

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, ИМЕЮЩИЕСЯ НА ОСНАЩЕНИИ АТЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ, ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А. М. Курьянов, М. И. Меньшенин, Д. И. Полев, кандидат технич. наук

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров

С целью принятия правильных решений по обращению с объектами, подвергшимся аварийным воздействиям, их последующему обезвреживанию, а также по защите персонала, участвующего в ликвидации последствий аварии, в первую очередь необходимо оценить их состояние. Одним из способов оценки состояния аварийных объектов является их диагностирование.

Для диагностирования поврежденных объектов используются следующие методы неразрушающего контроля: радиационный, визуально-оптический и тепловой.

1. Радиационный метод неразрушающего контроля

Радиационный метод диагностики состояния конструкции технических объектов, основан на свойстве материалов неодинаково ослаблять (поглощать и рассеивать) ионизирующее излучение. При этом степень ослабления зависит как от толщины и плотности материала, так и от энергии излучения. Регистрируя тем или иным способом уровни излучения, прошедшие через контролируемый объект, можно получить информацию о его внутреннем строении [1].

Система радиационного контроля состоит из четырех основных элементов (рис. 1): источника излучения, объекта контроля, детектора излучения, средства расшифровки и оценки результатов контроля.

Для проведения диагностики радиационным методом в АТЦ используются следующие установки:

1) импульсный рентгеновский аппарат, входящий в состав портативного рентгено-

телевизионного комплекса «Шмель-240ТВ»;

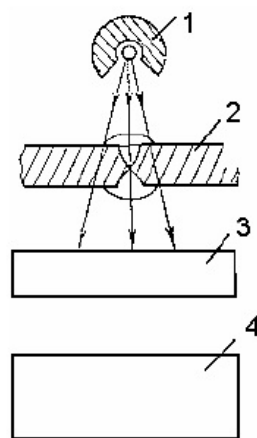


Рис. 1. Система радиационного контроля:

1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – детектор излучения; 4 – средства расшифровки и оценки результатов контроля

2) переносной рентгеновский аппарат с постоянным напряжением на аноде рентгеновской трубки «РПД-150С»;

3) переносной рентгеновский аппарат для промышленной дефектоскопии с постоянным напряжением на аноде рентгеновской трубки «РПД-250С»;

4) малогабаритный импульсный бетатрон МИБ-7,5.

Импульсный рентгеновский аппарат «Шмель-240» (рис. 2) используется в составе рентгенотелевизионного комплекса досмотрового класса, при этом управление экспозицией и параметрами аппарата происходит в автоматическом режиме с пульта управления комплекса. Применение аппарата оправдано в ситуациях, когда организовать достаточно большую охраняемую зону затруднительно.



Рис. 2. Рентгентелевизионная система – «Шмель-240ТВ»

В случае, когда нет особых ограничений по организации охраняемой зоны, при малых толщинах исследуемых объектов целесообразно использовать сверхлегкий малогабаритный аппарат постоянного потенциала «РПД-150С» (рис. 3).



Рис. 3. Комплект рентгеновского аппарата постоянного потенциала «РПД-150С»

При необходимости просвечивать конструкции с толщиной более 40 мм по стали, следует использовать значительно более мощный аппарат «РПД-250С» (рис. 4).

Рентгенографирование крупногабаритных конструкций, (что предопределяет большие фокусные расстояния), либо содержащих массивные детали из материалов с высокой плотностью, требует применения аппаратов, генерирующих жесткое (свыше 4 МэВ) рентгеновское излучение. Примером такого устройства является малогабаритный импульсный бетатрон МИБ-7,5 (рис. 5). Не-

смотря на некоторые недостатки подобных установок – большие габариты и масса, высокая интенсивность генерируемого излучения (что требует выполнения специальных мероприятий по обеспечению безопасности), в ряде случаев их применение остается безальтернативным.



Рис. 4. Комплект рентгеновского аппарата постоянного потенциала «РПД-250С»



Рис. 5. Малогабаритный импульсный бетатрон МИБ-7,5

Итак, большинство задач по рентгенодиагностике можно решить, используя рентгеновский аппарат «РПД-250С». В случае, если необходима высокая контрастность получаемого изображения (до 10 лин/мм), а толщина объекта не превышает 40 мм по стали, следует использовать «РПД-150С». Для просвечивания массивных конструкций необходимо применять МИБ-7,5. Использование импульсного аппарата «Шмель-240», помимо работы в составе комплекса, оправдано для просвечивания тонких (до 10 мм по стали) конструкций в стесненных условиях.

