

Лекция 2

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Говоря о надежности технических систем и ЯЭУ в частности, необходимо дать определение этому понятию.

Надежность – комплексное свойство технического объекта (прибора, устройства, машины, системы), состоящее в его способности выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики при определенных условиях эксплуатации, в установленных пределах.

Надежность охватывает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Надежность характеризуется:

- вероятностью безотказной работы;
- наработкой на отказ;
- техническим ресурсом;
- срок службы;
- и рядом других показателей.

Важнейшие этапы процедуры нормирования надежности:

1. Определение перечня компонентов объекта (зданий, сооружений, оборудования, систем и элементов) для нормирования их надежности;
2. Задание желаемых требований по надежности (стандартных, специальных) к каждому из компонентов перечня;
3. Сбор и анализ информации о режимах и условиях эксплуатации, условиях окружающей среды и о других факторах, влияющих на надежность создаваемого объекта.
4. Анализ конструктивно-силовой, кинематической, электрической и т. п. схем создаваемого объекта;
5. Выявление возможных типов дефектов, повреждений, отказов и предельных состояний, анализ структурных и функциональных связей между ними;
6. Установление критериев и классификация отказов и предельных состояний по последствиям, характеру появления и другим признакам.

Надежность обеспечивается, прежде всего:

1. Высоким качеством проектных решений и конструкторских разработок.

2. Правильной эксплуатацией технического объекта.

3. Качеством материала, бездефектностью конструктивных элементов технических систем.

В нашем курсе мы рассмотрим вопросы обеспечения бездефектности конструктивных элементов, то есть п.3.

В последнее время общепризнанной становится точка зрения, что любая техническая система, сколь ни была она совершенна, содержит дефекты - неоднородности материала в виде трещин, раковин, включений и т.п.

История развития и эксплуатации технических систем свидетельствует, что конструкции обычно выходят из строя в результате:

- разрушения;
- усталостных повреждений;
- износа материала;
- коррозии;
- деградации свойств материала.

Основные виды дефектов в технических объектах

Первопричиной этих повреждений являются, как правило, дефекты, которые или находились в исходном материале, или были привнесены в результате технологической обработки и сборки конструкций (сварке), или же возникшие в процессе эксплуатации. Введем некоторые понятия, с которыми в дальнейшем придется весьма часто сталкиваться.

Дефект – отклонение от нормального, предусмотренного техническими условиями, качества, которые ухудшают рабочие характеристики изделия.

Виды дефектов:

1. Производственно-технические.
2. Эксплуатационные.

По **происхождению** дефекты можно подразделить на:

1. Дефекты *изготовления* материала: трещины, раковины, включения, ликвации, рыхлости и т.д. при плавке, разливке.

2. Дефекты *обработки* материала: при прокатке, обработке давлением: внутренние и поверхностные трещины, расслоения, рубцы и т.п.

3. Дефекты *изготовления* деталей: закалочные и шлифовальные трещины, риски, внутренние напряжения.

4. Дефекты *соединения* деталей: при сварке: непровары, трещины, поры, внутренние напряжения.

5. Дефекты, *возникающие при эксплуатации* конструкций: Усталостные и коррозионные трещины, деформация, точечная коррозия и т.д.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для безопасной эксплуатации технических объектов необходимо:

- *обнаружить* существующие дефекты;
- *классифицировать* обнаруженный дефект, то есть определить, к какому типу он принадлежит – трещина, пора, раковина и т.д.;
- *определить их местоположение* и оценить размеры;
- *оценить потенциальную опасность* существующего дефекта.

Если обнаруженный дефект по существующим нормам относится к категории допустимых, следует установить закономерности его роста и следить за его развитием. Это позволит своевременно принять оптимальное решение о прекращении эксплуатации технической системы, проведение ремонтных работ и исключить катастрофическое разрушение.

Одним из важных средств обеспечения надежности и безопасности технических объектов является *дефектоскопия* или *неразрушающий контроль (НК)* и *техническая диагностика (ТД)*.

Неразрушающий контроль — определение показателей качества изделий и материалов без изменения присущих им свойств, параметров, характеристик с целью исключить (выбраковать) на стадии изготовления потенциально ненадежные изделия (некачественные материалы) со «скрытыми» дефектами. Осуществляется посредством воздействия на исследуемый объект различных излучений (например, электромагнитного, инфракрасного, рентгеновского), полей (например, ультразвукового, магнитного, электростатического) или веществ (например, лакмуса).

