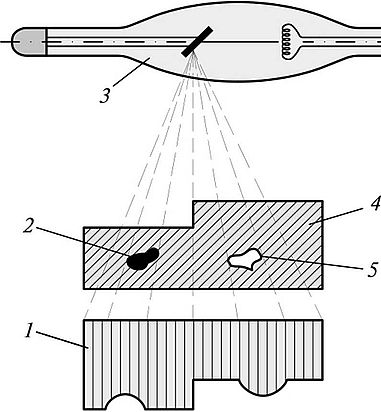
Контроль изделия просвечиванием.

Методы просвечивания деталей, или методы проникающих излучений, основаны на взаимодействии проникающего излучения с контролируемым объектом. В целях дефектоскопии используют ионизирующие излучения — коротковолновые электромагнитные колебания, распространяющиеся в вакууме со скоростью света (2,998 • 108м/с). Эти излучения, проходя через вещество, ионизируют его атомы и молекулы, т.е. образуются положительные и отрицательные ионы и свободные электроны. Поэтому указанные излучения называются ионизирующими. Обладая высокой энергией, ионизирующие излучения проникают сквозь слои вещества различной толщины. При этом электромагнитные излучения теряют свою интенсивность в зависимости от свойств среды, так как лучи в той или иной степени поглощаются материалом. Степень поглощения зависит от рода материала, его толщины, а также от интенсивности (жесткости) излучения. Чем больше толщина просвечиваемой детали, изготовленной из однородного материала, тем при данном исходном излучении степень поглощения будет больше, и за деталью поток лучей будет ослаблен в большей степени. Если просвечиванию подвергается объект неодинаковой толщины и плотности, то на участках, где просвечиваемый объект имеет большую толщину или большую плотность материала, интенсивность прошедших лучей будет меньше, чем на участках с меньшей плотностью или меньшей толщиной.

Таким образом, при наличии в зоне облучения в детали какого-либо порока ослабление лучей в зоне порока будет меньше, если это несплошность (раковина, газовый пузырь). В случае если дефект представляет собой более плотное включение в материал детали, ослабление излучения будет больше. На рис. 3.63 эпюра интенсивности излучения за деталью дает представление о характере изменения интенсивности. При прохождении лучей через плотное включение интенсивность падает, при прохождении пустотелой раковины интенсивность излучения больше. Участок с большей толщиной вызывает большее падение интенсивности излучения.

Интенсивность лучей, прошедших сквозь контролируемую деталь, необходимо каким-либо способом замерить или зафиксировать и по результатам расшифровки оценить состояние объекта [7].

 1 — эпюра интенсивности излучения; 2 — плотное включение в материале детали; *3* — рентгеновская трубка; *4* — контролируемая деталь; 5 — пустотелая раковина в материале детали

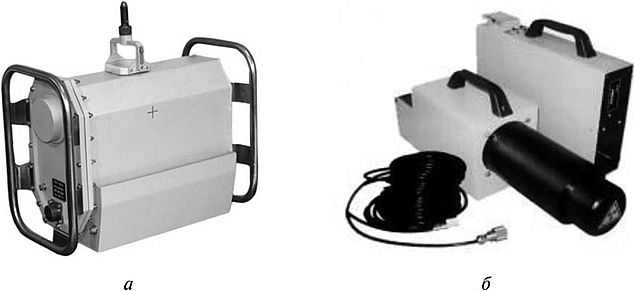
**Рис. 3.63. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки**

Метод предназначен для выявления внутренних макродефектов, таких как поры, непровары, подрезы, шлаковые включения, прожоги-проплавы, пористость, раковины, рыхлоты, газовые пузыри, глубокая коррозия. Трещины могут выявляться при условии, если они имеют достаточно большое раскрытие и ориентированы (плоскостью раскрытия) вдоль просвечивающего деталь луча. Метод также применяется для контроля качества сборки агрегатов, заделки тросов в наконечниках, заделки наконечников шлангов, качества клепаных соединений, чистоты закрытых каналов.

Для просвечивания изделий применяются в основном два вида излучений: рентгеновское и гамма-излучение. Принципиальная разница между этими двумя видами излучения заключается в природе их возникновения. *Рентгеновское* возникает в результате изменения скорости движения (торможения) электронов, летящих от горячего катода на вольфрамовое зеркало анода рентгеновской трубки. *Гамма-излучение* является результатом ядерных превращений и возникает при переходе ядра атома неустойчивого изотопа из одного энергетического состояния в другое. Рентгеновское и гамма-излучения при прохождении через материал теряют свою энергию за счет рассеяния и преобразования в кинетическую энергию электронов. Чем короче длина волны рентгеновского или гамма-излучения, тем больше его проникающая способность. Коротковолновое излучение называют жестким, а длинноволновое — мягким. Коротковолновое излучение несет в себе большую энергию, чем длинноволновое.

