



Типовые методики радиационно-  
дефектоскопического контроля  
(Россия, Германия, США)  
(окончание)

В.В. Коннов

В.А. Добромыслов

Ф.Р. Соснин

В.Г. Фирстов

Е.Н. Косарина

Е.Н. Гагин

Октябрь 1998

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Контроль. Диагностика», № 3, 1999 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## **Типовые методики радиационно-дефектоскопического контроля (Россия, Германия, США) (окончание)**

В.В. Коннов, В.А. Добромыслов, Ф.Р. Соснин,  
В.Г. Фирстов, Е.Н. Косарина, Е.Н. Гагин

*В статье приводятся данные по выбору режимов и методик радиографического и радиоскопического контроля материалов и изделий. Эти данные базируются на следующих стандартах:*

- в России – ГОСТ 7512, ГОСТ 20426, ГОСТ 23055;*
- в Европе – EN 444, EN 584-1;*
- в Германии – DIN 54109;*
- в США – ASTM E 94, ASTM E 142, ASTM E 1255.*

*This article is guide for selection details of radiographic and radiosopic material testing techniques. This techniques based on next standards:*

- in Russia – GOST 7512, GOST 20426, GOST 23055;*
- in Europe – EN 444, EN 584-1;*
- in Germany – DIN 54109;*
- in USA – ASTM E 94, ASTM E 142, ASTM E 1255.*

### *2.10. Выбор размера контролируемого участка и определение числа участков контроля*

В соответствии с ГОСТ 7512 размер контролируемого участка выбирается по соображениям уменьшения оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения (в том числе на краю снимка) по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности (в центре снимка) не более чем на 1,0.

Конкретно длину контролируемого за одну экспозицию участка и количество участков (экспозиций) объекта определяют по соответствующим приложениям ГОСТ 7512.

В соответствии с европейским стандартом EN 444 отношение просвечиваемой толщины на краю оцениваемой площади однородной толщины к толщине в центре пучка должно быть:

- для класса А – не более 1,2;
- для класса В – не более 1,1.

По стандартам США длина контролируемого участка так же, как в Европе, оценивается отношением однородной толщины на краю участка к толщине в центре пучка.

Минимальное количество участков при просвечивании, например, кольцевых сварных соединений с наружным диаметром  $D$  при фокусном расстоянии  $F$  с приращением толщины на краю участка не более 20% можно определить по номограмме (рис. 7).

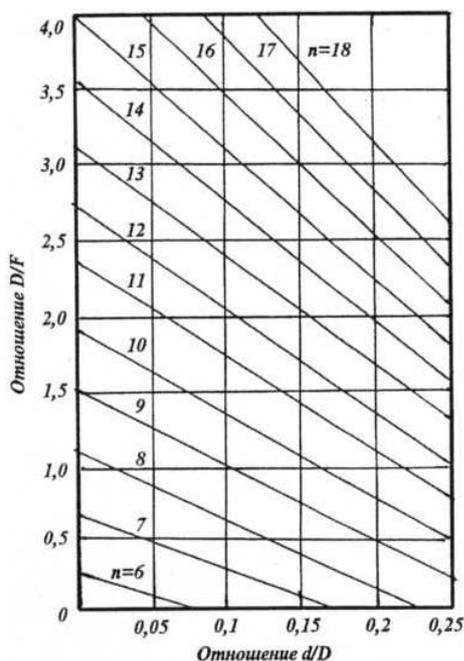


Рисунок 7. Номограмма для определения минимального количества участков (экспозиций)  $n$  при просвечивании кольцевого сварного соединения диаметром  $D$  более 100 мм через одну стенку толщиной  $d$  при фокусном расстоянии  $F$  при увеличении толщины стенки на краю участка не более чем на 20%

### 2.11. Расчет экспозиций (времени просвечивания)

В России экспозиции просвечивания излучением рентгеновских аппаратов непрерывного действия соединений из сплавов на основе железа и алюминия определяют по номограммам, приведенным на рис. 8 и 9, и

корректируют применительно к конкретному рентгеновскому аппарату, материалу контролируемого объекта и условиям просвечивания.

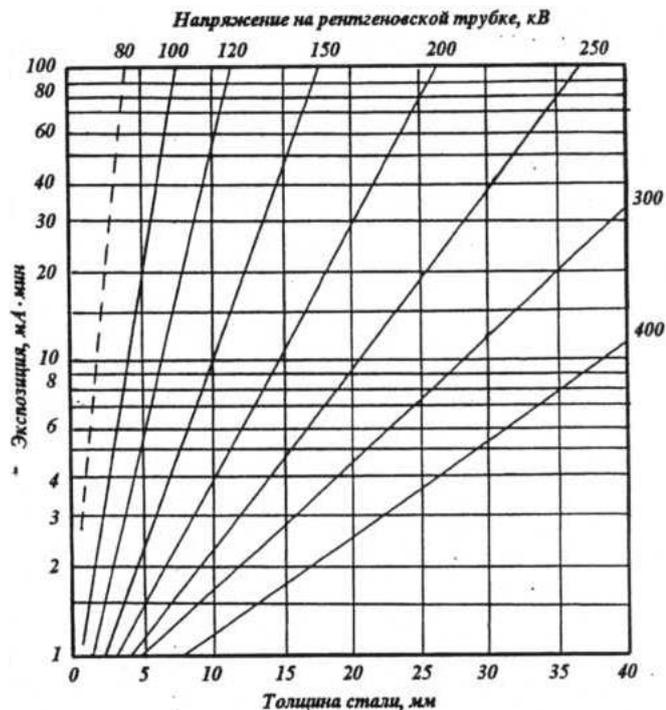


Рисунок 8. Номограмма экспозиций при просвечивании сплавов на основе железа на пленку РТ-К ( $F=75$  см,  $S=1,5$ ):  
 - - - без усиливающих экранов; — с экранами из свинцовой фольги толщиной 0,05 мм