Дефектоскопия – совокупность неразрушающих методов контроля материалов и изделий, применяемых для обнаружения нарушений сплошности и однородности макроструктуры объектов, отклонений химического состава, размеров и других целей.

Дефектоскопия или неразрушающий контроль (НК) служит для выявления дефектов в объеме и на поверхности конструктивных элементов, полуфабрикатов, эксплуатируемых технических системах. Любой известный закон природы может служить основой для созда-

ния методов и средств НК, если он обеспечивает получение надежных данных, связанных с основными характеристиками материала, несплошностями и эксплуатационными характеристиками технической системы.

Таким образом, к неразрушающим методам контроля относятся все методы обнаружения или измерения основных свойств или рабочих характеристик материалов, деталей, узлов конструкций с помощью испытаний, которые не уменьшают их пригодности к применению.

Современные средства дефектоскопии, использующие для сбора, обработки и отображения информации ЭВМ, становятся неотъемлемой частью производственных процессов, встраиваются в технологические линии, осуществляют контроль качества продукции и автоматическую корректировку технологического процесса. Методы НК используются в различных отраслях промышленности для обеспечения высокого качества продукции, см. табл. 1.1, причем чем высокотехнологичнее продукция, тем, как правило, выше затраты на контроль.

Таблица 1.1. Затраты на НК в различных отраслях промышленности в процентах от стоимости выпускаемой продукции в США и СССР (данные на начало 90-х годов прошлого столетия)

Промышленность	США	СССР
Атомная	18	5
Космическая	20	10
Судостроение	5	2
Трубопроводный транспорт	10	3
Строительство	1,5	0,1
В других областях	превышение в 10-80 раз	

Связанное в полной мере относится к атомной энергетике. Затраты на дефектоскопию составляют около 20% стоимости ядерной установки. Например, затраты на контроль качества изготовления твэла составляют 20...30% его стоимости.

Техническая диагностика – определение и изучение признаков, характеризующих наличие дефектов в технических объектах, для предсказания возможных отклонений в режимах работы (или состояниях), а также разработка методов и средств обнаружения и локализации дефектов в технических системах.

Техническая диагностика – оценка с заданной степенью вероятности состояния объекта по основным признакам, характеризующим возможность его функционирования.

Цель технической диагностики — повышение надежности и ресурса технических систем.

Основная ее задача технической диагностики – распознавание (оценка) состояния технических систем в условиях ограниченной информации.

Экономическая значимость диагностических мероприятий достигает 20-25% стоимости диагностируемого оборудования за счет сокращения числа аварий и увеличение реального ресурса объектов. Применение методов регулярной диагностики снижает расход запасных частей и стоимость текущего ремонта примерно в 5 раз, благодаря более точному знанию объекта и увеличению межремонтного периода.

Разработка диагностической системы объекта, как правило, включает в себя решение ряда взаимосвязанных задач:

- 1) изучение объекта с целью определения общего подхода к его диагностированию;
- 2) выбор методов и средств измерения диагностических параметров;
- 3) выбор и оптимизацию систем диагностических признаков;
- 4) выработку алгоритмов распознавания состояния объектов и критериев для принятия решений об отнесении объекта к тому или иному классу состояний;
- 5) оценку рисков, связанных с принятием ошибочных решений;
- 6) разработку датчиков и узлов обработки и регистрации измерительной информации.

Процесс диагностирования включает в себя три этапа:

- измерение;
- анализ;
- принятие решения.

Для выполнения этих этапов необходимо: выбрать адекватные модели исправного состояния элементов технического объекта, аварийных состояний контролируемых параметров, распознавания аварийных ситуаций, прогнозирования текущих и аварийных состояний, технически реализовать системы автоматического контроля, защиты и регулирования функциональных элементов технического объекта.

Задачи технической диагностики решаются для определения долговечности работы технических объектов, расчетов оптимальных сроков их технического обслуживания и ремонтов и т. д.

Современные системы ТД - нервная система современных сложных технических объектов. Практически каждый узел и конструктивный элемент ядерного реактора подвергается неразрушающему контролю одним или несколькими методами.