*Рентгеновские лучи* обладают сравнительно небольшой жесткостью, поэтому применяются для просвечивания тонкостенных конструкций: камер сгорания, заклепочных швов, обшивки и т.п. Рентгеновский метод позволяет контролировать стальные детали толщиной до 150 мм, а детали из легких сплавов — до 350 мм.

В качестве источника рентгеновского излучения применяют промышленные рентгеновские аппараты. В последнее время все большее распространение получают малогабаритные импульсные аппараты, позволяющие при малой мощности за счет малого времени импульса (1—3 мкс) при сравнительно большом токе (100— 200 А) просвечивать достаточно большие толщины (рис. 3.64). Аппарат состоит из рентгеновской трубки, высоковольтного генератора и системы управления. Рентгеновская трубка — это электровакуумный прибор, предназначенный для получения рентгеновского излучения. Конструктивно трубка представляет собой стеклянный или стеклянно-металлический баллон с изолированными электродами — анодом и катодом. Давление в баллоне составляет примерно 10“5—10—7 мм рт. ст. Свободные электроны в трубке образуются за счет термоэлектронной эмиссии катода, нагреваемого электрическим током от низковольтового источника. Плотность тока термоэлектронной эмиссии в трубке, а также интенсивность рентгеновского излучения возрастает (до некоторого предела) с увеличением температуры катода и напряжения между катодом и анодом. По мере роста напряжения уменьшается длина волны рентгеновского излучения, а его проникающая способность (жесткость лучей) соответственно увеличивается. Таким образом, рентгеновские установки позволяют изменять в широком диапазоне жесткость излучения, что является, бесспорно, преимуществом данного метода. Рентгеновский контроль отличается более высокой чувствительностью, чем гамма-контроль.



*а* — РАП 160-5; *6* — «Арина-9»

**Рис. 3.64. Современные переносные рентгеновские аппараты**

Почти вся энергия (около 97%), потребляемая трубкой, превращается в тепло, разогревающее анод, поэтому трубки охлаждают потоком воды, масла, воздуха или периодически выключают. Высоковольтные генераторы рентгеновских аппаратов обеспечивают питание трубок высоким регулируемым напряжением — 10—400 кВ. Генератор состоит из высоковольтного трансформатора, трансформатора накала трубки и выпрямителя. Система управления аппарата обеспечивает регулирование и контроль напряжения и анодного тока рентгеновской трубки, сигнализацию о работе аппарата, его отключение по истечении времени установленной экспозиции и аварийное отключение при появлении неисправностей, прекращении подачи охлаждающей жидкости или открывании дверей аппаратной. Наличие такого количества дополнительных элементов делает рентгеновские аппараты громоздкими, а это, в свою очередь, затрудняет подход с рентгеновскими трубками к контролируемым объектам непосредственно на воздушном судне.

*Гамма-лучи* (у-лучи) обладают большой проникающей способностью, поэтому применяются для просвечивания массивных деталей либо собранных агрегатов. В качестве источника гамма-излучений используют радиоактивные изотопы, помещенные в защитном кожухе гамма-дефектоскопа. Наибольшее распространение в дефектоскопии получили изотопы цезий-137, иридий-192, кобальт-60. Гамма-дефектоскоп состоит из контейнера (защитного кожуха, радиационной головки) для хранения радиоактивного источника в нерабочем положении, устройства для дистанционного перемещения источника в рабочее положение и системы сигнализации о положении источника. Гамма-дефектоскопы могут быть переносными, передвижными или стационарными, как правило, они являются автономными устройствами и не требуют электропитания от внешних источников. Исходя из этого гамма-дефектоскопы могут применяться в полевых условиях для просвечивания изделий в труднодоступных местах и в закрытых, в том числе взрыво- и пожароопасных помещениях. Однако гамма-излучение более опасно для человека в отличие от рентгеновского. Регулировка энергии излучения определенного изотопа при гамма-дефектоскопии невозможна. Проникающая способность гамма-излучения выше рентгеновского, поэтому могут просвечиваться детали большей толщины. Гамма-метод позволяет контролировать стальные детали толщиной до 200 мм, но чувствительность контроля при этом ниже, различие между дефектными и бездефектными менее заметно. Исходя из этого область применения гамма-дефектоскопии — контроль изделий большой толщины (малые дефекты в таком случае менее опасны).

