


Тема № 2. Диагностирование и прогнозирование технического состояния

Занятие 1. Диагностирование технического состояния

Учебные вопросы:

1. Основные понятия и определения диагностики технических систем
2. Методы поиска неисправностей
3. Прогнозирование технического состояния


1. 1-й учебный вопрос: **Основные понятия и определения диагностики технических систем**



Техническая диагностика (ТД) - отрасль знаний, исследующая технические состояния (ТС) объектов диагностирования и проявления ТС, разрабатывающая методы их определения, а также принципы построения и организацию использования

Объект диагностирования (ОД) - изделие или его составные части, ТС которых подлежит определению. Техническое диагностирование - процесс определения ТС с определенной точностью. Здесь под точностью понимают требуемую детализацию в определении места и состава неисправностей. Эта детализация, называемая глубиной поиска или глубиной диагноза, является характеристикой поиска. Она задается указанием составной части ОД или его участка, с точностью до которых определяется место неисправности (отказа). Глубина поиска неисправностей задается, как правило, в виде конструктивно законченного элемента (агрегата, блока, модуля и т.п.), который обобщенно называют функциональным элементом (ФЭ).

Система технического диагностирования (СТД) - совокупность средств и ОД и, при необходимости, исполнителей, подготовленная к диагностированию или осуществлению его по правилам, установленным технической документацией.



**Техническое
диагностирован
ие**

- процесс определения ТС с определённой точностью (глубиной поиска неисправностей)



**Диагностическа
я
модель (ДМ)-**

это формализованное описание объекта диагностирования, адекватно отображающее структуру, процесс смены технических состояний и обеспечивающее возможность определения ТС с требуемой глубиной. ДМ являются исходными для построения и реализации алгоритмов диагностирования, их следует рассматривать как результат применения совокупности методов построения математических моделей объектов с учётом заданного конструктивного разбиения

На СТД возлагается решение следующих задач:

- **проверка исправности (работоспособности) технических систем как в совокупности объектов, так и каждого объекта в отдельности;**
- **обнаружение и поиск неисправного (неработоспособного) ФЭ с заданной глубиной;**
- **прогнозирование технического состояния;**
- **контроль правильности действий оператора или экипажа при эксплуатации;**
- **информирование оператора о возникновении технических состояний, влияющих на безопасность использования и эффективность применения;**
- **реконфигурация структуры технической системы в случае обнаружения отказа;**
- **накопление и обобщение статистических данных в интересах совершенствования системы эксплуатации и ремонта.**

В математическом плане задача диагностирования сводится к следующему.

Для системы имеются векторы входных (стимулирующих) $X(t)$ и выходных (измеряемых) $Y(t)$ сигналов, связанные через оператор системы:

