

## Лекция 3

# ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Результат диагностического обследования представляет собой условный образ объекта, точку в диагностическом пространстве, по местоположению и перемещению которой в этом пространстве судят о состоянии объекта и изменениях, происходящих в нем с течением времени.

*Диагностическое пространство* — это совокупность возможных значений измеряемых параметров, называемых также *диагностическими параметрами*.

Рассмотрим простой пример. Если определяют текущее состояние электрической аккумуляторной батареи посредством измерения ее э.д.с., диагностическим параметром является величина электрического напряжения  $E$  между ее выводами, а диагностическим пространством — непрерывное множество значений э.д.с. от нуля до напряжения на зажимах полностью заряженной качественной батареи  $E_{\max}$ . В этом случае число определяемых диагностических параметров равно единице, говорят об *однопараметрической диагностике* и об *однопараметрическом диагностическом пространстве*.

## Диагностические параметры и признаки

Определение состояния технических объектов проводится по результатам анализа диагностической информации — диагностических параметров и признаков, определяемых на этапе диагностического обследования.

*Диагностические параметры* — это параметры сигналов, регистрируемых контрольно-измерительной аппаратурой, или измеряемые физические характеристики процессов, протекающих в диагностируемом объекте, зависящие от того, в каком из возможных состояний находится объект, и меняющие свое значения при переходе его из одного состояния в другое. В качестве примеров можно назвать температуру теплоносителя, зависящую от энерговыделения и условий теплосъема с твэлов в активной зоне энергетического ядерного реактора, параметры спектральной плотности акустических шумов, сопровождающих работу насоса, меняющихся при отклонениях от нормального режима работы, концентрацию металлических частиц в масле, связанную с величиной износа двигателя внутреннего сгорания, и т. д. Если в процессе диагностики регистрируется набор диагностических параметров  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , то говорят о *диагностическом*

*пространстве*, координатами которого являются эти параметры, а состояние объекта характеризуется вектором диагностических параметров  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Пусть установлено, что при переходе объекта из одного состояния в другое с большой вероятностью наблюдаются некоторые явления или выполняются определенные условия. Например, происходит смена режимов течения жидкости от ламинарного к турбулентному, вскипание теплоносителя или диагностический параметр  $x_i$  принимает какое-то значение из диапазона  $x_{i0} < x_i < x_{i1}$ . В этом случае говорят о наличии *простого диагностического признака*  $k_i$ , представляющего некоторое утверждение относительно наблюдаемых явлений или формулировку условия.

Появление признаков указывает на изменение состояния диагностируемого объекта, поэтому они могут быть использованы для постановки диагноза. Если признак  $k_j$  наблюдается при диагностике, ему можно формально приписать некоторое значение, например  $k_{j1} = 1$ , а если отсутствует —  $k_{j2} = 0$ . Отсутствие признака  $k_j$  иногда в литературе обозначают как  $\bar{k}_j$ . Признак, который может принимать два значения или, как говорят, находится в двух состояниях, например, наблюдаться или не наблюдаться в процессе диагностики, называют *двухразрядным*. Если признак может находиться в трех состояниях, его называют *трехразрядным* и т. д. Например, температура теплоносителя на выходе активной зоны реактора  $T$  может быть пониженная  $T < T_1$ , допустимая  $T_1 < T < T_2$  и повышенная  $T > T_2$ . В этом случае можно ввести признак  $k_j$ , который находится в одном из трех состояний:  $k_{j1}$ ,  $k_{j2}$  и  $k_{j3}$ , в зависимости от того, в какой интервал попадает температура теплоносителя. Каждому состоянию признака можно формально приписать некоторое значение, например:  $k_{j1} = -1$ ,  $k_{j2} = 0$  и  $k_{j3} = 1$ .

