

## Лекция 1

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

### Цели и задачи технической диагностики

По данным МАГАТЭ в настоящее время в ведущих промышленно развитых странах мира существенная доля электроэнергии вырабатывается на атомных электростанциях: во Франции — более 75 %, Бельгии — около 60 %, Швейцарии — более 35 %, Японии — около 35 %, Великобритании — более 20 %, США — около 20 %, России — около 15 %. Приведенные сведения свидетельствуют о высокой экономической и социальной значимости этой отрасли в мире. Объекты атомной энергетики относятся к потенциально опасным техническим системам. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования надежности и безопасности эксплуатации. Более того, от безопасной эксплуатации АЭС зависят не только перспективы развития атомной энергетики, но и существование самой отрасли.

Техническая безопасность ядерных энергетических установок обеспечивается комплексом технико-организационных мероприятий, среди которых особая роль отводится их диагностическому обслуживанию. Четкая организация работ по диагностике и профилактике оборудования АЭС позволяет избежать аварийных ситуаций на станциях. Отметим, что отечественная история диагностики в атомной энергетике насчитывает уже более пятидесяти лет, начиная с первых работ, выполненных под руководством основателей этой отрасли — И. В. Курчатова и А.П. Александрова.

Российское законодательство в области промышленной безопасности в качестве приоритетов декларирует обеспечение безопасной эксплуатации потенциально опасных производственных объектов и снижение их техногенного воздействия на окружающую среду. Безусловное выполнение этих требований — основа Государственных программ Российской Федерации по развитию атомной энергетики. Помимо бесперебойного снабжения потребителей электрической и тепловой энергией, первоочередными задачами этих программ являются:

- разработка и проведение инженерно-организационных мероприятий по снижению риска аварий с тяжелыми экологическими и экономическими последствиями;
- создание на объектах атомной энергетики современных систем диагностического обслуживания;

- анализ и управление риском, связанным с воздействием ядерных энергетических установок на население, обслуживающий персонал и окружающую среду.

**Экономическое значение диагностики** можно пояснить исходя из того, что существуют **три типа срока службы** ответственных объектов:

- *экономически обоснованный*, определяемый конкурентоспособностью и экономической целесообразностью;
- *проектный*, определяемый техническим заданием;
- *лицензионный*, назначаемый надзорными органами.

При определении проектного срока службы ответственных и потенциально опасных объектов (трубопроводов, ядерных реакторов, объектов нефтехимического и газового комплекса и др.) исходят из оценок срока безопасной эксплуатации по пессимистическим и оптимистическим сценариям (моделям) накопления повреждений. Эти оценки могут различаться в десять и более раз, особенно там, где сроки эксплуатации составляют десятки лет. Это происходит из-за того, что в проекты закладываются предельные, а не реальные характеристики объектов. Поэтому часто объект может эксплуатироваться даже после исчерпания проектного срока службы. В связи с этим разрабатываются программы продления срока службы крупных технических объектов за счет внедрения современных средств диагностики. Эти средства должны своевременно предупреждать о приближении объекта к критическому состоянию.

Слово *диагностика* образовано от греческого «*диагнозис*» — распознавание, определение. *Техническая диагностика* означает распознавание состояния технических объектов и систем, как правило, в процессе их функционирования. Под термином *техническая диагностика* также понимают отрасль научно-технических знаний, сущность которой составляют теория, методы и средства обнаружения и поиска дефектов объектов технической природы.

**Основное назначение технической диагностики (ТД)** — повышение надежности и безопасности технических объектов на этапе их эксплуатации, а также предотвращения брака на этапе изготовления объектов.

**Основная задача ТД** — распознавание состояния технических систем в условиях ограниченной информации в процессе эксплуатации системы.

Различают следующие **технические состояния** технических систем (ТС):

- исправное техническое состояние;

- работоспособное техническое состояние;
- неработоспособное техническое состояние.

1. Объект, удовлетворяющий всем требованиям нормативно-технической документации, является *исправным* или, говорят, что он находится в *исправном техническом состоянии*.

2. Объект находится в *работоспособном техническом состоянии*, если он может выполнять все заданные ему функции с сохранением значений заданных параметров в требуемых пределах.

3. *Неисправное (неработоспособное) техническое состояние*, а также *состояние неправильно функционирования* объекта — невыполнение объектом своего функционального назначения.

Таким образом, ТД предназначена для

- проверки исправности, работоспособности и правильности функционирования технических объектов (ТО);
- поиска дефектов, нарушающих исправность, работоспособность и правильность функционирования ТО.

Постановка перечисленных задач предполагает

- задание класса (группы) возможных (наиболее вероятных) дефектов;
- наличие методов построения алгоритмов диагностирования, реализация которых обеспечит обнаружение дефектов из заданного класса (группы).

