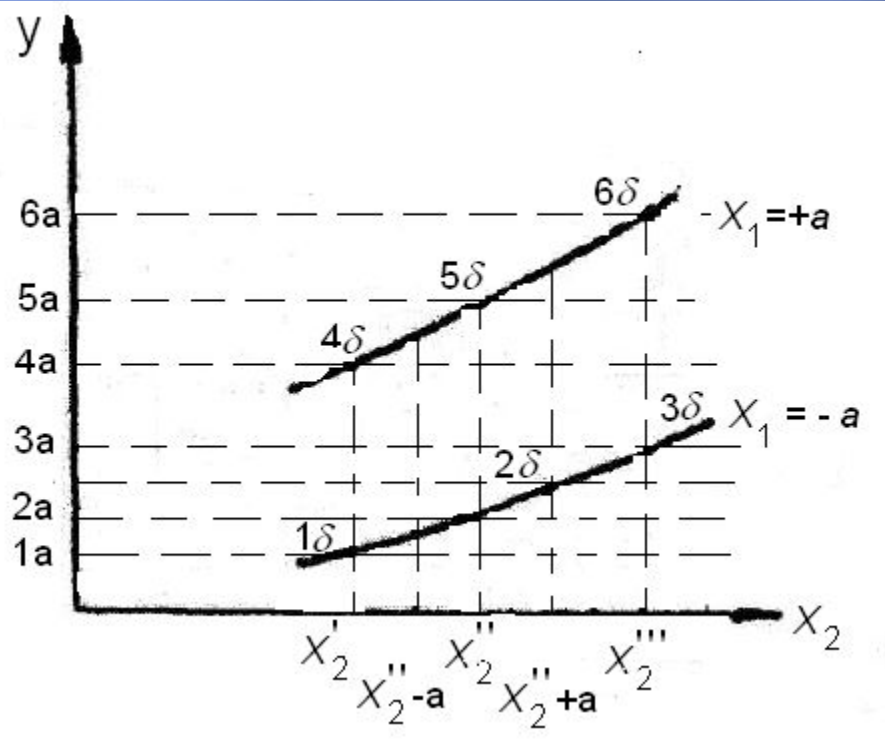
Функционально – диагностическая модель



# Информационная диагностическая модель

- ▣ Преимущество этой модели заключается в единстве математического аппарата. Математический аппарат в теории информации представляет:
- ▣ объект диагностирования (ОбТД) в виде датчика;
- ▣ измерительные приборы в виде преобразователей;
- ▣ информацию со средств индикации как процесс снятия неопределённости по определению работоспособного состояния или ПМО (поиска места отказа).

Непосредственный вид функции выходных переменных может быть установлен с помощью методов теории планирования эксперимента и представляет собой полиномиальные уравнения. Коэффициенты полиномов определяются методами регрессионного анализа.



Выходная функция ОД

Значения функции

# Алгоритм действий при построении модели следующий:

- 1) подготавливается исходная информация об объекте в виде зависимостей от выходной функции;
- 2) выбираются границы изменения факторов
- 3) выбирают центр
- 4) выбираются единицы варьирования
- 5) составляется матрица планирования эксперимента

$N$	$x_1$	$x_2$	$y$
1	$\bar{x}_1 - a$	$\bar{x}_2 - a$	$y_1$
2	$\bar{x}_1 + a$	$\bar{x}_2 - a$	$y_2$
3	$\bar{x}_1 - a$	$\bar{x}_2 + a$	$y_3$

- 6) по семейству графических зависимостей определяются значения функций отклика  $y$  для всех сочетаний уровней в матрице планирования изменений факторов



7) вычисляются коэффициенты в уравнении регрессии вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i<j<k} b_{ijk} x_i x_j x_k + \sum b_{i\bar{i}} x_i^3$$

с помощью следующих соотношений

$$b_0 = \frac{\sum_{n=1}^N x_{i\bar{n}} y_n}{2^{n+1} + 2n + 1} - \alpha \sum_{n=1}^n b_{ij}$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N (x_{i\bar{n}}^2 - \alpha) y_n}{2^n [(a^2 - \alpha)^2 + (c^2 - \alpha)^2] - 2(d^2 - \alpha)^2 + (2n - 1)d^2}$$

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{i\bar{n}} y_n}{2^n (a^2 + c^2) + 2d} - b_{i\bar{i}}, \quad \forall_i = 1, \bar{n}$$

$$b_{ijk} = \frac{\sum x_{i\bar{n}} y_{j\bar{n}} x_{k\bar{n}} y_n}{2^n (a^6 + c^6)}, \quad i < j < k, \quad \forall_k = 3, \bar{n}$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N x_{i\bar{n}} y_{j\bar{n}} y_n}{2^{n+1} (a^4 + c^4)}, \quad i < j, \quad \forall_j = 2, \bar{n}$$

$$b_{i\bar{i}} = \frac{\sum_{n=1}^N [(x_{i\bar{n}}^2 - \beta) x_{i\bar{n}}] y_n}{2^n [(a^2 - \alpha)^2 a^2 + (c^2 + \alpha)^2 c^2 + 2(d^2 - \beta)^2 d^2]}$$

$x_i, x_j, x_k$  берутся из матрицы планирования и могут принимать значения  $\pm a, \pm c, \pm d, 0$ ; значения  $y$  также берутся из этой матрицы.