для линейных систем

$$Y(t) = AX(t),$$

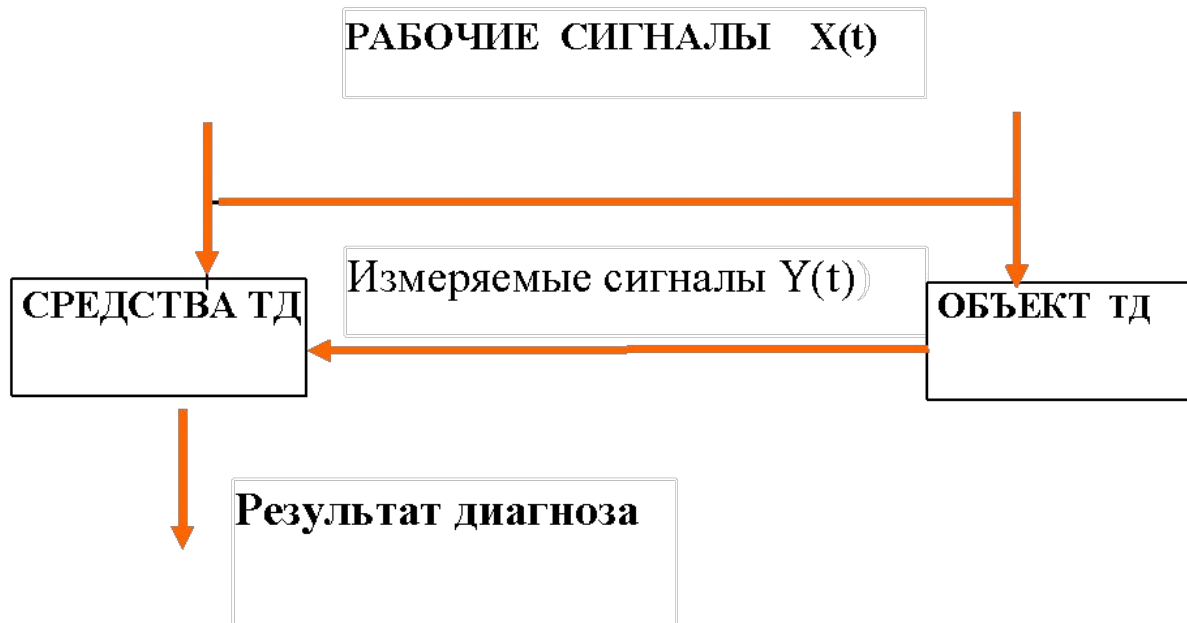
для нелинейных систем

$$Y(t) = A[X(t)] \bullet X(t).$$

По характеру взаимодействия технической системы со средствами диагностирования различают диагностирование:

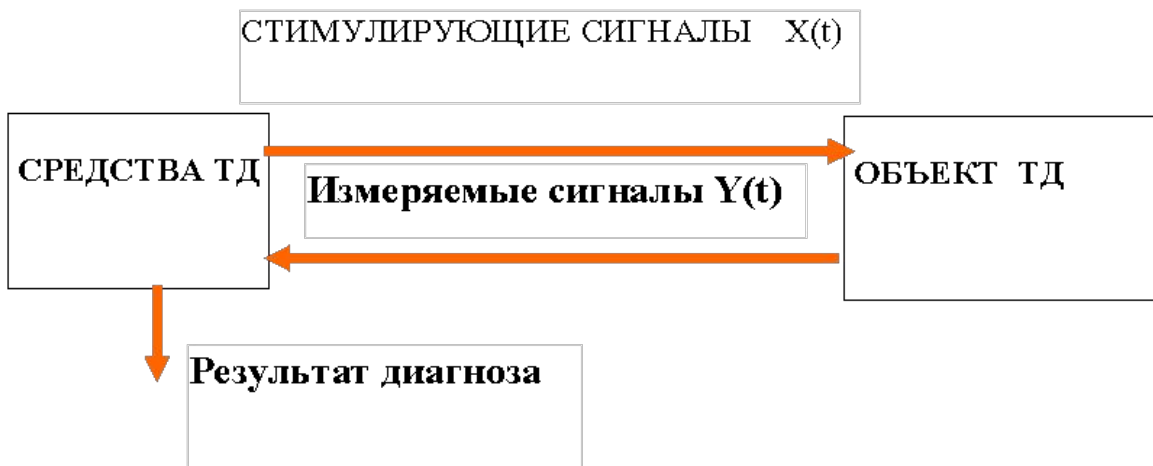
- ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ;**
- ТЕСТОВОЕ.**

В системах функционального диагностирования в качестве стимулирующих используются рабочие сигналы



В этом случае процесс диагностирования осуществляется одновременно с функционированием объекта по предназначению.

В системах тестового диагноза для определения ТС на объект подаются специальные стимулирующие сигналы



Тестовое диагностирование проводится, как правило, при условии, что объект не используется по прямому назначению (например, при подготовке к работе, регламентных работах и т.п.). На основе этих базовых вариантов возможно построение гибридного диагностирования, когда используются как функциональный, так и тестовый варианты. Подобный подход целесообразен в случаях, когда имеется возможность проводить восстановление работоспособности отдельных объектов (имеется структурное резервирование, доступ в отдельные отсеки к агрегатам, блокам и т.п.).

Методика построения диагностической модели

1. Задаётся глубина поиска неисправности, т.е. устанавливается число элементов, с точностью до которых отыскивается неисправность;
2. Для каждого элемента выбираются сигналы параметров, измерение которых является достаточным для ответа на вопрос, работоспособен ли данный элемент;
3. Элементы представляются в виде схемы, в которой указаны все сигналы и связи между элементами;
4. На каждый такой параметр задаются границы допустимого его изменения из условия сохранения работоспособности;
5. Формулируется система условий, связывающих параметры между собой. Это могут быть логические, дифференциальные или иные уравнения, а также другие соотношения в зависимости от вида диагностической модели.
6. В ряде случаев, которые зависят от структуры диагностируемой системы, имеется возможность оптимизации количества примеров по заданному критерию (например, по минимуму измеренных параметров).

2-й учебный вопрос: Методы поиска неисправностей

Принцип метода поиска неисправностей последовательного типа:

Элементарные проверки осуществляются в определенном порядке, обработка информации проводится после каждой элементарной проверки.