Техническая диагностика занимается определением и изучением параметров и признаков, характеризующих отказы оборудования, наличие дефектов в технических объектах, оценкой их состояния и предсказанием возможных отклонений в режимах работы, а также разработкой методов и средств обнаружения и локализации дефектов (отказов) в технических системах.

Обобщая, можно сказать, что техническая диагностика есть отрасль знаний, включающая в себя теорию и методы распознавания технических состояний машин и механизмов по исходной информации, содержащейся в диагностическом сигнале. Под сигналами будем понимать переменные во времени физические величины, характеризующие состояние объекта.

По фактическим характеристикам объекта можно судить о его состоянии, в частности о предельном (аварийном) состоянии. Постановка диагноза сводится к выделению из множества возможных состояний одного, наиболее вероятного. Определив состояния объекта

в данный и предыдущие моменты, можно своевременно прекратить эксплуатацию объекта и отремонтировать его. В результате значение контролируемого параметра удалится от предельного, появляется добавочное, сверхресурсное время эксплуатации объекта.

Для диагностирования ТО могут применяться следующие *средства диагностирования*:

- аппаратные;
- программные;
- в качестве средств диагностирования может выступать человек-оператор, контролер или наладчик.

Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой, составляют *систему диагностирования*.

Различают системы:

- тестового диагностирования;
- функционального диагностирования.

В системах *тестового* диагностирования на ТО подаются в определенном порядке специальные *тестовые воздействия (сигналы)* и определение состояния объекта на основе его отклика на указанные сигналы. В системах *функционального* диагностирования ТО подвергается рабочему воздействию, которое предусмотрено его алгоритмом функционирования. Типичный пример — вибродиагностика, когда сигналы порождаются естественной вибрацией объекта при его эксплуатации. В системах обоих видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы (параметры) ТО и выдают результат диагностирования, то есть определяют — объект исправен или неисправен.

*Алгоритм диагностирования* (последовательность операций), как правило, состоит из совокупности, так называемых, *элементарных проверок* объекта, а также правил анализа результатов проверок.

## **Три типа задач определения технического состояния объектов**

При определении приходится сталкиваться с тремя типами задач:

1. Первый тип — определение технического состояния, в котором находится объект в настоящий момент времени. Это — задача *диагностирования*.

2. Второй тип — предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени. Это — задача *прогнозирования*.

3. Третий тип — определение технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом. Это — задача *гене́за*, (греческое «генезис» означает происхождение).

Задачи 1-го типа относятся к области технической диагностики, 2-го типа — к техническому прогнозированию, 3-го типа — к технической *генетики*.

К задачам технической прогностики относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначением периодичности его профилактических проверок и ремонтов. При этом определяются вероятные состояния объектов в будущие моменты времени. Как правило, прогнозированию предшествует диагностирование, поскольку нельзя определить состояние объекта в будущем, если неизвестно его текущее состояние.

Задачи технической генетики возникают, например, при расследовании аварий и их причин. Очевидно, что в этом случае, в рассматриваемый момент времени, в результате аварии техническое состояние ТО может существенно отличаться от состояния, в котором он находился в прошлом.

## **Техническая диагностика и неразрушающий контроль**

С понятием техническая диагностика тесно связано понятие *неразрушающий контроль*, под которым понимают совокупность методов и средств для обнаружения нарушений сплошности и однородности макроструктуры материалов и изделий, отклонений химического состава и свойств материалов, определения размеров изделий, причем указанные операции проводятся без нарушения целостности и потребительских качеств контролируемого объекта.

Основными преимуществами неразрушающего контроля являются:

- возможность 100%-го контроля качества изделий;
- возможность проведения эксплуатационного контроля;
- возможность проведения испытаний одного и того же изделия несколькими методами;
- возможность повторного контроля изделия по прошествии некоторого определенного времени;
- сохранение дорогостоящих деталей и изделий.

Разумеется, неразрушающий контроль не лишен недостатков. К ним относят следующие:

- результаты испытаний, как правило, носят вероятностный или качественный характер;
- неоднозначность заключения о годности объекта и ресурсе его работы.

Технические средства неразрушающего контроля подразделяются на четыре вида:

- средства для выявления дефектов и нарушения сплошности материала;
- средства для контроля геометрических размеров объекта;
- средства, используемые для оценки физических и физико-механических свойств материала и химического состава;
- средства технической диагностики для обнаружения дефектов или отклонений в состоянии эксплуатируемой технической системы.

В соответствии с данной классификацией различают следующие задачи контроля объектов и материалов:

- *дефектоскопия* — обнаружение нарушений сплошностей макроструктуры объектов и отклонений от химического состава;
- *толщинометрия* — контроль и определение размеров изделий;
- *структуроскопия* — контроль химического состава и структуры материалов;
- *техническая диагностика* текущего состояния и служебных свойств.