Современные гамма-дефектоскопы «Гаммарид» (рис. 3.65) предназначены для радиографического контроля металла и сварных соединений с применением источников ионизирующих излучений на основе радионуклида селен-75, иридий-192 и кобальт-60. Панорамное и фронтальное просвечивание изделий, относительно небольшие габариты и вес радиационной головки, возможность перемещения источника в ампулопроводе на значительные расстояния делают эти дефектоскопы исключительно удобными для работы в полевых, труднодоступных и стесненных условиях. Радиационные головки дефектоскопов соответствуют требованиям российских и международных стандартов и правил МАГАТЭ. Современная система блокировки источника и урановый блок защиты обеспечивают повышенную безопасность эксплуатации дефектоскопов.



**Рис. 3.65. Промышленный гамма-дефектоскоп «Гаммарид 192/120М»**

Применение высокоактивного острофокусного источника ионизирующих излучений на основе радионуклида селен-75, не имеющего аналогов на мировом рынке, позволяет обеспечить надежность радиографического контроля на уровне, приближающемся к уровню рентгенографического контроля в наиболее ходовом диапазоне контролируемых толщин металла.

Рентгеновские и гамма-лучи распространяются по прямым линиям, обладают, как уже говорилось, высокой проникающей способностью, в том числе проходят через металлы, в различной степени поглощаются веществами с разной плотностью, а также вызывают эффекты в фотографических эмульсиях, ионизируют молекулы газов, вызывают свечение некоторых веществ. Эти свойства проникающих излучений применяются для регистрации интенсивности излучения после прохождения его через контролируемую деталь.

В зависимости от способа представления окончательной информации различают следующие методы рентгеновской и гамма-дефектоскопии:

* • *фотографический* *(радиографический)* с получением изображения на рентгеновской пленке, которое затем анализируется контролером;
* • *визуальный* *(радиоскопический*) с получением изображения на экране (сцинтилляционном, электролюминесцентном или телевизионном);
* • *ионизационный {радиометрический*), основанный на измерении интенсивности излучения, прошедшего через изделия, с помощью ионизационной камеры, величина тока в которой регистрируется гальванометром или электрометром [5].

Наиболее удобным для контроля изделий в условиях эксплуатации является радиографический метод, так как он наиболее чувствителен к дефектам, технологичен и обеспечивает хорошую документальность (полученная рентгенограмма может храниться долго). При использовании фотометода радиографическое изображение объекта преобразуется эмульсией рентгеновской пленки (после ее фотообработки) в светотеневое видимое изображение. Степень почернения пленки пропорциональна продолжительности и интенсивности действующего на нее рентгеновского или гамма-излучения. Пленка представляет собой прозрачную подложку из нитроцеллюлозы или ацетатцеллюлозы, на которую нанесен слой фотоэмульсии, покрытой сверху слоем желатина для предупреждения от повреждения. Для большего поглощения излучения эмульсионный слой наносят с двух сторон. Чувствительность радиографического метода зависит от характера дефектов просвечиваемого объекта, условий его просвечивания, характеристик источников и регистраторов излучения (например, пленки). Все эти факторы влияют на четкость и контрастность рентгенограммы, на ее качество. Следовательно, чувствительность метода находится в прямой зависимости от качества рентгенограммы.

Для оценки и проверки качества рентгенограмм служат эталоны, которые представляют собой набор проволочек различного диаметра (проволочные эталоны), пластинок с канавками различной глубины (эталоны с канавками) и эталоны с отверстиями или лунками. Качество снимков и выявляемость естественных дефектов будет тем выше, чем более четко и контрастно проработаются на рентгенограмме эталоны, снятые одновременно с контролируемым объектом. Большое влияние на четкость снимка оказывают геометрические условия просвечивания объектов, а на его контрастность — энергия первичного излучения и его спектральный состав. К отрицательным результатам приводит нарушение технологии фотообработки экспонированных пленок.

*Радиографический контроль* изделий в эксплуатации производится транспортабельными, облегченными рентгеновскими и гамма-аппаратами. К ним относятся переносные аппараты типов РУП-120-5 и РУП-200-5, а также сравнительно новые аппараты типа РАП-160-10П и РАП-160-1-Н.