8) проверяется точность аппроксимации исходных графических зависимостей параметров

9) ...

# ВЫБОР ДИАГНОСТИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

- ▣ Параметры РЭО, как объекта ТД, можно условно разделить на группы, которые характеризуют: потребности РЭО в ТД,
- ▣ диагностируемость РЭО,
- ▣ конструктивную приспособленность РЭО к диагностированию и контролю.

# Стратегии ТОиР

- Под стратегиями ремонта понимаются стратегия ремонта по наработке и стратегия ремонта по техническому состоянию. Стратегия ремонта по техническому состоянию предполагает стратегию ремонта, согласно которой перечень операций определяется по результатам диагностирования изделия в момент начала ремонта, а также по данным о надежности этого изделия и

# Показатели объекта

- ▣  $T_{\delta}$  - периодичность проведения диагностирования,
- ▣  $\tau_{\delta}$  - среднее время диагностирования, как функция наработки  $\tau_{\delta} = f(T_{\theta})$ .

# Основной показатель диагностирования

- Совокупность параметров для контроля работоспособности. Количественно определяется множеством электрических параметров и коэффициентом полноты проверки работоспособности:  $K_{n.n} = \lambda_{fc} / \lambda_o$
- где  $\lambda_{fc}$  - суммарный параметр потока отказов составных частей объекта;
- $\lambda_o$  - суммарный параметр потока отказов всех составных частей объекта.
- Если эти параметры неизвестны, то:  $K_{n.n} = n_{fc} / n_o$
- где  $n_{fc}$  - число диагностируемых параметров;
- $n_o$  - число параметров ТС, использование которых обеспечивает методическую достоверность проверки

# Глубина поиска дефекта

$$\square K_{2.n} = F/R,$$

- $F$  - число составных частей объекта на принятом уровне деления, с точностью с которой определяется место дефекта;
- $R$  - общее число составных частей объекта, с точностью, которая требуется для определения места дефекта.
- Определение места дефекта или отказа и РСС могут характеризоваться такими показателями:
  - $L$  - длина теста диагностирования. Определяется числом элементарных тестовых воздействий.
  - $P_{ij}$  - вероятность ошибки диагностирования.
  - Под видом  $ij$  понимается вероятность наступления 2-х событий. Ошибка диагностирования находится в ТС  $i$ , а результат диагностирования считается находящимся в состоянии  $j$ .
  - $D$  - вероятность правильного диагностирования. Это полная вероятность того, что система диагностирования определяет то ТС, в котором действительно находится объект.

# Показатели диагностирования и контролепригодности

- ▣  $T_{\partial}$  - средняя оперативная продолжительность
- ▣  $\tau_{\partial}$  - средняя оперативная трудоемкость
- ▣  $C_{\partial}$  - средняя оперативная стоимость
- ▣  $K_{y.c}$  - степень унификации устройства сопряжения со средствами диагностирования:  
$$K_{y.c} = N_y / N_{o'}$$
- ▣  $N_y$  - число унифицированных устройств;
- ▣  $N_{o'}$  - общее число устройств сопряжения.
- ▣  $K_{y.n}$  - коэффициент унификации параметров сигналов объекта:  
$$K_{y.n} = \delta_y / \delta_{o'}$$
- ▣  $\delta_y$  - число унифицированных диагностических параметров;
- ▣  $\delta_{o'}$  - общее число параметров



- $K_{m.d}$  - параметр, характеризующий трудоемкость подготовки изделия к диагностированию:  $K_{m.d} = (W_d - W_b) / W_{bc}$ ,
- ▣  $W_d = W_0 - W_b$ ,  $W_d$  - средняя трудоемкость подготовки
  - ▣  $W_b$  - средняя трудоемкость подготовки изделия
  - ▣  $W_0$  - основная трудоемкость диагностирования;
  - ▣  $W_{bc}$  - средняя трудоемкость всех изделий диагностирования.
  - ▣  $K_{u.c}$  - коэффициент использования специализированных средств диагностирования:
  - ▣  $K_{u.c} = (G_{cd} - G_{ccd}) / G_{cd}$
  - ▣  $G_{cd}$  - объем серийных средств

Диагностический параметр (ДП) - это параметр (признак)ОбТД, используемый в установленном порядке для определения ТС объекта.