**Таблица 1.2. Конструктивные элементы и оборудование ЯЭУ, подвер-
гаемое неразрушающему контролю и технической диагностике**

ТД	НК
1. Активная зона ВВЭР, БН-600, БОР-60	1. Корпус ВВЭР
2. Парогенераторы, ВВ, Na-H ₂ O	2. Технологический контроль РБМК
3. ГЦН	3. Аустенитные сварные швы
4. Подшипники качения	4. Биметаллические трубопроводы и сосуды давления
5. Органы СУЗ	5. Сварка ГЦК Ду 2850
6. Двухфазные потоки	6. Плакировочный слой биметаллических труб
	7. УЗД корпуса при эксплуатации
	8. Звуковидение в Na (БОР-60)
	9. Твэлы в бассейне выдержки
	10. Анализ газа
	11. Графитовые блоки РБМК

При технической диагностике и эксплуатационном контроле изучение эволюции дефектов в корпусах реактора, парогенераторах, насосах и т.д. существенно повышает их эксплуатационную надежность, увеличивает ресурс работы, что дает значительный экономический эффект. Разумеется, желательно, чтобы контроль был неразрушающим, а эксплуатационный контроль обязательно должен быть НК.

Преимущества и недостатки неразрушающего контроля

Преимущество НК:

1. Возможность стопроцентного контроля всех изделий;
2. Возможность эксплуатационного контроля;
3. Возможность проведения испытаний несколькими методами НК;
4. Возможность повторного контроля после определенного срока эксплуатации;
5. Сохранение после контроля дорогостоящих узлов и деталей;
6. Минимальная обработка, а чаще всего отсутствие, детали для подготовки к НК.

Недостатки НК:

1. Результаты испытаний носят, как правило, качественный характер, что влечет за собой неоднозначность заключения о годности контролируемого объекта и ресурса его работы;
2. Не стопроцентной гарантии качества или достоверности информации.

Для повышения достоверности НК контроль одних и тех же ответственных и дорогостоящих изделий и узлов проводят несколькими независимыми методами – *комплексный* контроль и *многопараметровый* контроль.

Существующие средства НК в зависимости от вида контролируемых параметров подразделяются на 4 типа:

- для *выявления дефектов* типа нарушения сплошности материалов – трещины, раковины, расслоение;
- для *контроля геометрических параметров* изделий;
- для *оценки физических и физико-химических свойств и состава* материала изделий; контролируются свойства - электрические, магнитные, структурные, твердость, отклонение от химсостава, содержание примесей и т.п.;
- для *технической диагностики* – обнаружение дефектов или отклонений в процессе эксплуатации технического объекта.

Таким образом, неразрушающий контроль решает *следующие задачи*:

- дефектоскопии;
- толщинометрии;
- структуроскопии;
- технической диагностики.

Краткая сравнительная характеристика существующих методов НК

Краткая сравнительная характеристика существующих методов НК приведена в табл. 1.3. В которой указаны физическая сущность методов и некоторые основные их особенности.

Таблица 1.3. Сравнительные характеристики основных методов НК

Метод	Физические основы метода	Контролируемые дефекты, свойства	Предельная чувствительность	Область применения, аппарата, особенности
1. Оптический	Основан на регистрации света, отраженного от поверхности контролируемого объекта. Различное отражение от неоднородностей поверхности тел.	Поверхностные дефекты: трещины, раковины, включения и др.	Визуально: трещины с раскрытием более 0,1 мм; с помощью оптических устройств: трещины с раскрытием более 0,01 мм и протяженностью более 0,1 мм.	Контроль внешнего вида изделия. Лупы, перископы, микроскопы, телевизионные системы.
2. Акустический: а) ультразвуковые; б) акустико-эмиссионный.	а) — регистрация параметров упругих колебаний, возбуждаемых в контролируемом изделии. б) — регистрация упругих волн в твердых телах, возникающих при их деформировании и разрушении.	Внутренние и поверхностные дефекты, расслоения; размеры изделий, физико-механические свойства, химический состав.	Трещины с раскрытием $10^{-3} \dots 10^{-2}$ мм и глубиной 0,1 ... 0,3 мм. Эффективная площадь дефекта не менее 0,5 мм ² .	Контроль изделий из металла, керамики, полимеров, композитов. Специализированная и стандартная аппаратура.
3. Электромагнитные (метод вихревых токов) и электрические	Регистрация изменений магнитного поля, вносимых вихревыми токами, создаваемых в изделии индукционной катушкой.	Открытые и закрытые поверхностные и подповерхностные дефекты, отклонение химического состава, электропроводность, магнитные свойства.	Трещины: с раскрытием $5 \times 10^{-4} \dots 10^{-3}$ мм, глубиной 0,15 .. 0,2 мм, протяженностью - 0,6 .. 2 мм.	Контроль изделий из электропроводных материалов. Возможность легкой автоматизации.
4. Радиационные: — рентгеновский контроль; — γ -контроль; — β -дефектоскопия; — нейтронография.	Регистрация изменений интенсивности ионизирующего излучения, прошедшего через изделие. Используются рентгеновское, гамма-, бета- и нейтронное излучения. В зависимости от способа регистрации излучения различают: 1. Радиографический - фиксация на бумаге, пленке; 2. Радиоскопический - изображение на экране трубки; 3. Радиометрический - регистрация электрических сигналов.	Внутренние дефекты.	Параметры дефекта: глубина залегания — 1,5 .. 6% от толщины, ширина дефекта — 0,1 мм.	Сложная, громозкая и дорогостоящая аппаратура, требующая защиты от излучения; источники γ , β и нейтронного излучения.