Если для диагностируемого объекта удастся установить набор признаков  $\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ , то говорят, что объект характеризуется сложным или *комплексным признаком*  $\mathbf{k} = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ . В этом случае можно говорить о пространстве диагностических признаков. Таким образом, если, например, при диагностике объекта из набора двухразрядных признаков  $\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$  обнаружены все признаки кроме первого, то комплексный признак можно записать в виде  $\mathbf{k} = (\bar{k}_1, k_2, \dots, k_m)$  или  $\mathbf{k} = (0, 1, \dots, 1)$ .

Множество возможных значений параметра может быть отложено на оси, которая разделена на две части некоторой критической, граничной точкой  $E_0$ . Если  $E > E_0$ , батарею считают хорошо заряженной, то есть ее текущее состояние позволяет считать ее пригодной для дальнейшей эксплуатации. При  $E < E_0$  батарея либо требует подзарядки, либо вообще не пригодна для дальнейшего использования.

Неопределенность вывода — (то ли подзарядить, то ли заменить) побуждает к применению более сложного метода диагностики — дополнительному измерению внутреннего сопротивления батареи, которое определяют по косвенному признаку — напряжению на клеммах батареи, нагруженной на некоторое сопротивление. Количество определяемых параметров возрастает до двух — напряжение без нагрузки и напряжение под нагрузкой. Диагностика становится двухпараметрической. Теперь состояние батареи может быть отражено точкой на плоскости в координатах «напряжение без нагрузки — напряжение под нагрузкой». Вместо пограничной точки теперь должна строиться линия на плоскости, разделяющая состояния, при которых батарея требует замены, и состояния, при которых достаточно ее подзарядки.

Может быть проведена дополнительная диагностика, например повышением токовой нагрузки до некоторого заданного уровня. Диагностическое пространство станет трехмерным, разделяющая кривая превращается в разделяющую поверхность, диагностика становится трехпараметрической.

Очевидно, что число параметров может быть увеличено еще больше, диагностика становится более сложной, более трудоемкой, длительной и дорогой. Например, известно о существовании более 30 методов оценки остаточного энергоресурса химических источников тока. Разработана их классификация, которая учитывает прямые методы контроля энергоресурса по внутренним параметрам, и косвенные, пассивные и активные, причем активные реализуются на постоянном, импульсном и переменном токе. В частности учтено, что химические источники тока являются нелинейными и нестационарными динамическими системами.

Возможность геометрической интерпретации и наглядность результатов при большом числе диагностических параметров теряются. Поэтому выбор диагностических параметров и их числа является одной из важнейших задач проектирования системы диагностики.

Таким образом, диагностика состояния объекта сводится, по сути дела, к распознаванию образов (наборов данных). Образ в этом случае — выборка, набор разнородных данных, характеризующих некоторую рабочую точку объекта в

диагностическом пространстве. В зависимости от местоположения точки, характеризующей состояние объекта, принимается решение о состоянии объекта диагностики, а по характеру перемещения этой точки определяют вероятность того или иного сценария развития событий, связанных с последующей эксплуатацией объекта.

Граница области допустимых значений параметров носит название *предельного состояния*. Рабочая точка в многомерном пространстве данных перемещается и поскольку это перемещение в значительной мере случайно, она может с той или иной вероятностью выйти из области допустимых значений.

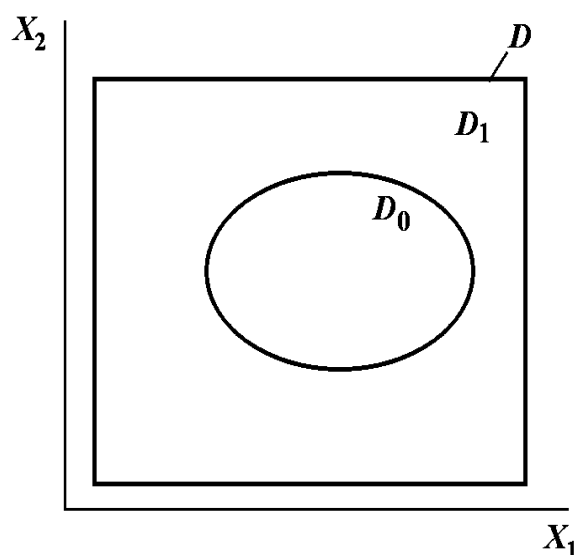
Главная трудность диагностики состоит в том же, в чем и любая задача распознавания образов: существует неопределенность выводов, есть доверительные коридоры, эти коридоры могут оказаться очень широкими, что является причиной недостаточной достоверности прогнозов. Поэтому в задачах прогнозирования, то есть предсказания будущего, следует рассмотреть некий подход, основанный не на простой констатации факта, что в данный момент объект находится в некотором состоянии, а применить методы, которые позволяют отследить и предсказать динамику изменения этого состояния в будущем. Точность прогноза зависит от его глубины, то есть длительности периода, на который распространяется прогноз. Ясно, что если измерения проведены на некотором интервале времени, прогноз на промежуток времени, далеко отстоящий от текущего момента, связан с риском возникновения больших ошибок прогноза.