Большинство ДП, по своему назначению, могут быть одновременно диагностическими и техническими. Эти параметры поддаются непосредственному измерению и для них проще всего установить нормы и допуски, выход за пределы которых характеризует отказ РЭО.

Характеристикой отказа РЭО является выход за пределы допуска одного ДП.

Решение о работоспособности состояния сложного РЭО принимается на основе измерения совокупности ДП, причем эта совокупность тем больше, чем сложнее устройство.

# Процесс выбора совокупности ДП

- 1) Определение ТС  $S(t)$ ;
- 2) Выбор совокупности ДП  
 $U(S) = U[U(S_1), \dots, U(S_n)]$  по заданным значениям коэффициента полноты проверки, в зависимости от ТС объекта;
- 3) Минимизация совокупности ДП;
- 4) Синтез рациональных алгоритмов проверки работоспособности и поиска мест дефекта
- 5) Установление рациональных допусков на нормы технических параметров (НТП).

# ПОИСК МЕСТА ОТКАЗА В СИСТЕМАХ РЭО

- а) фиксация отказа;
  - б) локализация отказа;
  - в) восстановление отказавшего элемента (узла);
  - г) контроль параметров сменной единицы;
  - д) контроль на НТП РЭО после установления восстановленного элемента (узла);
  - е) установка РЭО;
  - ж) проведение работ согласно регламенту ТО.
- ▣ Одним из наиболее простейших методов является метод определения отказов по характерным признакам, использующий специальные таблицы, содержащие информацию о возможных отказах и сопутствующих им признаках и проявлениях.

# Метод поиска места отказа путем поэлементной проверки

- Метод используется тогда, когда об изделии РЭО имеется минимальная информация.
- При этом проверяется работоспособность каждого из  $m$  элементов последовательно.
- Среднее число элементов  $m_{cp} = (m+1)/2$
- Среднее время проверок  $t_{cp} = t_m (m+1)/2$ .
- Часто для РЭО алгоритм ПМО, реализующий данный метод, выглядит как проверка работоспособности узлов (элементов) РЭО по принципу «с выхода на ВХОД».

# Метод поиска отказа по критерию «время-безотказность»

- Если известны вероятности отказов  $Q_i(0)$  всех диагностируемых блоков РЭО, а также — среднее время диагностирования каждого блока в процессе ПМО, то математическое ожидание времени ПМО для произвольной последовательности проверок имеет вид
- 
- если изменить программу проверок, переставив, например, местами первую и вторую, то



# Метод поиска отказа по критерию «время-безотказность»

Если известны вероятности отказов  $Q_i(0)$  всех диагностируемых блоков РЭО, а также  $\tau_{дi}$  — среднее время диагностирования каждого блока в процессе ПМО, то математическое ожидание времени ПМО для произвольной последовательности проверок имеет вид

$$\tau_{дс} = Q_1(0) \tau_{д1} + Q_2(0) (\tau_{д1} + \tau_{д2}) + \dots + Q_n(0) (\tau_{д1} + \tau_{д2} + \dots + \tau_{дn})$$

Если изменить программу проверок, переставив местами первую и вторую, то

$$\tau_{дс2} = Q_2(0) \tau_{д2} + Q_1(0) (\tau_{д1} + \tau_{д2}) + \dots + Q_n(0) (\tau_{д1} + \tau_{д2} + \dots + \tau_{дn})$$

Если  $\tau_{дс1} - \tau_{дс2} = Q_2(0) \tau_{д1} - Q_1(0) \tau_{д2}$ , то первая программа эффективней второй, то есть

$$\{ Q_1(0) / \tau_{д1} \} > \{ Q_2(0) / \tau_{д2} \}$$

и строим алгоритм по правилу  $\tau_{дс1} < \tau_{дс2}$ . Находим отношение  $\{ Q_i(0) / \tau_{дi} \}$

$$\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \dots > \alpha_n$$



# Метод ветвей и границ

- ▣ Программе диагностирования может соответствовать бинарное дерево проверок  $G(\Pi_k, U, S, V)$ ,
- ▣ где  $S$  — множество висячих вершин в дереве;
- ▣  $\Pi_k$  — множество внутренних вершин;
- ▣  $V$  — множество дуг дерева.