Таблица. (Продолжение)

Метод	Физические основы метода	Контролируемые дефекты, свойства	Предельная чувствительность	Область применения, аппарата, особенности
5. Тепловой	Регистрация искажения тепловых полей в изделии, создаваемых источниками тепла при наличии дефектов.	Нарушение сплошности, химический состав, распределение температуры по объекту контроля.	Перепад температуры — 0,1..0,2 К.	Контроль радиоэлектронной аппаратуры, несплошности в материалах, сотовых конструкциях. Аппаратура: термоиндикаторы на жидких кристаллах, тепловизоры, телевизионные системы, термометры.
6. Магнитные: а) магнитно-порошковый; б) феррозондовый; в) магнитнолюминесцентный; г) магнитографический.	Регистрация магнитных полей рассеяния дефектов или магнитных свойств объекта контроля: а) — притяжение частиц намагничивающегося порошка к местам расположения дефектов; б) — регистрация потока рассеяния с помощью катушки (зонда); в) — регистрация свечения частиц магнитного порошка при освещении ультрафиолетом; г) — запись магнитного поля на магнитном носителе (ленте и др.)	а), в) — поверхностные и подповерхностные дефекты: трещины, волосовины на глубине 2,5..3 мм; б) — дефекты на глубине до 30 мм; в) — трещины, непровары, включения.	а), б) — трещины с раскрытием 10^{-3} мм и протяженностью 0,3 мм; в) — трещины с раскрытием $(1..5) \times 10^{-4}$ мм и глубиной $(1..3) \times 10^{-2}$ мм, г) — трещины размером более 10% от толщины изделия.	Контроль изделий из ферромагнитных материалов. Специализированная аппаратура.
7. Капиллярные: а) цветной капиллярный; б) люминесцентно-капиллярный.	Основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полость поверхностных дефектов и регистрации индикаторного рисунка: а) — наносится адсорбент, дающий индикаторные следы при окрашивании его жидкостью; б) — люминесценция жидкости в трещинах при освещении.	Поверхностные трещины, поры, коррозионные поражения.	Трещины с раскрытием $(1..2) \times 10^{-3}$ мм и протяженностью 0,1..0,3 мм.	Контроль изделий из магнитных и немагнитных материалов. Токсичность реактивов, применение УФ—излучения. Необходимость защиты персонала.

Таблица. (Окончание)

Метод	Физические основы метода	Контролируемые дефекты, свойства	Предельная чувствительность	Область применения, аппарата, особенности
8. Электрические: а) — метод электросопротивления; б) — термоэлектрический.	Основан на регистрации электростатических полей и электрических параметров контролируемых объектов: сопротивление, емкость, тангенс угла потерь $\text{tg } \delta$, диэлектрическая проницаемость и др.).	Трещины, расслоения, раковины. Контроль толщины покрытий, влажность сред и т.п.	В существенной мере зависит от материала и условий испытаний.	Электроизмерительная стандартная и специальная аппаратура.
9. Контроль течеисканием	Регистрация индикаторных жидкостей или газов, проникающих через сквозные дефекты контролируемого объекта, с помощью течеискателя.	Сквозные дефекты.		Контроль замкнутых объемов, герметичных сосудов. Аппаратура: течеискатель.
10. Радиоволновой а) — СВЧ–метод; б) — микроволновой метод.	Регистрация характеристик радиоволнового излучения (амплитуда, фаза, частота и др.), создаваемого электронными СВЧ–приборами (клизотронами, магнетронами, лампами бегущей и обратной волны).	Дефекты: включения, трещины, раковины. Физические свойства объектов главным образом из диэлектрических материалов, например, стеклопластиков, полимеров. Контроль толщины тонких металлических изделий (лент, пластин и т.п.).	Расслоение площадью $1,5 \text{ мм}^2$ при раскрытии $0,1 \text{ мм}$.	Используется диапазон электромагнитных волн $1..25 \text{ Гц}$. Контроль непроводящих материалов. Требуется защита персонала от СВЧ–излучения.