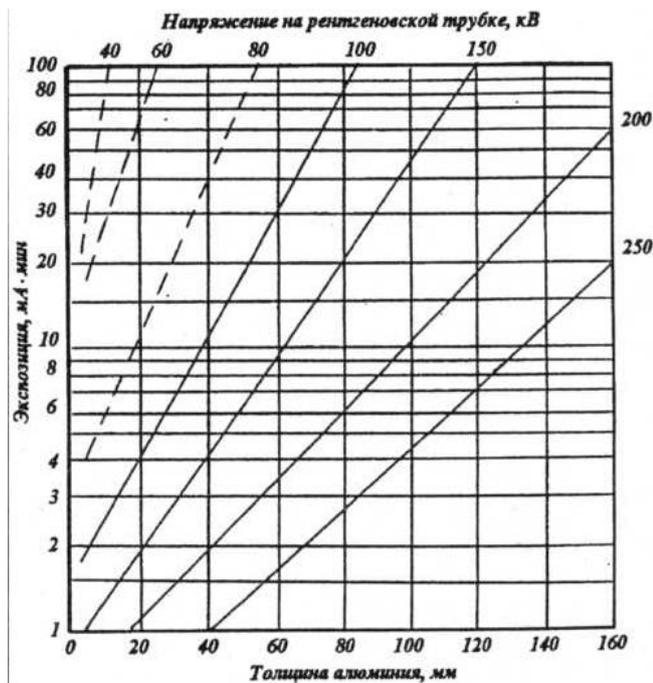


Рисунок 9. Номограмма экспозиций при просвечивании сплавов на основе алюминия на пленку РТ-К ( $F=75$  см,  $S=1,5$ ):  
 - - - без усиливающих экранов; — с экранами из свинцовой фольги толщиной 0,05 мм

Время просвечивания излучением импульсных рентгеновских аппаратов сплавов на основе железа определяют по номограммам, приведенным на рис. 10–12.



Рисунок 10. Номограмма для определения экспозиций просвечивания сплавов на основе железа импульсным рентгеновским аппаратом МИРА-2Д

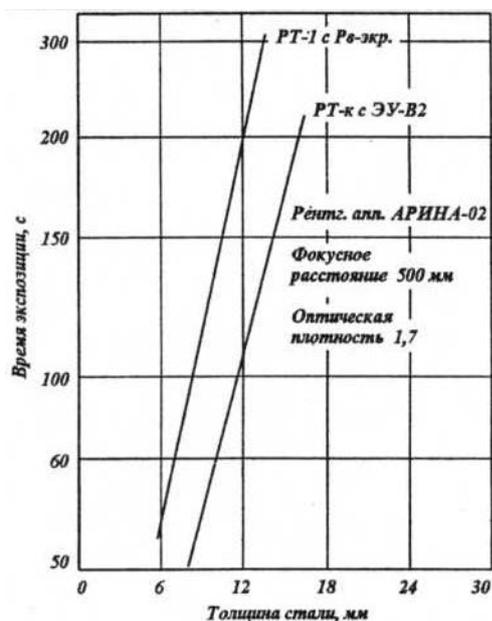


Рисунок 11. Номограмма для определения экспозиций просвечивания сплавов на основе железа импульсным рентгеновским аппаратом АРИНА-02

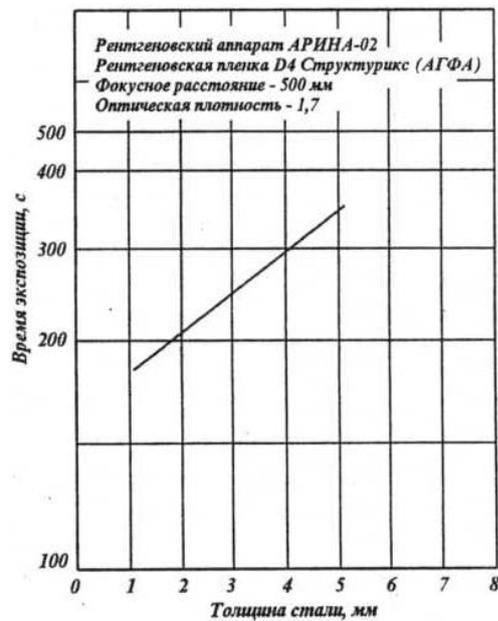


Рисунок 12. Номограмма для определения экспозиций просвечивания сплавов на основе железа импульсным рентгеновским аппаратом АРИНА-02

Экспозиции просвечивания гамма-излучением радионуклидных источников сплавов на основе железа определяют по номограмме, приведенной на рис. 13.