# Средняя стоимость

диагностирования

$$C(\mathcal{B}) = \sum_{i=1}^k c_i \left( \sum_{S_i \in \mathcal{B}} o_i \right)$$

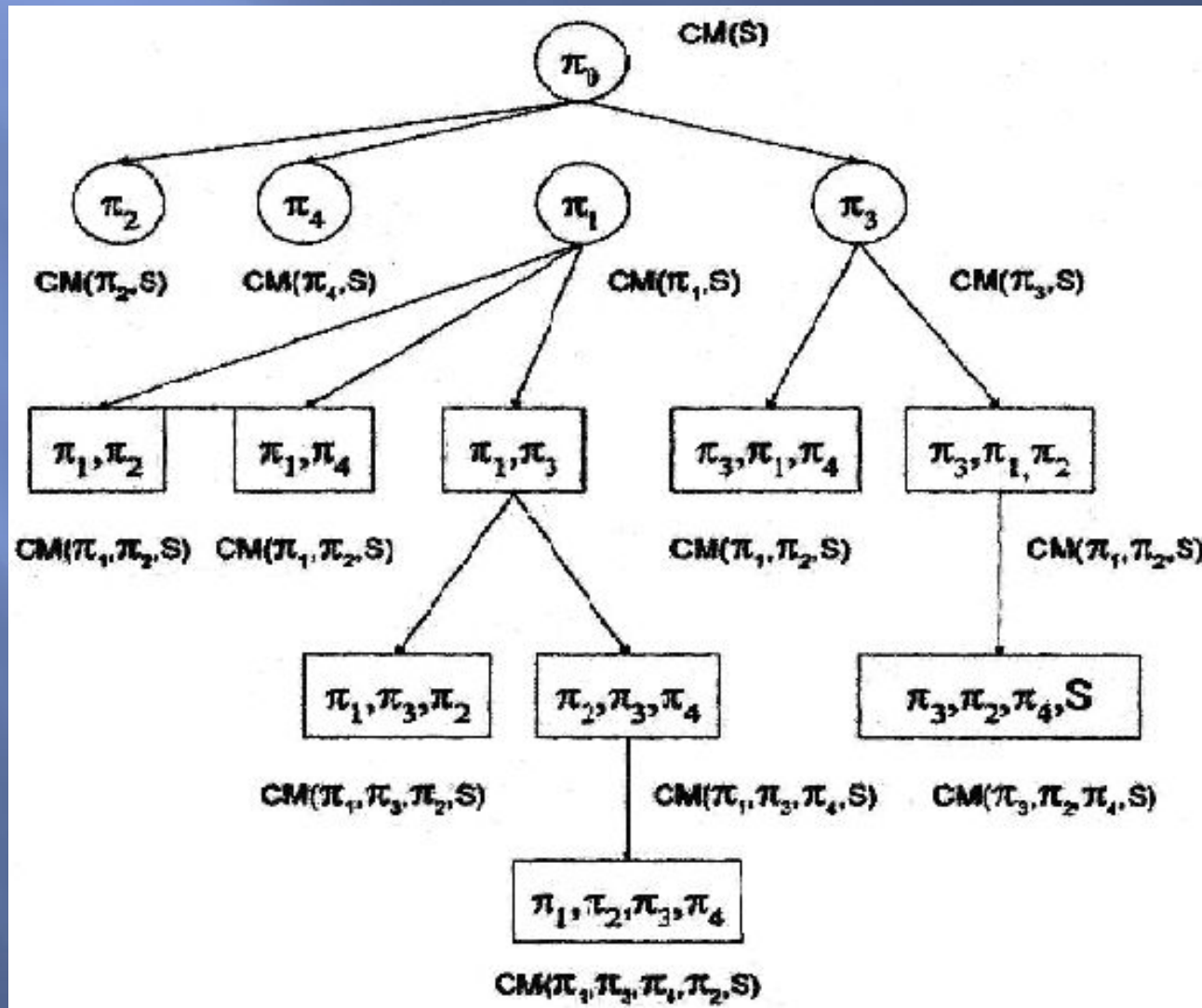
Где  $S_i \in \mathcal{S}_i$  - множество подлежащих диагностированию состояний РЭО по программе,  $\mathcal{B}_i \in \mathcal{B}$  представленной деревом  $\pi_i$

Для ОД задается матрица состояний, содержащая  $\omega$  проверок, каждая из которых может включаться в программу диагностирования.