В последние годы для неразрушающего контроля все более широко применяются компьютерные технологии обработки изображений. Возникло новое направление радиографии – цифровое.

Под цифровой радиографией понимают совокупность методов неразрушающего радиационного контроля, при которых радиационное изображение просвечиваемого объекта, преобразуется на определенном этапе в цифровой сигнал. Цифровой сигнал заносится в память компьютера и перерабатывается в двумерный массив измерительных данных (цифровое изображение), который может подвергаться различным видам цифровой обработки (контрастирование, масштабирование и т.п.) и, при необходимости воспроизводится на экране монитора в виде полутонового изображения, непосредственно воспринимаемого оператором [2].

Комплекс цифровой радиографии «Градиент» (рис. 6) с флуоресцентными запоминающими пластинами на базе сканера DUERR HD-CR 35 NDT, используемый в АТЦ, сочетает в себе гибкость, надежность, высокие разрешение и чувствительность, большой динамический диапазон и простоту эксплуатации. Комплекс разработан специально для применения в неразрушающем контроле, поэтому подходит для использования с установками генерирующими ионизирующее излучение в широком диапазоне энергий. Поскольку чувствительность пластины существенно выше, чем у пленки, время экспозиции пластины (в диапазоне энергий до 300 кэВ) в 5–10 раз меньше. Время считывания изображения в сканере – от 10 секунд до нескольких минут (зависит от размера используемой пластины и выбранного пространственного разрешения). Изображение выводится на монитор компьютера, архивируется и протоколируется. С помощью программного обеспечения «ВидеоРен Про», поставляемого в составе комплекса, считанное изображение может быть улучшено с применением различных фильтров, а также произведен поиск дефек-

тов, определены их линейные размеры, и др. После считывания изображения информация с пластины стирается.



Рис. 6. Комплекс цифровой радиографии «Градиент»

Высокотехнологичный комплекс рентгенотелевидения «Контраст-ППД 2020 Д» (рис. 7), поступивший на оснащение АТЦ в конце 2015 года, построен на базе плоскопанельного детектора Perkin Elmer XRD 0822. Рентгеновое изображение объекта преобразуется плоскопанельным детектором в цифровой сигнал, который передается на компьютер с программным обеспечением «ВидеоРен Про», т. е. для обработки информации, поступающей как со сканера, так и панельного детектора, используется один и тот же программно-аппаратный комплекс.



Рис. 7. Комплекс рентгенотелевидения «Контраст-ППД 2020 Д»

К преимуществам плоскопанельного детектора относятся низкий уровень шума,

большое число градаций серого, высокая стойкость к прямому рентгеновскому излучению, низкие габаритно/весовые характеристики. Главное же достоинство метода – получение рентгеновского изображения в реальном масштабе времени, в нашем случае – около 25 кадров в секунду. Во-первых, это позволяет очень быстро подобрать оптимальный режим рентгеновского аппарата – напряжение и ток. Во-вторых, становится возможным построение достаточно недорогой дистанционно-управляемой системы перемещения детектора и, возможно, источника излучения вдоль исследуемого объекта. Благодаря этому, используя детектор с рабочей зоной 200×200 мм, можно сразу сканировать весь объект с достаточно хорошим разрешением, попутно делая высококачественные (с низким уровнем шума и высокой резкостью) «снимки» интересующих зон. Программная обработка нескольких десятков (или даже сотен) последовательных кадров позволяет сделать различимыми детали и дефекты с линейными размерами менее 0,1 мм.

2. Визуально-оптический метод неразрушающего контроля

Визуально-оптический метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на наблюдении объекта контроля или его изображения с помощью оптических или оптико-электронных приборов.

Визуально-оптический метод применяют для осмотров различных конструкций и объемов где затруднен визуальный контроль. Осмотр проводят с применением оптических приборов: жестких и гибких эндоскопов.