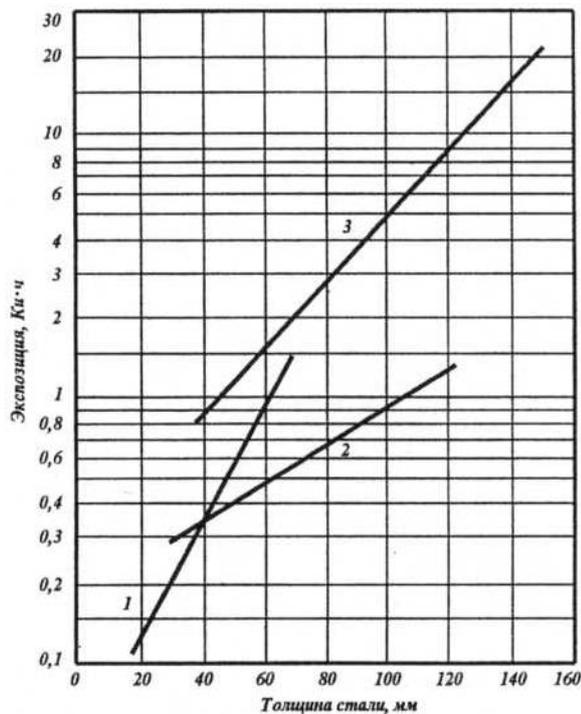


Рисунок 13. Номограмма для определения экспозиций просвечивания сплавов на основе железа на пленку РТ-1 ( $F=50$  см,  $S=1,5$ ) гамма-излучением радионуклидных источников: 1 –  $^{192}\text{Ir}$ , свинцовая фольга толщиной 0,1/0,2 мм; 2 –  $^{137}\text{Cs}$ , свинцовая фольга толщиной 0,1/0,2 мм; 3 –  $^{60}\text{Co}$ , свинцовая фольга толщиной 0,2/0,2 мм

Экспозиции просвечивания (необходимую дозу излучения на расстоянии 1 м) при просвечивании тормозным излучением бетатронов сплавов на основе железа определяют по номограмме, приведенной на рис. 14.

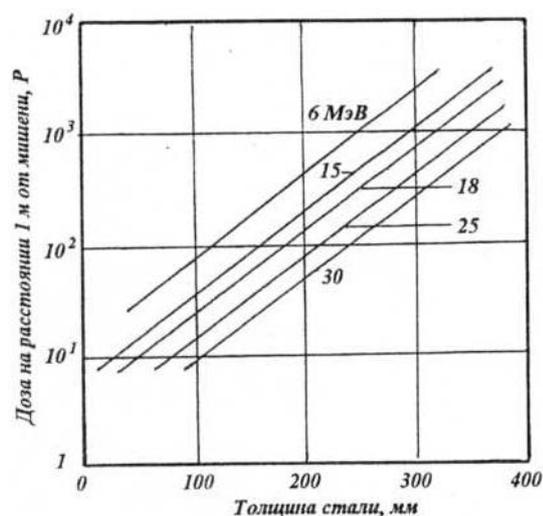


Рисунок 14. Номограмма для определения экспозиций просвечивания сплавов на основе железа тормозным излучением бетатронов на энергии 6–30 МэВ на пленку РТ-2 со свинцовыми усиливающими экранами (фокусное расстояние 2 м, оптическая плотность снимков  $S=1,7$ )

При использовании номограмм экспозиций, приведенных на рис. 8–14, в ряде случаев необходимо введение следующих поправок на время просвечивания, найденное из номограмм.

#### Поправка на материал

Эквивалентную толщину материала, подвергаемого просвечиванию, но не приведенного в указанных номограммах, определяют для эффективной энергии излучения по рекомендациям, изложенным в разд. 5.

#### Поправка на тип рентгеновской пленки и усиливающих экранов

При определении времени просвечивания на рентгеновские пленки, отличающиеся от пленок, для которых построена номограмма экспозиций, пользуются коэффициентами перехода  $k$  (табл. 28), характеризующими чувствительность различных типов пленок к излучению:

$$t=t_0(k/k_0),$$

(7)

где  $t_0$  – время просвечивания, определенное по номограмме для заданной пленки и заданного варианта зарядки кассет;  $k_0$  – переходный коэффициент, определенный по табл. 28 для заданной пленки и варианта зарядки кассет (т.е. для тех условий, в которых определялось  $t_0$ );  $k$  – переходный коэффициент для пленки и варианта зарядки кассет, для которых определяется  $t$ .

Таблица 28.

Коэффициент  $k$  перехода по времени просвечивания от пленки РТ-1 к другим пленкам

Вариант зарядки пленки	РТ-1	РТ-2	РТ-СШ	РТ-4М	РТ-К
Без усиливающих экранов	1	1,7	2,5	5	8,4
С металлическими усиливающими экранами при напряжении выше 100 кВ	0,5	0,8	1,25	2,5	4,2
С люминесцентными экранами при напряжении 80 кВ и времени просвечивания 100 с	0,5–0,22	0,04–0,015	1,25–0,5	2,5–1,1	4,2–1,8

#### Поправка на фокусное расстояние

При режимах просвечивания с фокусными расстояниями, отличающимися от приводимых в номограммах на рис. 8–14, время просвечивания приблизительно можно определить по формуле:

$$t=t_0(F^2/F_0^2), \quad (8)$$

где  $t$  – время просвечивания при выбранном фокусном расстоянии  $F$ ;  $t_0$  – время просвечивания при фокусном расстоянии  $F_0$ , найденное по номограмме.

#### Поправка на анодное напряжение

При режимах просвечивания с анодными напряжениями, отличающимися от приводимых в номограммах на рис. 8 и 9, время просвечивания приблизительно можно определить по формуле:

$$t=t_0(U^2/U_0^2), \quad (9)$$

где  $t$  – время просвечивания при выбранном анодном напряжении  $U$ ;  $t_0$  – время просвечивания при анодном напряжении  $U_0$ , найденное по номограмме.

### Поправка на оптическую плотность снимков

При режимах просвечивания с оптической плотностью, отличающейся от приводимой в номограммах на рис. 8–14, время просвечивания приближенно можно определить из соотношения

$$\lg \frac{t}{t_0} = \frac{S - S_0}{\gamma}, \quad (10)$$

где  $t$  – время просвечивания при выбранной оптической плотности снимка  $S$ ;  $t_0$  – время просвечивания при оптической плотности снимка  $S_0$ , найденное по номограмме;  $\gamma$  – коэффициент контрастности применяемой рентгеновской пленки.

В Европе экспозиции просвечивания излучением рентгеновских аппаратов непрерывного действия соединений из сплавов на основе железа определяют по номограммам, подобным приведенной на рис. 15 для пленки «Структурикс D7» фирмы «Агфа-Геверт» (Бельгия).