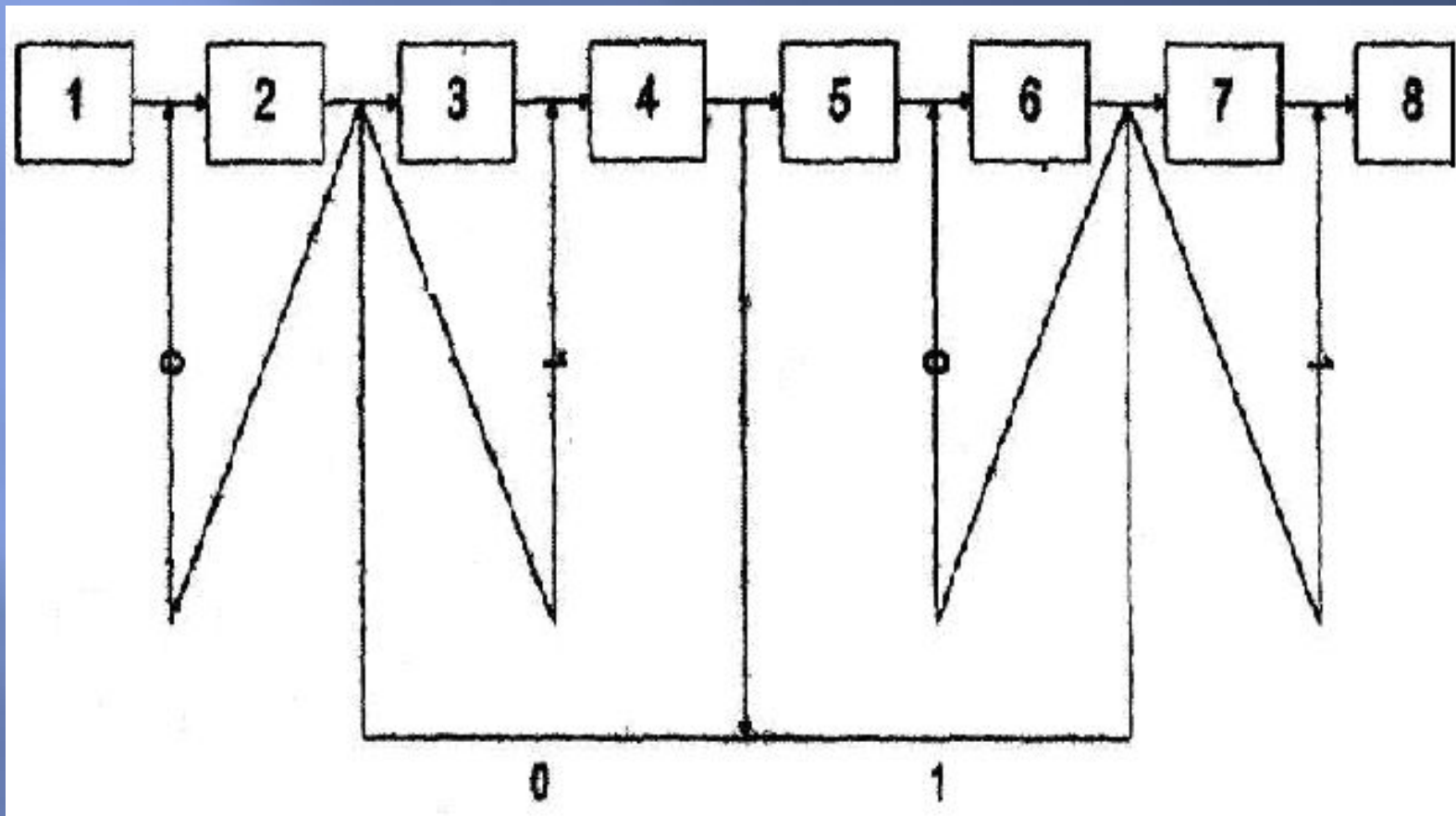
Программа может начинаться с любой проверки.

Если средняя нижняя стоимость проверок превышает нижнюю границу стоимости любой из возможных программ первого и последующего шагов алгоритма, то процесс повторяется до тех пор пока не будет получено оптимальное решение.

# Дерево решений для возможной задачи оптимизации программы методом ветвей и границ.



# Метод половинных разбиений



В схеме анализируемого РЭО с учётом или без учета вероятности отказа, производится проверка состояния оборудования в средней точке (средний узел, блок), после чего в зависимости от результата проверяется правая или левая часть схемы.

# Оптимизация алгоритма ПМО на основе информационного подхода

- Применение метода базируется на двух принципах:
- – система технической диагностики и контроля — информационная система;
- – в каждой проверке целевая функция отображает информацию о возможном (из поля  $S$ ) состоянии РЭО.
- Поскольку отказ не локализован, то очевидно, что в каждой проверке может быть заложена информация о том, где возник отказ с вероятностью  $Q(S_i)$ .

Средняя энтропия имеет смысл глубины наших знаний о состоянии контролируемого узла (элемента, блока) РЭО и при  $i$ -й проверке  $H(S/U_i)$  определяется

$$H\left(\frac{S}{U_i}\right) = -\left\{ Q_{U_i} \sum \frac{S(U_i)}{Q_{U_i}} \log_2 \frac{S(U_i)}{Q_{U_i}} + (1 - Q_{U_i}) \sum \frac{S(U_j)}{Q_{U_i}} \log_2 \frac{S(U_j)}{Q_{U_i}} \right\}$$

В  $i$ -й проверке заложена информация

$$I_{U \rightarrow S} = H(S) - H\left(\frac{S}{U_i}\right) = -\left\{ Q_{U_i} \log_2 Q_{U_i} + (1 - Q_{U_i}) \log_2 (1 - Q_{U_i}) \right\}$$