Диагностика объектов как научно-техническая задача тесно смыкается с контролем качества. Многие задачи диагностики по методике измерений, подходу к обработке данных, выработке заключений, оценке риска, связанного с принятием этих заключений, решаются теми же методами, что и задачи обеспечения и контроля качества. С целью диагностики объектов методики и аппаратура контроля часто просто переносятся в полевые (цеховые) условия при укрупнении объектов такого контроля.

**Техническая диагностика базируется на методах, которые могут использовать различные физические принципы.** Каждый из методов используется для обнаружения определенных дефектов при соблюдении некоторых условий. Для решения наиболее сложных задач используют комплексы различных методов.

Знание природы, характера и причин возникновения дефектов необходимо для правильного выбора методов и средств диагностики и оптимизации их характеристик. Поэтому успешное применение диагностики возможно лишь при тесном сотрудничестве разработчиков аппаратуры с технологами, конструкторами и сотрудниками эксплуатационных служб.

Суть методологии технической диагностики можно пояснить на примере диаграммы, показанной на рис. ЛЗ.1 и отражающей характерную ситуацию при использовании двух диагностических параметров  $X_1$  и  $X_2$ . В этом случае существует пространство  $D$ , ограничиваемое диапазонами измерений параметров  $X_1$  и  $X_2$ , определяемых возможностями аппаратуры, измеряющей значения параметров. Обычно диапазон задается максимальным и минимальным значениями измеряемых величин, что нашло отражение на рис. ЛЗ.1 в виде выделенной прямоугольной области  $D$  возможных значений, получаемых в процессе наблюдений. Каждое наблюдение может быть отражено некоторой точкой  $X$  в этой области, описывающей состояние диагностируемого объекта.



**Рис. ЛЗ.1.** Геометрическая интерпретация результатов в случае двухпараметрической диагностики:

$D$  (прямоугольник) — интервал измеряемых аппаратурой значений;

$D_0$  — область допустимых значений изменения параметров;

$D_1$  (область между прямоугольником и эллипсом) — область постановки диагноза о неисправности объекта

Если точка  $X$  находится в области  $D_0$ , то, чем дальше эта точка расположена от границы области  $D_0$ , тем менее вероятно, что объект неисправен, то есть удаленность этой точки от границы допустимых состояний является показателем качества работы объекта. На основании тех или иных правил определения состояния объекта это множество разбивается на подмножества  $D_1$  (неисправен) и  $D_0$  — исправен. Множество  $D_1$ , в свою очередь, может состоять из подмножеств  $D_2$ ,  $D_3$  и т. д., которым соответствуют разные виды неисправностей.

Точка  $X$  характеризует состояние объекта в данный момент времени, то есть в статике. Указанная точка может быть получена посредством многократного получения данных на небольшом отрезке времени, тогда она представляет собой усредненное по выборке данных состояние, и выводы из полученных данных (выборки) могут быть сделаны на основе аппарата статистической теории принятия решений, который мы рассмотрим в нашем курсе.

Диагностические операции должны своевременно выявить перемещение рабочей точки в область, прилегающую к предельной кривой, и предотвратить выход этой точки за пределы, обозначенные этой кривой.