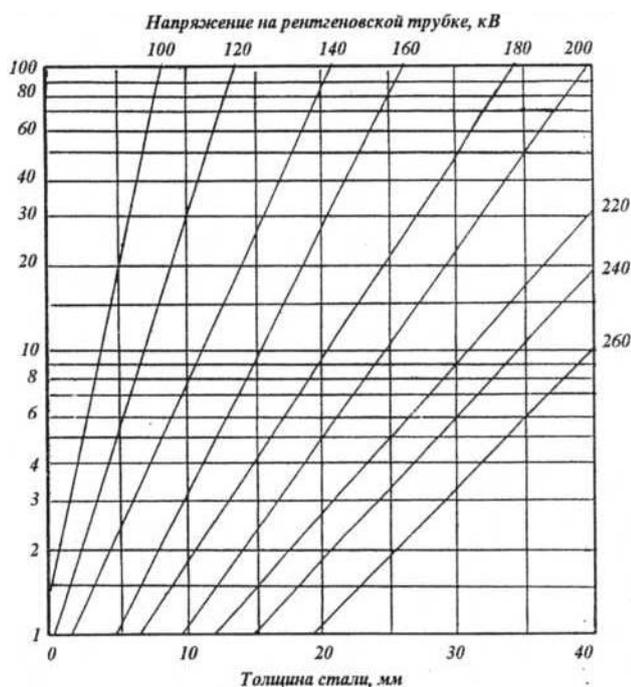


Рисунок 15. Номограмма экспозиций при просвечивании сплавов на основе железа на пленку «Структурикс D7» со свинцовыми усиливающими экранами ( $F=100$  см,  $S=2,0$ )

При необходимости рассчитывают и вводят поправки на время просвечивания. В частности, при переходе к другим типам пленок следует пользоваться относительными экспозиционными факторами, приведенными в табл. 29.

Таблица 29.

Относительные экспозиционные факторы для рентгеновских пленок «Структурикс» фирмы «Агфа-Геверт» (Бельгия)

Тип пленки	100 кВ	200 кВ	$^{192}\text{Ir}$	$^{60}\text{Co}$	Линейный ускоритель на 8 МэВ
D2	10,6	8,7	9,0	10,0	10,0
D3	4,1	4,2	5,0	5,1	5,1
D4	3,1	2,6	3,0	3,1	3,1
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5
D7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Принятые в США методики определения экспозиций просвечивания практически те же, что описаны в этом параграфе.

### *2.12. Химико-фотографическая обработка экспонированной рентгеновской пленки и ее хранение*

После экспонирования пленку подвергают химико-фотографической обработке, включающей в себя проявление, ополаскивание в воде, фиксирование, промывку в непроточной воде, окончательную промывку в проточной воде и сушку снимка. Пленку обрабатывают в фотолаборатории при неактиничном освещении или в полной темноте.

Источник неактиничного освещения должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пленки. Время воздействия неактиничного освещения на пленку не должно превышать 6 мин. Способ приготовления проявителя и фиксажа и их состав указаны в рецептах завода, изготавливающего пленку.

Для сокращения времени автоматического проявления применяют также фенидоновые проявители, которые позволяют проявить пленку за 1,5–2 мин при повышенной температуре проявителя.

Если для приготовления проявителя используется «жесткая» вода, то ее необходимо предварительно смягчить, прокипятив и (или) растворив в ней динатриевую соль этилдиаминтетрауксусной кислоты (трилона Б) в количестве 2 г на 1 л. В одном литре проявителя можно проявлять до 1 м<sup>2</sup> рентгенографической пленки. Для дальнейшего поддержания активности проявителя надо добавлять в него восстановитель. Для предотвращения деформации эмульсионных слоев рекомендуется применять кислый дубящий фиксаж либо использовать фиксаж на основе гипосульфита, хлористого аммония и метабисульфита натрия с добавлением хромокалиевых квасцов.

Свежеприготовленный проявитель обладает повышенной вуалирующей способностью. Пользоваться им следует не раньше чем через 12 ч после приготовления.

Пленку следует проявить в баке-танке, закрепляя пленку в вертикальном положении с помощью рамок. При танковом проявлении следует 2–3 раза резко встряхнуть рамку, чтобы отделить приставшие к пленке пузырьки воздуха. Кюветное (горизонтальное) проявление допускается, когда объем работы не превышает нескольких десятков снимков за смену. Во избежание слипания рентгенографических пленок и неравномерного проявления, кюветы следует покачивать в течение всего времени проявления. Время проявления зависит от истощенности и температуры проявителя (табл. 30). Допустимые пределы температур используемых растворов указываются в режимах химико-фотографической обработки рентгенографической пленки.

Таблица 30.

Время проявления (отн. ед.) рентгенографической пленки в зависимости от температуры и истощенности проявителя

Состояние проявителя	Температура проявителя, °С						
	18	19	20	21	22	23	24
Свежий	1,0	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,63
Отработанный при проявлении 1 м <sup>2</sup> пленки в 1 л проявителя	1,4	1,3	1,2	1,15	1,10	1,05	1,0

Порядок сбора и сдачи отходов серебра, образующихся при обработке рентгенографической пленки, определяется положениями о порядке приемки и переработки лома и отходов драгоценных металлов.

Во избежание вымывания серебра перед окончательной промывкой рентгенографической пленки ее следует предварительно промыть в баке с непроточной подкисленной водой (на 1 л воды 2 г крепкой уксусной кислоты) и затем извлечь серебросодержащие отходы так же, как и из фиксажа.