Процесс радиографического контроля включает следующие основные операции:

• конструктивно-технологический анализ подлежащего контролю

объекта и подготовка его к просвечиванию;

* • выбор источника излучения и фотоматериалов;
* • определение режимов и просвечивание объекта;
* • химико-фотографическая обработка экспонированной пленки;
* • расшифровка снимков с оформлением полученных материалов.

Задача контролера-дефектоскописта состоит в получении радиографического снимка, пригодного для оценки качества объекта. В процессе подготовки к контролю детали необходимо очистить от шлака и загрязнений, осмотреть и разметить мелом или цветным карандашом на отдельные участки. Затем, исходя из цели контроля, конфигурации детали и удобства подхода с источником излучения и пленкой, выбирают направление просвечивания детали или ее участка. Выбор источника излучения и фотоматериалов зависит от области применения рентгено- и гаммаграфии и контролепригодности изделия. Основным техническим требованием к выбору источника излучения и рентгеновской пленки является обеспечение высокой чувствительности. Выбор пленки для просвечивания определяется минимальными размерами дефектов, подлежащих выявлению, а также толщиной и плотностью материала просвечиваемой детали. При контроле объектов малой толщины и особенно легких сплавов целесообразно применять высококонтрастные и мелкозернистые пленки. При просвечивании больших толщин следует использовать более чувствительную пленку. Существует четыре класса рентгеновских пленок различной чувствительности, контрастности и зернистости.

Для защиты пленок от воздействия видимого света и их размещения служат кассеты. При выборе кассет исходят из того, чтобы пленка плотнее прилегала к просвечиваемому участку детали. Применяют мягкие кассеты, если пленку нужно изгибать. Такие кассеты представляют собой конверты из светонепроницаемой бумаги. Жесткие кассеты, изготовленные из алюминиевого сплава, позволяют обеспечить более плотное прилегание и более четкое изображение. Продолжительность экспозиции определяют по номограммам, где по оси абсцисс отложена толщина просвечиваемого материала, а по оси ординат — время экспозиции. Номограммы составлены на основе экспериментальных данных, полученных при просвечивании объектов из конкретных материалов конкретными источниками излучения. Химико-фотографическая обработка пленки включает проявку, промежуточную промывку, фиксирование, ополаскивание и окончательную промывку или сушку снимка. Пленка обрабатывается в фотолаборатории (в темном помещении) при неактивном освещении. Расшифровка рентгеновских и гамма-снимков выполняется путем их рассматривания в проходящем свете на негатоскопе. При расшифровке необходимо уметь отличать дефекты деталей от пороков пленки, в том числе вызванных неправильным с ней обращением или конструктивными особенностями детали. Одновременно с рассматриванием снимка целесообразно осматривать и контролируемую деталь, а также сравнивать снимок с эталонным, полученным при просвечивании годных деталей

Преимуществами радиографического метода являются его наглядность, возможность определить характер, границы, конфигурацию и глубину залегания дефектов. К недостаткам метода относят малую чувствительность обнаружения трещин усталости, большой расход рентгеновской пленки и фотоматериалов, а также неудобства, связанные с необходимостью обработки пленок в темноте.

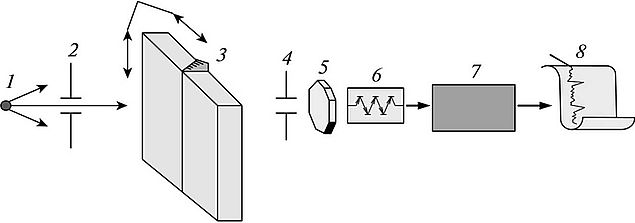
При использовании *радиоскопического метода* в качестве детектора интенсивности излучения используют флюороскопический экран. Метод обладает невысокой чувствительностью, к тому же результаты контроля в значительной степени субъективны. Значительные успехи достигнуты в области создания рентгеновских ин-троскопов — приборов «внутривидения». В электронно-оптических рентгеновских интроскопах используется преобразование прошедшего через контролируемый объект рентгеновского излучения в оптическое изображение, наблюдаемое на выходном экране. В рентгенотелевизионных интроскопах это изображение передается телевизионной системой на экран кинескопа.

При *радиометрическом (ионизационном) методе* контроля объект просвечивается узким пучком излучений, который последовательно перемещается по контролируемым участкам (рис. 3.67). Излучение, прошедшее через контролируемый участок, преобразуется детектором, на выходе которого возникает электрический сигнал, пропорциональный интенсивности излучения. Электрический сигнал через усилитель поступает на регистрирующее устройство.

Радиометрический метод обладает высокой производительностью и может быть легко автоматизирован. Однако с помощью этого метода затруднительно судить о характере и форме дефектов, а также невозможно определить глубину их залегания.