Максимум информации о состоянии ОБТД содержит проверка, для которой величина

$$\frac{dI_{U \rightarrow S}}{dQ_{U_k}} = 0 = -\left\{ \log_2 Q_{U_k} - \log_2 e - \log_2 (1 - Q_{U_k}) + \log_2 e \right\} \quad \text{Откуда } Q_{U_k} = 0,5$$

Поэтому ПМО должен начинаться с точки ФДМ, для которой имеет место с

$$\sum_{j=1}^m Q(S_j) = 0.5$$



# Правило построения алгоритма ПМО на основе информационного подхода

По ФДМ РЭО строится матрица состояний (состояние  $S_j$  – столбцы, проверки,  $U_j$  – строки). Под каждым значением  $S_j$  указывается его численная нормированная величина  $S_j(O)$ ; Для каждой строки  $U_i$  вычисляется функция предпочтения

В качестве первой проверки выбирается та, для которой величина функции предпочтения минимальна.



# Синтез алгоритма ПМО на базе информационной модели

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>1</sub>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
U <sub>2</sub>	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
U <sub>3</sub>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
U <sub>4</sub>	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	7
U <sub>5</sub>	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	7
U <sub>6</sub>	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
U <sub>7</sub>	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
U <sub>8</sub>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
U <sub>9</sub>	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	7
U <sub>10</sub>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4

	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>10</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>2</sub>	0	0	1	1	1	1
U <sub>3</sub>	1	0	1	1	1	3
U <sub>4</sub>	1	1	0	1	1	3
U <sub>8</sub>	1	1	1	0	0	1
U <sub>10</sub>	1	1	1	0	0	1

	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>9</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>1</sub>	0	1	1	1	1	3
U <sub>5</sub>	0	0	1	1	0	1
U <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	5
U <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	5
U <sub>9</sub>	0	0	1	1	0	1

	S <sub>4</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>10</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>4</sub>	0	1	1	1
U <sub>8</sub>	0	0	0	1
U <sub>10</sub>	0	0	0	1

	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>2</sub>	0	0	2
U <sub>3</sub>	1	0	1

	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>6</sub>	0	0	2
U <sub>7</sub>	0	0	2

	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>9</sub>	W <sub>ic</sub>
U <sub>1</sub>	0	1	1	1
U <sub>5</sub>	0	0	0	3
U <sub>9</sub>	0	0	0	3

Проверяем блок 8 или 10

Отказ в блоке 4

Отказ в блоке 2

Отказ в блоке 3

Отказ в блоке 7

Отказ в блоке 6

Отказ в блоках 5 или 9

Отказ в блоке 1

# ВЫБОР ДОПУСКОВ НА ДИАГНОСТИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Большинство РЭС ГА характеризуются такими параметрами, которые должны находиться в пределах своих допустимых значений. Допуски на параметры РЭС (ДП) подразделяются на производственные, эксплуатационные и ремонтные.

Производственный допуск устанавливается техническими условиями | или нормативно-техническими документами. Эксплуатационные допуски устанавливаются системой эксплуатационно-технической документации, а также технологическими указаниями по выполнению регламентных работ на образцах РЭС.

допуски, могут быть разделены на две группы:  $P1$  и  $P2$ .

К группе  $P1$  относятся ДП, которые одновременно являются показателями функционального использования и могут быть непосредственно измерены. Допуски на эти ДП устанавливаются исходя из целевого назначения РЭО.

К группе  $P2$  относятся такие показатели, которые также определяют параметры функционального использования, но их значения являются функцией внуточностных значений внутренних параметров  $U_i = F(a_1, \dots, a_n)$

При этом анализ  $U_i$  производится только через параметры  $F$ .

Допуски на параметры первой группы устанавливаются исходя из соображений тактических или технологических возможностей

# Допуски на параметры второй группы

Если функциональная зависимость  $U$  от параметров  $F$  известна и известны характерные значения  $F(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ , то допуск рассеяния  $U$  определяется следующим

выражением:

$$L_U = \frac{1}{K_U} \sqrt{\sum_i^n (\partial U / \partial a_i)^2 K_L^2 L_i^2}$$

$\partial U / \partial a_i = \partial F(a_1, \dots, a_n) / \partial a_i$  — частная производная ДП при номинальных значениях

$L = (a_{\max} - a_{\min}) / 2$  — половина поля рассеяния

$a_{\max}$  и  $a_{\min}$  — наибольшее и наименьшее значения

параметра  $a_i$

$K_U$  — СКО,  $K_L = \sigma / L \varepsilon$  — относительное СКО для «эталонного»

распределения (зачастую считают, что  $\varepsilon = 1/3$ , что

соответствует нормальному распределению и

правилу

$\pm 3\sigma$ , т.е.  $L = 3\sigma$ .

# ПОКАЗАТЕЛИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ

«Показатель диагностирования» относится к комплексной характеристике системы диагностирования и контроля. Основной физической характеристикой системы диагностики о состоянии РЭО является достоверность информации, отражающая степень доверия пользователя к полученным результатам. Достоверность контроля определяется: точностью измерения ДП, глубиной и полнотой контроля, безотказностью и помехозащищенностью СрДиК, закономерностями ДП и допусков на них; методикой измерения ДП, способами документирования и представления информации, условиями и местом проведения

Состояние РЭО характеризуется параметром  $\xi_c(t)$ , который является случайной величиной с плотностью распределения  $W(\xi_c)$ . ОбТД считается работоспособным, если параметр  $\xi_c(t)$  находится в пределах поля допуска, имеющего соответствующие границы  $\xi_n$  и  $\xi_e$  и  $\xi_n < \xi_c(t) < \xi_e$ , т.е.

вероятности пребывания ОбТД в состоянии

$$P(H) = \int_{\xi_n}^{\xi_e} W(\xi_c) d\xi_c$$

$$P(H) = \int_{-\infty}^{\xi_e} W(\xi_c) d\xi_c + \int_{\xi_n}^{\infty} W(\xi_c) d\xi_c$$

ВНУТРИ:



# Показатели диагностирования

При диагностировании РЭС возможна вероятность совместного наступления двух событий:

ОбТД находятся в техническом состоянии  $i$ , а в результате диагностирования ему присваивается нахождение в состоянии  $j$ .

Эта вероятность называется вероятностью ошибки

диагностирования вида  $(i,j)$  и

$$P_{ij} = P_i^0 \sum_{l=1}^k P_l^c P_{jil}^y = \sum_{l=1}^k P_l^c P_{jl}^a P_{ijl}^b$$

где  $k$  — число состояний

$$P_i^0$$

- априорная вероятность нахождения

ОбТД в состоянии  $i$

$$P_i^c$$

ДиК;

- априорная вероятность нахождения ОбТД в состоянии 1

$$P_{jil}^y$$

- условная вероятность того, что результат диагностирования ОбТД признан находящимся в состоянии  $j$  при условии, что он находится в состоянии  $i$ , а СрДиК

— в состоянии 1

$$P_{jl}^a$$

- условная вероятность получения результата; "ОбТД в состоянии  $j$ " при условии, что СрДиК в состоянии  $l$  (где  $l=1,N$ ).

$$P_{ijl}^b$$

- априорная вероятность нахождения условная вероятность нахождения ОбТД в состоянии  $i$  при условии, что получен результат "ОбТД в состоянии  $j$ ", а СрДиК

— в состоянии  $l$ .я СрДиК в состоянии 1



Если состояние РЭС определяется совокупностью  $m$  независимых ДП и СрДиК различает  $2^m$  состояний ОБТД, то

$$P_{i,j} = \sum_{i=1}^k P_i^c \prod_{v=1}^m f_{i,j,v}, \quad (9.3)$$

где  $f_{i,j,v}$  — функция, значение которой зависит от конкретной ситуации:

1. Если в состоянии  $i$  и  $j$  ОБТД параметр  $v$  находится в допуске и СрДиК в состоянии  $l$ , то

$$f_{i,j,v} = P_v - \alpha_{v,l},$$

где  $P_v$  — априорная вероятность нахождения ДП в поле допуска;

$\alpha_{v,l}$  — вероятность совместного наступления двух событий: ДП — в поле допуска, а считается вне поля допуска при условии, что СрДиК находится в состоянии  $l$ .

2. Если в состоянии  $i$  ОБТД параметр  $v$  находится в допуске, а в состоянии  $j$  параметр вне поля допуска при условии, что СрДиК в состоянии  $l$ , то

$$f_{i,j,v} = \alpha_{v,l}$$

3. Если в состоянии  $i$  ОБТД параметр  $v$  находится вне поля допуска, а в состоянии  $j$  — параметр  $v$  — в поле допуска при условии, что СрДиК в состоянии  $l$ , то

$$f_{i,j,v} = \beta_{v,l}$$

где  $\beta_{v,l}$  — вероятность наступления двух событий, ДП  $v$  находится вне поля допуска, а его считают находящимся в поле допуска при условии, что СрДиК — в состоянии  $l$ .

4. Если в состоянии  $i$  и  $j$  ОБТД параметр  $v$  находится вне поля допуска при условии, что СрДиК в состоянии  $l$ , то

$$f_{i,j,v} = 1 - P_v - \beta_{v,l}.$$

Для системы диагностики и контроля, предназначенной для проверки работоспособности по альтернативному признаку, то есть при двух состояниях ( $m=2$ ), следует устанавливать индексацию:

$i=1$  ( $j=1$ ) — работоспособное состояние;  
 $i=2$  ( $j=2$ ) — неработоспособное состояние.

Тогда вероятности верификации совмещения вида  $(1,2)$  и  $(2,1)$  двух событий: ОБТД находятся в работоспособном состоянии, а по результатам контроля считается находящимся в неработоспособном состоянии, вероятности вида  $(2,1)$  и  $(1,2)$  наступления двух событий: ОБТД — в неработоспособном состоянии считается находящимся в работоспособном (ошибки I-го и II-го рода).