При работе с рентгенографической пленкой необходимо соблюдать правила ее безопасного хранения. Рентгенографическая пленка с триацетатцеллюлозной основой воспламеняется плохо, но при горении выделяет ядовитые газы. В ТУ на рентгенографические пленки указываются условия их хранения (на стеллажах в помещении с вентиляцией при определенной температуре и относительной влажности воздуха, на определенном расстоянии от отопительных приборов и пола, пленки также должны быть защищены от воздействия прямых солнечных лучей и вредных для пленки газов: сероводорода, ацетилен, аммиака и т.п.).

Нельзя хранить пленку в помещениях, где находятся радиоактивные вещества и светосоставы постоянного действия. После окончательной промывки пленки сушат при комнатной температуре в течение 3–4 ч. При этом пленки следует подвешивать с помощью зажимов к рейкам, проволокам, капроновым нитям и т.п.

При большом объеме работы и необходимости сокращения времени обработки экспонированной пленки ее следует сушить в специальных сушильных шкафах с подогревателями, вентиляторами и фильтрами для обеспыливания воздуха.

При большом объеме работы процесс химико-фотографической обработки, включая сушку, необходимо автоматизировать (механизировать). Наибольший эффект достигается при автоматизации фотообработки специальных пленок, которые имеют прочные эмульсионные слои.

Неправильное обращение с рентгенографической пленкой, ошибки в химико-фотографической обработке вызывают появление на радиографических снимках дефектов, затрудняющих расшифровку радиографических снимков, а иногда делают ее невозможной (дефектами являются вуаль, светлые и темные пятна, царапины, следы пальцев, потеки и др.).

Расшифрованные снимки хранятся в качестве документа о контроле в течение времени, определяемого назначением и условиями эксплуатации изделий. После этого срока из пленок извлекают серебросодержащие отходы и сдают их.

### *2.13. Расшифровка радиографических снимков и разбраковка деталей (соединений), узлов и изделий по результатам радиографического контроля*

Оценка качества и разбраковка деталей, узлов и соединений изделий по радиографическим снимкам должна производиться в соответствии с действующими ТУ на конкретные детали, узлы и изделия.

Перед расшифровкой следует оценить качество снимка с точки зрения отсутствия на нем дефектов, вызванных неправильной химико-фотографической обработкой. Затем следует оценить оптическую плотность снимка, которая в соответствии с ГОСТ 7512 должна быть не менее 1,5; проверить, видны ли на снимке элементы эталонов чувствительности, гарантирующие выявление недопустимых дефектов; имеются ли на снимке изображения маркировочных знаков (номер участка, стрелка-указатель и т.п.). Если эти условия не выполняются, то снимки к расшифровке не принимают, а просвечивание повторяют.

Заключение дают по результатам расшифровки снимков. Снимки расшифровывают в сухом виде на негатоскопе. При необходимости применяют лупу четырехкратного увеличения. При измерении изображений дефектов размером до 1,5 мм следует применять измерительную лупу (ГОСТ 8309), а при размерах свыше 1,5 мм – прозрачную измерительную линейку.

На снимке должны отсутствовать дефекты пленки (царапины, риски и т.п.) и дефекты, вызванные неправильной химико-фотографической

обработкой пленок (вуаль; светлые участки от брызг фиксажа на сухую пленку; прилипшие пузырьки воздуха к пленке во время проявления; следы пальцев; темные участки, вызванные засветкой пленки; следы электрических разрядов от трения пленки; потеки и др.).

Оптическую плотность снимков измеряют на денситометрах или путем визуального сравнения со снимками, на которых имеются поля с измеренными оптическими плотностями в интересующем диапазоне.

При анализе радиографических снимков надо учитывать виды и типы дефектов пленки. Дефекты, которые увеличивают путь, проходимый излучением в контролируемом материале (типа выплесков металла, брызг металла на поверхности и т.п.), или представляют собой включения материалов с большим коэффициентом ослабления излучения, чем основной материал (типа вольфрамовых включений в стальных сварных соединениях), выявляются в виде светлых участков, которые являются проекцией дефектов в направлении просвечивания на плоскость рентгенографической пленки. Дефекты, которые уменьшают путь, проходимый излучением в контролируемом веществе (неплотности всех видов типа трещин, непроваров, газовых пор и др.), или представляют собой включения материалов с меньшим коэффициентом ослабления излучения, чем основной материал (типа шлаковых включений и т.п.), выявляются в виде темных участков (проекцией дефектов в направлении просвечивания на плоскости рентгеновской пленки). Так, например, трещины выявляются в виде темных тонких, иногда разветвленных извилистых линий. Непровары имеют вид правильных темных линий, поры – вид темных пятен округлой формы, шлаковые включения – вид пятен и точек неправильной формы и т.п.

Большую сложность для радиографов представляет выявление усталостных повреждений, особенно трещин. Наилучшая выявляемость трещин обеспечивается в случае, когда плоскость разрыва металла совпадает с направлением просвечивания в пределах угла не свыше 5 град. Ширина

трещины должна быть не менее нескольких десятков микрометров, даже если просвечивается небольшая толщина (менее 20 мм стали), глубина – 2–10%.

Трещины, подверженные действию сжимающих нагрузок, не выявляются при просвечивании. В целях повышения чувствительности и выявляемости трещин в узлах и элементах конструкций в ряде случаев необходимо в зоне контроля создавать растягивающие усилия, обеспечивающие раскрытие трещин, например, с помощью домкратов, избыточного давления (наддува) и т.п. Трещины, заполненные маслом или другими загрязнениями, при рентгеновском просвечивании выявляются плохо. Схемы нагружений и величины нагрузок должны устанавливать конструкторы – разработчики изделий.