Направление

перемещения



**Рис. 3.67. Схема радиометрического метода контроля**

1 — источник; *2,4* — коллиматоры; 3 — контролируемый объект; 5 — сцинтилля-ционный чувствительный элемент; б — фотоумножитель; 7 — усилитель; *8* — регистрирующее устройство

Кроме вышеперечисленных методов радиационного контроля деталей существует еще *метод ксерорентгенографии*, основанный на действии рентгеновских и гамма-лучей, прошедших через контролируемый объект, на фоточувствительный слой полупроводника, на котором перед съемкой наводится электростатический заряд. При экспонировании заряд уменьшается пропорционально энергии облучения, в результате чего в слое образуется скрытое электростатическое изображение просвечиваемого объекта. Оно проявляется с помощью электризующегося сухого порошка, переносится на бумагу и закрепляется в парах органического растворителя или нагреванием. При контроле применяют, например, пластины, состоящие из алюминиевой подложки и нанесенного на нее селенового слоя. Рентгенограммы, полученные на такой пластине, по основным параметрам не уступают снимкам, полученным на рентгеновской пленке.

При радиационной дефектоскопии важную роль играет соблюдение правил техники безопасности, которая должна отвечать сложному комплексу требований. Стационарные аппараты для контроля размещают в специально отведенных для этой цели помещениях, отвечающих требованиям Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности и Нормам радиационной безопасности. Помещения оборудуют защитными устройствами от излучений, чтобы уменьшить дозу облучения обслуживающего персонала. С этой целью применяют защитные экраны, ширмы, изготовленные из свинца или из свинца и железа. Пол, потолок и стены помещения должны защищать окружающих от облучения, что достигается применением бетона, баритобетона и кирпича. При просвечивании на пульте управления и у входа в помещение устанавливают световую сигнализацию. Двери блокируют с аппаратом так, что при открытой или неплотно прикрытой ее створке аппарат автоматически отключается. На участках рентгеновской дефектоскопии проводят дозиметрический контроль с целью регулярной проверки надежности защиты на рабочих местах и измерения индивидуальных доз облучения персонала.

Просвечиванием могут заниматься лица не моложе 18 лет, знающие правила эксплуатации аппаратуры и обращения с высоковольтным оборудованием. Весь персонал, принимающий участие в радиационном контроле, проходит медицинское освидетельствование не реже одного раза в год. Радиационный контроль на съемных деталях должен проводиться в отсутствие других работников, в промежутках между сменами. Снижения уровня облучения добиваются направлением излучения в сторону земли, уменьшением времени облучения, увеличением расстояния от источника до исполнителя и экранированием. При проведении контроля переносными аппаратами устанавливают ограждения и знаки радиационной опасности. Персонал при этом должен находиться на безопасном расстоянии.

При контроле изделий большой толщины используется тормозное излучение высоких энергий, равное 1 — 100 МэВ (энергия рентгеновских фотонов не превышает 0,5 МэВ), обладающее еще большей проникающей способностью. Такое излучение получают при бомбардировке мишеней электронами, ускоренными в линейных или циклических ускорителях: микротронах, бетатронах. Контроль с использованием тормозного излучения высоких энергий называют *бетатронной дефектоскопией.* О возможностях этого метода можно судить по таким данным: излучение с энергией 35 МэВ позволяет просвечивать сплавы на основе железа толщиной до 450 мм, а сплавы на основе алюминия — до 1800 мм.

В стадии разработки находятся *методы нейтронной дефектоскопии* (нейтронное излучение обладает наибольшей проникающей способностью). Продолжаются миниатюризация оборудования для радиационного контроля и разработка методов, позволяющих снизить требования к защите персонала, работающего с радиационным оборудованием.

Перспективным методом неразрушающего контроля для использования при оценке качества деталей и узлов авиационной техники является радиационная томография, основанная на получении послойных изображений объекта контроля путем обработки результатов сканирования в выбранной плоскости. Основное преимущество радиационной томографии перед рентгенографией заключается в отсутствии накладывающихся изображений мешающих элементов на получаемых томограммах контролируемых объектов. При рентгенографическом просвечивании взаимное наложение проекций неизбежно. Возможность получения послойных изображений исследуемых объектов в некоторых случаях делает радиационную томографию единственным эффективным методом выявления возможных дефектов. Другим немаловажным преимуществом томографии является возможность документирования и сохранения результатов контроля в компьютере, а также их цифровой обработки.