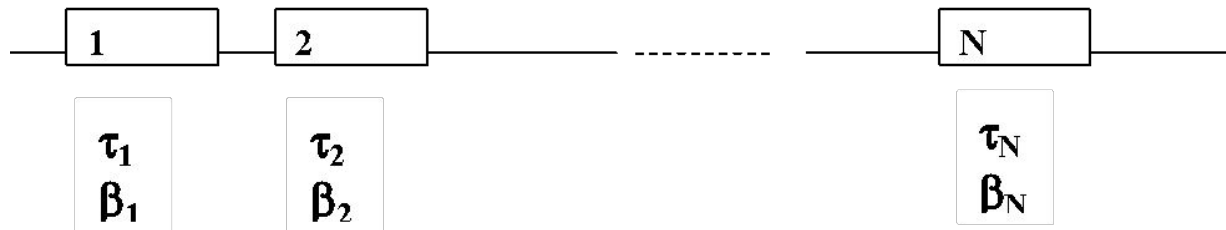
Типовые показатели:

τ - продолжительность процесса поиска;

n - число проверок для обнаружения неисправности;

c - затраты на выявление неисправности.

Диагностическая модель



Техническое состояние объекта

$$\begin{array}{l|l} S_j = 1 & | X_j \in d_j \\ S_j = 0 & | X_j \notin d_j \end{array}$$

Показатели качества процесса диагностирования

Среднее число проверок $\tilde{n} = \sum_{i=1}^N i\beta_i - \beta_N$

Среднее время поиска $\bar{\tau} = \sum_{i=1}^N \beta_i \sum_{j=1}^i \tau_j - \beta_N \tau_N$

Методы поиска отказов

Последовательный

Комбинационный

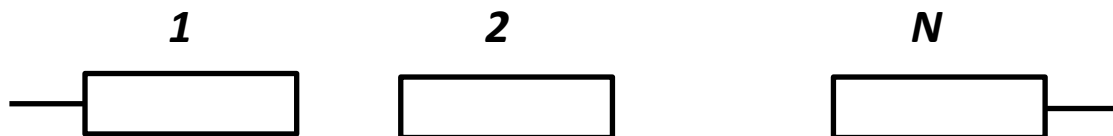
Методы последовательного поиска

Алгоритмы одиночных проверок

Схема объекта



Диагностическая модель



Алгоритм «время – вероятность» $\frac{\beta_k}{\tau_k} > \frac{\beta_{k+1}}{\tau_{k+1}},$

Алгоритм «слабые точки» $\beta_k > \beta_{k+1}$

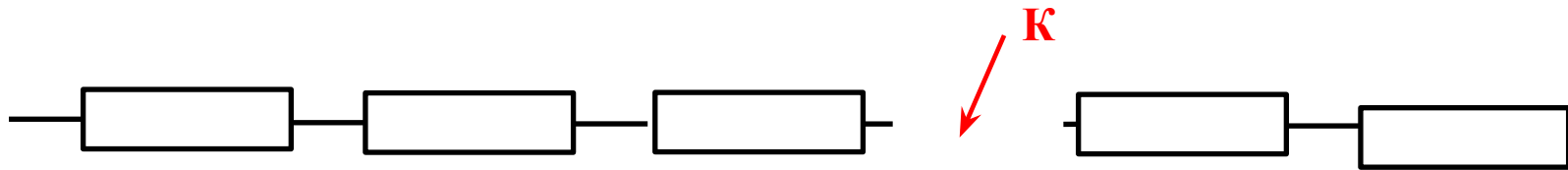
Алгоритм «минимальных затрат на начальном этапе поиска» $\tau_k < \tau_{k+1}$

Структура групповых проверок

Схема объекта



Диагностическая модель



Алгоритм групповых проверок

1. Выбрать точку контроля из условия $\sum_{i=1}^K \beta_i = 1/2$
2. Определить (выделить) часть схемы, где имеет место отказ
3. Вычислить сумму значений β_i для этой части $\sum_{i=1}^K \beta_i$
4. Для выделенной части провести перерасчёт значений β_i по правилу $\hat{\beta}_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i}$
5. Вернуть к п.1 и повторять операции до тех пор, пока не будет выделен неработоспособный элемент

Метод комбинационного типа

1. По структурной (функциональной) схеме составляется диагностическая модель:

- количество элементов ДМ N выбирается из условия единственного выходного параметра для каждого элемента;
- для каждого элемента ДМ входные сигналы сохраняются;

2. Формируется функция условий работы $F_s = x_1 \dots x_k y_1 \dots y_i, s = \overline{1, S}$

x_k - внешние входные сигналы;

y_i - внутренние входные сигналы.