При назначении радиографического контроля для обнаружения усталостных трещин (разрушений), которые могут образоваться в процессе эксплуатации изделий, надо учитывать, что они развиваются от концентраторов вблизи плоскости, перпендикулярной нормальным напряжениям. Такими концентраторами напряжений могут быть дефекты сварного соединения, не выявленные в процессе производства, отверстия, переходы сечений, различные кромки, коррозионные поражения, механические поражения, механические повреждения материала типа царапин, забоин и т.п.

При организации и освоении радиационно-дефектоскопического контроля разрабатываются самостоятельные производственные инструкции или технологические рекомендации с учетом специфики контроля конкретных изделий, характеристик используемых источников излучения, оптимальных схем и режимов просвечивания.

### ***3. Типовые методики выбора режимов радиоскопического контроля***

#### ***3.1. Материал и толщина контролируемого объекта***

Материал и толщина  $d$  контролируемого объекта являются исходными параметрами, определяющими выбор режимов радиоскопического контроля.

### *3.2. Нормы дефектов (требования к качеству контролируемого объекта)*

В России допустимые размеры дефектов в контролируемых объектах указываются в чертежах на объекты, технических условиях, правилах их контроля и приемки или в нормативно-технической документации (НТД) – государственных и отраслевых стандартах, производственных инструкциях и т.п.

Допустимые дефекты сварных соединений могут быть определены по классу сварного соединения ГОСТ 23055, или по классу чувствительности контроля ГОСТ 7512, или с учетом ухудшения выявляемости дефектов при радиоскопическом контроле, как правило, движущихся объектов.

В Европе контролируемые объекты и радиоскопическую технику разделяют на два класса:

- класс А – обычная техника;
- класс В – улучшенная техника.

В США обычно требуемым уровнем качества радиоскопии (или «радиографии в реальном масштабе времени») является ее чувствительность в 2% (уровень 2–2Т по пенетрометрам ASTM E 142).

Конкретизация по нормам дефектов, исходя из чувствительности различных радиоскопических систем к выявлению дефектов, содержится в стандартах ASTM:

- ASTM E 1000 «Standard Guide for Radioscopy»;
- ASTM E 1255 «Standard Practice for Radioscopy»;
- ASTM E 1416–92 «Standard Test Method for Radioscopic Examination of Weldments».

### *3.3. Определение чувствительности контроля и выбор эталонов чувствительности (пенетрометров или индикаторов качества изображения)*

Чувствительность радиоскопического контроля определяют в начале и в конце каждой партии контролируемых деталей, а также в начале и конце рабочей смены по соответствующим эталонам чувствительности, устанавливаемым или на движущийся с рабочей скоростью, или на неподвижный объект. В последнем

случае необходимо учесть последующее ухудшение чувствительности контроля при движении контролируемого объекта.

В России для целей радиоскопического контроля, так же как и для радиографии, применяют проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны ГОСТ 7512.

При этом чувствительность контроля  $K$  (мм) и номер соответствующего эталона чувствительности выбирают в соответствии с нормами дефектов (см. п. 3.2) с учетом скорости контроля.

В Германии при радиоскопическом контроле применяют проволочные эталоны DIN 54109 и пластинчатые эталоны по системе MIL-STD-453.

В США для радиоскопического контроля объектов и приемки радиоскопического оборудования обычно устанавливают уровень 2–2Т (2%) по пенетрометрам ASTM E 142, если по соглашению между потребителем и поставщиком не требуется более высокий или более низкий уровень контроля.

#### *3.4. Выбор энергии излучения (напряжения на рентгеновской трубке или энергии ускорителя электронов)*

В России необходимый диапазон энергий излучения выбирают в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 31, устанавливающей область применения радиоскопического метода контроля (ГОСТ 20426). Энергии излучения при просвечивании материалов, не указанных в табл. 31, определяют по эквивалентной толщине материала по методике, приведенной в п. 2.4.

В европейских странах диапазон энергий излучения для радиоскопического контроля выбирают по тем же критериям, что и в России. Энергию излучения при радиоскопическом контроле материалов, не указанных в табл. 31, определяют с использованием коэффициентов радиографической эквивалентности (см. табл. 9). При определении энергии излучения следует использовать указанный в табл. 31 материал,

радиографическая плотность которого близка к радиографической плотности материала контролируемого объекта.

Таблица 31.

Область применения радиоскопического метода контроля

Толщина просвечиваемого материала, мм							Преобразователь изображения при контроле собранных узлов и изделий, а также		Напряжение на рентгеновской трубке, кВ
Сплавы на основе				Неметаллические материалы со средним атомным номером (плотность, г/см <sup>3</sup> )			сварных и клепаных соединений	отливок, паяных и клепаных соединений	
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)			
0,05–6	0,2–8	0,5–15	1–20	1–17	1–90	1–130	Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом, РЭОП	Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом, РЭОП, флуороскопический экран	10–120
4–12	8–25	15–30	20–40	17–25	90–120	130–170	РЭОП, рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом или флуоресцирующим экраном	РЭОП, рентгенотелевизионная установка с флуоресцирующим экраном или сцинтилляционным монокристаллом, сцинтилляционный монокристалл с ЭОП	50–180
12–20	25–40	30–50	40–70	–	–	–	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или сцинтилляционным монокристаллом	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП, флуоресцирующим экраном или сцинтилляционным монокристаллом	100–250
20–40	Св. 40	Св. 50	Св. 70	–	–	–	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом или РЭОП		200–300
40–60	–	–	–	–	–	–	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом и электронно-оптическим усилителем яркости изображения		220–400
Св. 60	–	–	–	–	–	–			1000–35000 кэВ*

\* В данном случае показана энергия ускорения электронов, так как источник излучения – бетатроны.