Жесткие эндоскопы предназначены для визуального контроля узлов, к которым возможен прямолинейный доступ (особенно, когда эндоскопический контроль запланирован на стадии проектирования изделия) (рис. 8). Жесткие эндоскопы используются для осмотра газовоздушного тракта авиадвигателей, полостей машин и меха-

низмов, пустот в стенах зданий, каналов и труб малого диаметра, полостей отливок, шлифовальных и хонингованных отверстий.

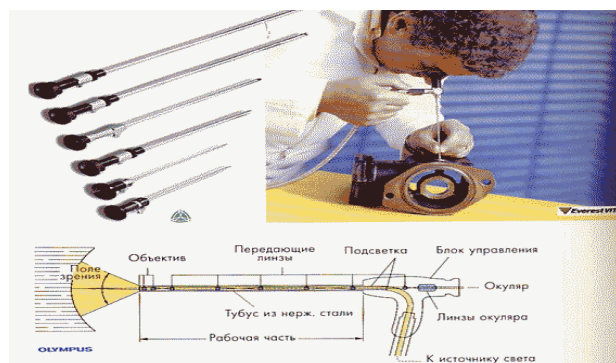


Рис. 8. Жесткий эндоскоп

Не всегда возможен прямой доступ к объекту или сам объект имеет сложную геометрию. В этом случае для визуального контроля применяются гибкие эндоскопы (рис. 9).

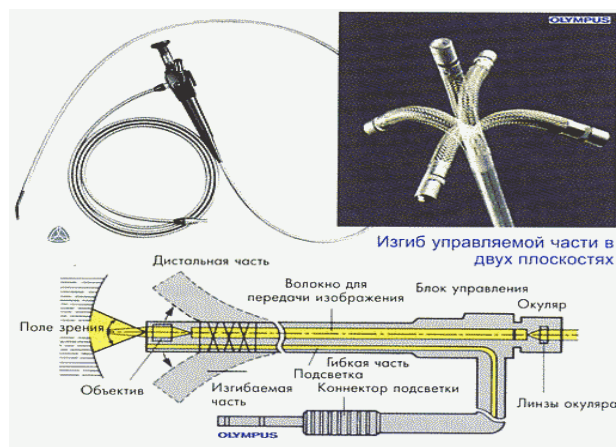


Рис. 9. Гибкий эндоскоп

В гибких эндоскопах визуальная система и система передачи света состоят из волоконной оптики, смонтированной внутри гибкой трубки с управляемым дистальным концом.

Гибкие волоконно-оптические эндоскопы имеют ряд недостатков, наиболее существенные из которых – невысокая разрешающая способность и ограничение по длине, определяемые волокном передачи изображения. Модернизация или, точнее, замена в

системе передачи изображения гибкого эндоскопа волоконно-оптического жгута на электронику позволила повысить разрешающую способность приборов и увеличить их длину и привела к появлению видеоэндоскопов. Изображение в них через объектив попадает на ПЗС матрицу, затем сигнал по кабелю передается в блок преобразования и выводится на монитор.

Для проведения визуально-оптического контроля аварийных объектов специалисты АТЦ используют эндоскоп Everest XLG3 (рис. 10).



Рис. 10. Эндоскоп Everest XLG3

В данном приборе реализован ряд новых технических решений, которые позволяют с высокой точностью обследовать поврежденный объект. Такие функции, как:

- управление ориентацией зонда;
- замораживание объекта;
- разделение экрана;
- регулировка яркости и контрастности;
- зуммирование;
- инверсия изображения;
- аннотирование с помощью текста или стрелок,

Делают эндоскоп удобным в управлении, а цветное изображение, полученное с камеры, имеет высокую четкость, что позволяет рассмотреть внутренний объем поврежденного объекта и точно определить места повреждений, трещин и т.д. На конце зонда вмонтирована камера с подсветкой. За счет двигателя, установленного в пульте управления, конечная часть зонда имеет возможность поворачиваться, таким обра-

зом, увеличивая обзорность. Сменные объективы, включая объективы бокового обзора, с разным фокусным расстоянием, позволяют производить съёмку с различных расстояний. Запись видео производится на сменный и внутренний носители. Различные функции обработки изображений улучшают восприятие информации. На оснащении АТЦ имеются два зонда длиной 5 и 2 метра диаметром 6,1 мм. Пятиметровый зонд имеет возможность проводить стереоскопические и сравнительные измерения. Используя функцию заморозки изображения можно определять расстояние между различными элементами конструкции, толщину трещин и т.д.