3. Составляется система логических уравнений $Z_i = F_i \cdot D_i$

4. По системе уравнений строится таблица функций неисправностей (ТФН) на основе условия $D_i = 0, D_{j \neq i} = 1, i = 1, \dots, N$.

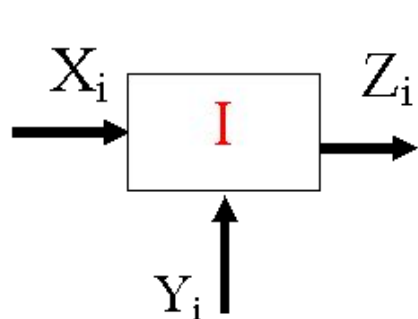
5. Измеряются выходные сигналы на каждом элементе ДМ.

6. Формируется столбец логических значений текущего ТС.

7. Выделяется тот номер элемента ДМ, для которого столбец текущего состояния совпадает со столбцом ТФН.

Таблица функций неисправностей (ТФН)

Элемент проверки	Состояние				
	e_0	...	e_i	...	e_s
π_1	R_1^0				R_1^s
...					
π_j	R_j^0		R_j^i		
...					
π_h	R_h^0				R_h^s



Состояние элемента $D_i = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$

Функция условий работы

$$F_i = x_1 x_2 \dots x_n y_1 \dots y_k$$

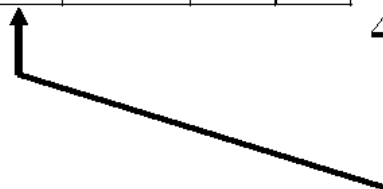
$$Z_i = F_i \wedge D_i$$

F_i	D_i	Z_i
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

π	e_0	e_1	e_2	e_3	$e_{4,6,7}$	e_5	e_8
π_1	1	0	1	1	1	1	1
π_2	1	1	0	1	1	1	1
π_3	1	0	1	0	1	1	1
$\pi_{4,6,7}$	1	0	0	0	0	0	1
π_5	1	1	1	1	1	0	1
π_8	1	0	0	0	0	0	0

Алгоритм диагностирования:

1. Подача допустимых X_1, X_2 ;
2. Контроль $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 (Z_6, Z_7) Z_5$;
3. Формирование столбца $e_2 \sim (11001)^T$;
4. Сравнение столбца со столбцами ТФН;
5. Фиксация номера столбца, совпадающего с $e_?$ ($?=3$).





3-й учебный вопрос: **Прогнозирование технического состояния**

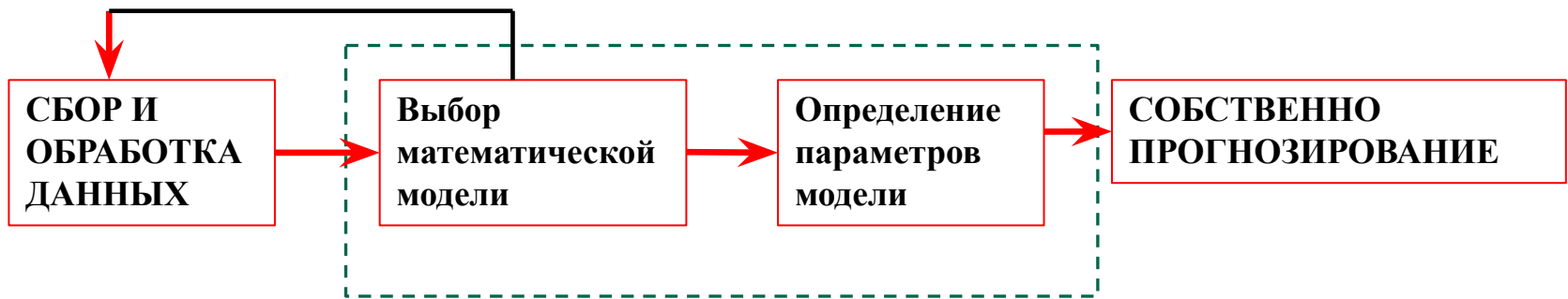


Прогнозировани е -

Процесс составления заключения о предстоящем развитии и (или) исходе при изменении ТС

ОСНОВНОЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ – поведение объекта в будущем определяется его прошлым