В США энергию излучения выбирают такой, чтобы толщина контролируемого материала составляла примерно пять слоев половинного ослабления

$$d \sim 5\Delta_{1/2}.$$

(11)

Поскольку

$$\Delta_{1/2} = 0,693/\mu,$$

где  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления излучения контролируемых материалов, из (11) получим следующее уравнение для выбора энергии излучения:

$$\mu d \approx 3,5. \quad (12)$$

Удовлетворительные результаты можно получить и в том случае, если от этого правила отступать не более чем в 2 раза, т.е. если

$$d \approx (2,5 \dots 10) \Delta_{1/2} \quad (13)$$

или

$$1,7 < \mu d < 7,0. \quad (14)$$

### *3.5. Выбор источника излучения (рентгеновского аппарата, ускорителя электронов)*

Для радиоскопического контроля выбирают источник, обеспечивающий наибольшую интенсивность излучения на поверхности преобразователя излучения и наименьшую геометрическую нерезкость.

Отечественные рентгеновские аппараты выбирают по табл. 11, ускорители электронов – по табл. 13.

В европейских странах конкретный источник излучения для радиоскопического контроля выбирают по таблицам, аналогичным табл. 14 и 16. Зачастую источник излучения входит в состав конкретной радиоскопической установки (установки типа МУ фирмы «Филипс» (Германия), установки типа ДР фирмы «Зейферт» (Германия)) и приобретается вместе с этой установкой.

В США используются и могут быть выбраны для радиоскопического контроля те же источники излучения, что указаны в табл. 14 и 16.

### *3.6. Определение интенсивности излучения (анодного тока рентгеновской трубки, радиационного выхода ускорителей электронов) и размеров фокусного пятна излучателя*

Интенсивность излучения источников. Максимальный анодный ток рентгеновских излучателей (в мА), радиационный выход (мощность

экспозиционной дозы) ускорителей электронов (бетатронов или линейных ускорителей) [в Кл/(кг·с) или Р/мин (Р/с)] на определенном расстоянии от мишени ускорителя определяют для конкретных излучателей по табл. 11, 13, 14 и 16.

Размеры фокусного пятна излучателя  $\Phi$  (в мм) определяют также для конкретных излучателей по табл. 11, 13, 14 и 16.

### 3.7. Выбор преобразователя изображения

Для получения информации при радиоскопическом контроле используют один из следующих преобразователей изображения – одну из следующих радиоскопических систем (рис. 16):

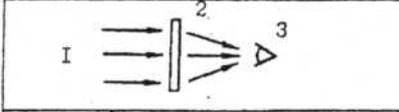
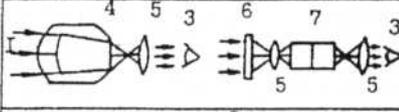
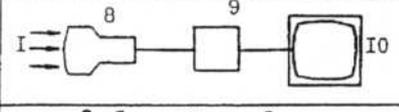
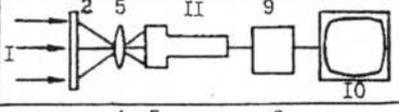
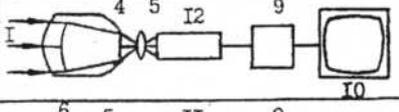
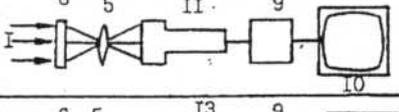
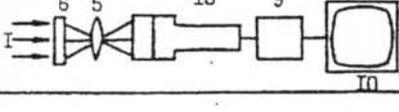
Схема установки	Радиоскопическая система
	Флуороскопический экран
	РЭОП или сцинтилляционный кристалл и ЭОУ
	Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконном
	Рентгенотелевизионная установка с флуоресцирующим экраном
	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП
	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом
	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилл. монокр. и ЭОУ

Рисунок 16. Схемы основных радиоскопических систем:

1 – рентгеновское излучение; 2 – флуороскопический экран, 3 – глаза оператора, 4 – РЭОП, 5 – оптическая система, 6 – сцинтилляционный монокристалл, 7 – ЭОУ, 8 – рентгеновидикон, 9 – телевизионный канал связи, 10 – телевизионный приемник, 11 – изокон, 12 – видеокон, 13 – суперортикон с ЭОУ (суперизокон)

– флуороскопический экран;

- рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП) или сцинтилляционный монокристалл с электронно-оптическим усилителем яркости изображения (ЭОУ);
- рентгенотелевизионную установку с рентгеновидикомом;
- рентгенотелевизионную установку с флуороскопическим экраном;
- рентгенотелевизионную установку с РЭОП;
- рентгенотелевизионную установку со сцинтилляционным монокристаллом;
- рентгенотелевизионную установку со сцинтилляционным монокристаллом и ЭОУ.

В России преобразователь изображения (радиоскопическую систему) выбирают в соответствии с ГОСТ 20426 по табл. 31 в зависимости от толщины и плотности материала и размеров контролируемых деталей и узлов.

Конкретную радиоскопическую установку следует выбирать по табл. 32 исходя из наилучшей чувствительности к дефектам, наиболее высокой разрешающей способности и наибольшей производительности контроля.

Таблица 32.