3. Тепловой метод неразрушающего контроля

Тепловой контроль основан на измерении, мониторинге и анализе температуры контролируемых объектов. Основным условием применения теплового контроля является наличие в контролируемом объекте тепловых потоков. Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Распределение температуры по поверхности объекта является основным параметром в тепловом методе, так как несет информацию об особенностях процесса теплопередачи, режиме работы объекта, его внутренней структуре и наличии скрытых внутренних дефектов.

Тепловизионное обследование относится к передовым технологиям неразрушающего контроля качества выполненных работ и решает задачи поиска скрытых дефектов и мест утечек тепла. Профессиональным тепловизором производится сканирование конструкций, зданий и сооружений (кровля и внешние стены) в инфракрасном спектре излучения, при этом регистрируя в виде графических изображений испускаемое объектом тепловое излучение.

Для количественной оценки температуры поврежденного объекта могут использоваться различные тепловизоры и термографы. В настоящее время для количественного определения температуры в АТЦ применяется комплект портативного термографа «ИРТИС-2000СН» (рис. 11).

Портативный компьютерный термограф «ИРТИС-2000СН» (далее – термограф), предназначен для визуализации и измерения тепловых полей различных объектов контроля с дальнейшей регистрацией данных, компьютерной обработкой и представлением результатов в виде отчетов[3].

Конфигурация термографа максимально оптимизирована для достижения высоких технических параметров при использовании относительно простых технологических решений, а сочетание с новейшими компьютерными технологиями обеспечивает высокую эффективность применения прибора при определении температуры поврежденных объектов.



Рис. 11. Портативный компьютерный термограф «ИРТИС-2000СН»

Принцип работы термографа основан на сканировании температурного излучения в поле зрения камеры оптико-механическим сканером с одноэлементным высокочувствительным ИК-приёмником и трансформации этого излучения в электрический сигнал аналого-цифровым преобразователем. Камера содержит зеркально-линзовую оптику с малым количеством отражающих поверхностей, что уменьшает потери оптической системы и упрощает её настройку.

Применение особых методов сканирования, таких как суммирование кадров и усреднение, позволяет повысить чувствительность прибора до $0,02^{\circ}\text{C}$.

Программное обеспечение термографа «IRPREVIEW» позволяет обрабатывать, визуализировать и хранить термограммы. Различные функции программы, такие как: изменение палитры термограмм, инвертирование, добавление изотермы, настройка контрастности, построение термопрофиля и другие, позволяют сделать термограммы более наглядными (рис. 12).

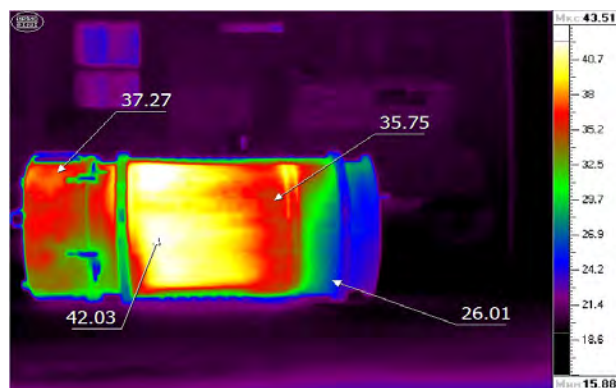


Рис. 12. Термограмма нагретого контейнера

Таким образом, используя термограф, можно узнать температуру в любой точке термограммы. Это особенно важно при проведении первичной диагностике аварийных объектов после теплового воздействия.

Приведенные выше методы и средства диагностирования состояния объектов нашли широкое применение в практической деятельности АТЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ, в т.ч. при проведении испытаний различных изделий на аварийные воздействия.

Список литературы

1. И. А. Биргер. Техническая диагностика. Москва. 1978
2. Руководство по эксплуатации комплекса цифровой радиографии «Градиент».
3. Руководство по эксплуатации термографа «ИРТИС-2000СН».