Структура процесса прогнозирования

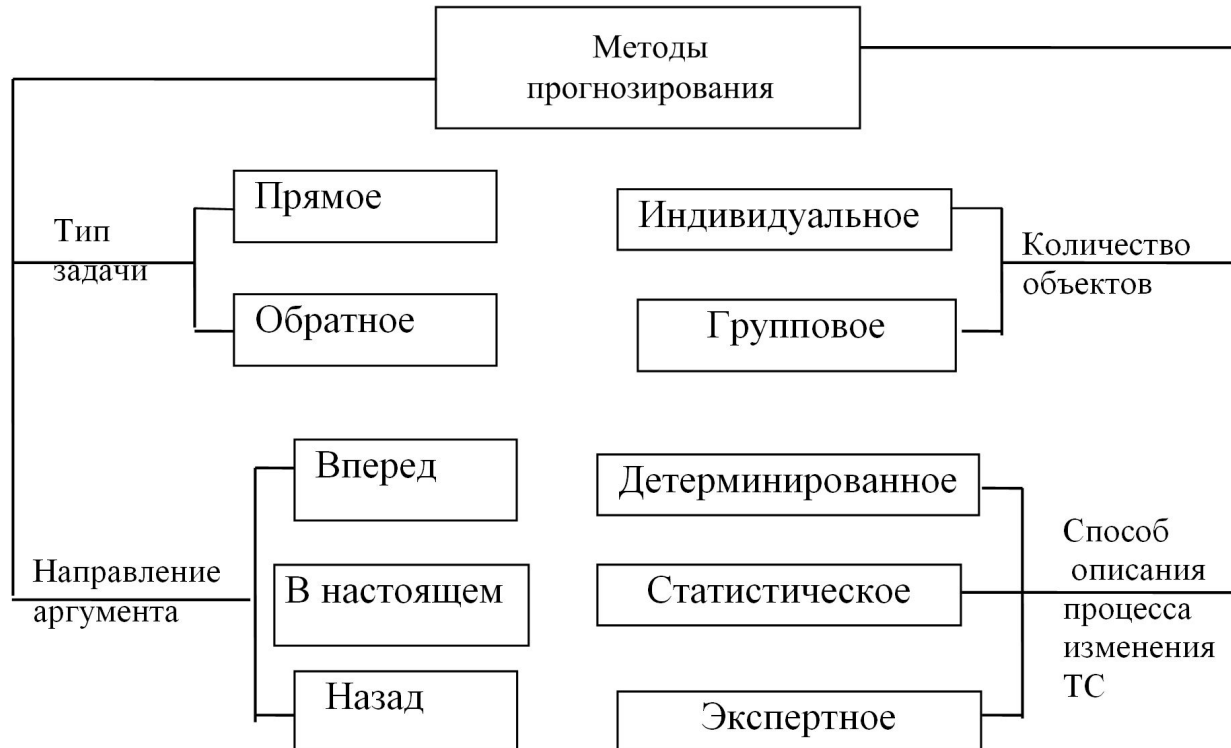


Показатели качества прогнозирования

Точность прогноза $\Delta(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - \hat{X}(t_0 + \theta)$

Достоверность прогноза $P\{X(t_0 + \theta) \in [\hat{a}, \hat{b}]\} = 1 - \alpha$

Классификация методов прогнозирования



Алгоритмы прогнозирования стационарных процессов

1. Прогнозирование по последнему отсчёту $X(t_0)$. (Экстраполяция нулевого порядка)

$$\text{ошибка прогноза} \quad \Delta(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - \hat{X}(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - X(t_0)$$

$$\text{средний квадрат ошибки} \quad \bar{\Delta}^2(\bullet) = M \left\{ \left[\overset{0}{X}(t_0 + \theta) - \overset{0}{X}(t_0) \right]^2 \right\} = \sigma_x^2 - 2R_x(\theta) + \sigma_x^2 = 2[\sigma_x^2 - R_x(\theta)]$$

2. Прогнозирование по математическому ожиданию

$$\text{ошибка прогноза} \quad \Delta(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - m_X$$

$$\text{средний квадрат ошибки} \quad \bar{\Delta}^2(\bullet) = M \left\{ \left[X(t_0 + \theta) - m_X \right]^2 \right\} = \sigma_X^2$$

3. Прогнозирование по условному математическому ожиданию

$$\text{ошибка прогноза} \quad \Delta(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - m_{y/x}$$

$$\text{средний квадрат ошибки} \quad \bar{\Delta}^2(\bullet) = M \left\{ \left[y - m_{y/x} \right]^2 \right\} = \sigma^2 [1 - \rho^2(\theta)]$$

Сравнение алгоритмов прогнозирования