В индустриальной сфере сравнительно часто приходится решать задачи дефектоскопии, которые независимо от используемого метода контроля включают следующие этапы:

- обнаружение дефектов в конструкциях и изделиях;
- классификация или определение типа дефектов — трещина, раковина, включение и т. п.;
- определение координат и размеров, обнаруженных дефектов;
- оценка их степени опасности.

В инженерной практике под термином *дефект* понимают отклонение от нормального, предусмотренного заданными техническими условиями качества, ухудшающее рабочие или технические характеристики изделия.

**Обнаружение дефекта** — установление факта его наличия в техническом объекте.

**Поиск дефекта** — указание с определенной точностью факта его местоположения в техническом объекте.

Различают следующие виды дефектов:

- производственно-технологические;

— эксплуатационные.

По происхождению различают:

- дефекты изготовления материалов: трещины, раковины, ликвация и др.;
- дефекты обработки материалов, возникающие, например, при прокатке: расслоения, изменение структуры зерна, текстура;
- дефекты, появляющиеся при обработке и изготовлении деталей, например, закалке, шлифовке, — закалочные трещины;
- дефекты соединения деталей, например, при сварке — раковины, трещины, шлаковые включения и др.;
- дефекты, возникающие при эксплуатации конструкции, — усталостные трещины, коррозия, коррозия под напряжением.

Возможность выявления дефектов характеризуется *предельной чувствительностью или порогом чувствительности*, под которой подразумевается минимальный размер дефекта, который может быть обнаружен с помощью данного метода или средства контроля.

Успех диагностики ТО в значительной мере зависит от *контролепригодности* объектов, под которой понимается свойство конструкции объекта, которая обеспечивает возможность его эффективного контроля и поиска неисправностей. Возможность и удобство диагностического обслуживания и обнаружения неисправностей необходимо предусмотреть еще на этапе проектирования ТО. В то же время завышенные требования к контролепригодности усложняют процесс проектирования, конструкцию систем и может привести к большим дополнительным затратам. Поэтому в этом вопросе необходимо придерживаться «золотой середины».

Задачей технического диагностирования является оценка фактического состояния технического объекта. Для этого априорно задается множество возможных состояний объекта и в результате обработки диагностической информации из этого множества определяется наиболее вероятное состояние. Множество возможных состояний в простейшем случае может включать лишь два состояния объекта — исправное и неисправное, а процесс определения, в каком из них находится объект, называется *дихотомией*.

Диагностика в значительной степени базируется на теории распознавания образов, характеризующейся эвристическим подходом, то есть методом проб и ошибок, наводящих вопросов при изучении объектов. Простейший образ — выборка данных; простейшая задача диагностики: нужно определить, относятся ли две выборки к одному классу или нет. Даже в

такой, простейшей постановке принятие решения связано с возможностью ошибок, являющихся следствием малого, как правило, недостаточного объема выборок. Статистические выводы тем более размыты, чем меньше размер выборок и тем меньшая возможность принять определенное решение. Такая ситуация типична из-за высокой стоимости получения информации и накопления опыта на реальных объектах. Понадобилась Чернобыльская авария, чтобы существенно скорректировать оценки рисков в атомной энергетике.

В качестве составляющих научной базы диагностики применяют теорию информации, теорию передачи и преобразования сигналов, математическую статистику, теорию распознавания образов, теорию колебаний, электронику, вычислительную технику и другие смежные дисциплины.

Диагностика быстропротекающих процессов (разрушение конструкций, горение, взрыв) является наиболее актуальной, сложной и ответственной областью диагностики. Особенностью такой диагностики является необходимость оперативной регистрации и анализа существенно нестационарных процессов. Обычно в процессе диагностики возможно получение случайной выборки набора параметров, характеризующей статический «портрет» объекта. Наблюдение за состоянием объекта и его изменениями может проводиться на основе статистического анализа последовательности подобных портретов. При диагностике быстропротекающих процессов необходим анализ нестационарных случайных процессов — упорядоченных во времени множеств случайных величин. Существенно усложняются как измерительная аппаратура, так и методы обработки информации.

Проблемами технической диагностики и неразрушающего контроля оборудования и трубопроводов АЭС занимаются во всех странах, развивающих национальные программы по атомной энергетике. Диагностическое обслуживание объектов атомной промышленности, как составная часть системы предотвращения аварий, также нуждается в подготовленных специалистах. Такие специалисты должны владеть

- процедурами диагностического обследования с применением различных методов и средств неразрушающего контроля;
- методиками анализа причин и последствий аварий и отказов, в том числе идентификации результатов разрушений и поломок;
- методами расчетно-экспериментального прогнозирования долговечности и оценки безопасных сроков службы элементов конструкций АЭС, если по



результатам обследования известно их состояние и условия будущей эксплуатации.