# Вероятности ошибок диагностирования

$$P_{1,2} = P_1^0 \sum_{i=1}^k P_i^c P_{1,2,i}^y = \sum_{i=1}^k P_i^c P_{2,i}^a P_{1,2,i}^b \quad P_{1,2} = \sum_{i=1}^k P_i^c \left[ \prod_{v=1}^m P_v - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i}) \right]$$

$$P_{2,1} = P_2^0 \sum_{i=1}^k P_i^c P_{1,2,i}^y = \sum_{i=1}^k P_i^c P_{1,i}^a P_{2,1,i}^b \quad P_{2,1} = \sum_{i=1}^k P_i^c \left[ \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i} + \beta_{v,i}) - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i}) \right]$$

$$P_{1,2} = P_1^c \left[ \prod_{v=1}^m P_v - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i}) \right] + P_3^c \prod_{v=1}^m P_v,$$

$$P_{2,1} = P_1^c \left[ \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i} + \beta_{v,i}) - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,i}) \right] + P_2^c \left( 1 - \prod_{v=1}^m P_v \right)$$

Если пренебречь отказами СрДиК, то есть считать ,

$$P_1^c = P_2^c = P_3^c = 0$$

то соотношение для ошибок диагностирования имеет вид

$$P_{1,2} = \prod_{v=1}^m P_v - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,1}),$$

$$P_{2,1} = \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,1} + \beta_{v,1}) - \prod_{v=1}^m (P_v - \alpha_{v,1})$$

Апостериорные вероятности ошибок диагностирования вида  $(i, j)$  вычисляют по формулам:

$$P_{ij}^A = P_{i,j} / \sum_k P_{i,j}; \quad P_{1,2}^A = P_{1,2} / (P_{1,2} + P_{2,2}); \quad P_{2,1}^A = P_{1,2} / (P_{2,1} + P_{1,1})$$

# Вероятность правильного

диагностирования

$$D = \sum_{i=1}^n P_{i,j} = 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n P_{i,j}$$

С учетом возможных ситуаций, когда проверяются только работоспособность РЭС (при определении  $S_p$  совокупностью  $m$  параметров) и учета трех состояний СрДиК выражения для вероятности правильного диагностирования принимают

соотн

$$D = \sum_{i=1}^k P_i^c \sum_{v=1}^m (1 - \alpha_{v,i} - \beta_{v,i})$$
$$D = P_i^c \prod_{v=1}^m (1 - \alpha_{v,i} - \beta_{v,i}) + P_2^c \prod_{v=1}^m P_v + P_c^3 \prod (1 - P)$$

При  $P_c^1 = 1$  полная вероятность правильного диагностирования равна  $D = P_i^c \prod_{v=1}^m (1 - \alpha_{v,i} - \beta_{v,i})$ . Таким образом, выражение (9.11) определяет то функциональное состояние РЭС, в котором она как ОБТД действительно находится.



Математическое ожидание оперативной продолжительности однократного диагностирования является средней оперативной

продолжительностью и определяется по формуле

$$\tau_{\mathcal{D}} = \sum_{i=1}^n \tau_i P_i^0 = \sum_{i=1}^n P_i^0 \sum_{l=1}^k \tau_{il} P_{il}^c$$

Средняя стоимость диагностирования

$$C_{\mathcal{D}} = \sum_{i=1}^n C_i P_i^0 = \sum_{i=1}^n P_i^0 \sum_{l=1}^k C_{il} P_{il}^c$$

Средняя трудоёмкость диагностирования

$$V_{\mathcal{D}} = \sum_{i=1}^n V_{\mathcal{D}i} P_i^0 = \sum_{i=1}^n P_i^0 \sum_{l=1}^k V_{\mathcal{D}il} P_{il}^c$$

А по статистическим данным эксплуатации (испытаний)

$$V_{\mathcal{D}} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N \sum_{i=1}^n V_{\mathcal{D},i,g}^* P_i^0$$

# Ситуационные модели состояний ОД и СрД и К

Состояния ОБТД	Состояния СрДиК	Решение о состоянии ОБТД	Ситуация	Комментарий
P	P	P	Правильное диагностирование	–
P	P	$\bar{P}$	Ошибка 1-го рода	Большие погрешности
P	$\bar{P}$	P	–	СрДиК всегда показывает P
$\bar{P}$	P	P	Правильное диагностирование	–
$\bar{P}$	P	P	Ошибка 2-го рода	Большие погрешности
$\bar{P}$	$\bar{P}$	$\bar{P}$	–	СрДиК всегда показывает P
$\bar{P}$	$\bar{P}$	$\bar{P}$	Ошибка 2-го рода	СрДиК всегда показывает P