Технические характеристики отечественных рентгенотелевизионных установок

Наименование и тип установки	Фирма	Преобразователь излучения, размеры рабочего поля, мм	Чувствительность, %	Разрешающая способность, пар лин./мм	Скорость контроля, м/мм	Область применения
<i>Система со сцинтилляционным монокристаллом</i>						
Рентгенотелевизионный интроскоп «РИ-40Т»	МНПО «Спектр»	CsI (Ti) Ø200 мм	1–3	2–4	1–1,5	Контроль литья, сварки, композиционных материалов
<i>Система с рентгеновским электронно-оптическим преобразователем (РЭОП)</i>						
Рентгенотелевизионный интроскоп «РИ-61Т»	МНПО «Спектр»	РЭОП «УРИ-П» Ø160–200 мм	1,5–2	1,5	1–1,5	Контроль сварки, литья, композиционных материалов
<i>Система с рентгеновидикомом</i>						
Рентгенотелевизионный интроскоп «РИ-82Т»	МНПО «Спектр»	Рентгеновидикон Ø90 мм	0,5–1	5	0,1–0,5	Контроль сварки и литья
Рентгенотелевизионная установка «РТК-121»	НИИ «Платон» (г. Новгород)	Рентгеновидикон Ø90 мм	0,5	6	0,1–0,5	Контроль радиоэлектронных компонентов
Рентгенотелевизионная установка с накоплением информации на мишени рентгеновидикона	Научно-производственная фирма «Рецептор» (Москва – Саратов)	Рентгеновидикон Ø90 и 150 мм	0,2	10	0,1–0,5	Контроль сварки и литья

«РТУ-1Н»							
----------	--	--	--	--	--	--	--

В Европе при радиоскопическом контроле используют те же системы, что и в России. Наибольшее распространение получили рентгенотелевизионные системы с флуороскопическим экраном, рентгеновским электронно-оптическим преобразователем (РЭОП) и рентгеновидиконом.

Конкретную радиоскопическую установку выбирают по табл. 33.

Таблица 33.

Технические характеристики зарубежных радиоскопических установок

Наименование и тип установки	Фирма, страна	Преобразователь излучения, размеры рабочего поля	Передающая телевизионная трубка или камера на ПЗС*	Чувствительность	Разрешающая способность	Скорость контроля, м/мин	Область применения
<i>Установки с флуороскопическим экраном</i>							
Рентгенотелевизионная установка с высокочувствительной телевизионной камерой	«Филипс» Германия	Экран 240×320 мм	Видикон с кремниевой мишенью, сочлененный с секцией электронно-оптического усиления	3% алюминий	625 ТВ-линий	1–1,5	Контроль алюминиевых отливок и неметаллов
Рентгенотелевизионная установка «Индекс»	«Филипс» Германия	Экран 240×320 мм	Изокон	1% алюминий; 3% сталь	750–1000 ТВ-линий	1–1,5	Контроль отливок и неметаллов
<i>Установки с рентгеновским электронно-оптическим преобразователем (РЭОП)</i>							
Рентгенотелевизионные установки MU15F, MU17F, MU21F...MU11F	«Филипс» Германия	РЭОП $\varnothing$ 150 мм 230×170×130 мм, $\varnothing$ 300 мм	Пломбикон, ньювикон или камера на ПЗС	1–2% алюминий 16–160 мм; 2–3% сталь 7–32 мм	750 ТВ-линий	1–1,5	Контроль отливок и неметаллов
Рентгенотелевизионные установки DP-38, DP-119, DP-210, DP-235 и др.	«Зейферт» Германия	РЭОП $\varnothing$ 150–230 мм	Пломбикон	1–2% алюминий 2–3% сталь	750 ТВ-линий	1–1,5	Контроль отливок и неметаллов
<i>Установки с рентгеновидиконом</i>							
Рентгенотелевизионная система «Searchray»	«Филипс» Германия	Рентгеновидикон $\varnothing$ 18 мм	То же, что и преобразователь излучения	1,8–2% алюминий 2–20 мм; 2–3% сталь 1–10 мм	–	0,1–0,5	Контроль радиоэлектронных компонентов: печатных плат, транзисторов и т.д.

\*ПЗС - приборы с зарядовой связью.

В США при радиоскопическом контроле используют те же системы, что и в России.

Конкретную радиоскопическую установку выбирают по табл. 33.

Кроме установок, указанных в табл. 33, в США большое внимание уделяют установкам с наблюдением изображений на обычном флуороскопическом экране (флуороскопам), в которых защита оператора от излучения обеспечивается свинцовым стеклом. Из-за низких уровней яркости свечения флуороскопических экранов чувствительность к выявлению дефектов составляет всего 5–13%. Но этого может оказаться достаточно при выявлении грубых нарушений технологии литья, сварки и других техпроцессов.

### *3.8. Выбор механического манипулятора*

В России предприятие, осуществляющее радиоскопический контроль изделий, должно обеспечить проектирование и изготовление специализированного механического манипулятора с дистанционным управлением, выполняющего следующие операции:

#### при контроле малогабаритных деталей:

- механизированную подачу деталей (узлов) к преобразователю изображения;
- необходимые сканирующие перемещения детали (узла) относительно преобразователя изображения;
- дистанционную маркировку дефектных участков или детали (узла);
- транспортировку проконтролированных деталей (узлов) от преобразователей изображения;

#### при контроле крупногабаритных изделий:

- жесткое соосное крепление источника и преобразователя излучения;
- необходимые перемещения связанных между собой источника и преобразователя излучения относительно контролируемого изделия (или наоборот);
- дистанционную маркировку дефектных участков изделия.

Европейские фирмы-изготовители радиоскопических установок поставляют эти установки в комплекте с разнообразными механическими манипуляторами в сочетании с автономной биологической защитой

(установки типа МУ фирмы «Филипс» (Германия), установки типа ДР фирмы «Зейферт» (Германия) и т. п.).

В США используют в том числе и европейские радиоскопические установки в комплекте с механическими манипуляторами в сочетании с автономной биологической защитой.

### *3.9. Выбор режимов контроля*

К основным режимам дефектоскопического контроля с использованием радиоскопических установок относятся:

- напряжение на рентгеновской трубке  $U$ ;
- анодный ток рентгеновской трубки  $i$ ;
- ток фокусирующей катушки острофокусной рентгеновской трубки  $i_{\text{ф}}$ ;
- фокусное расстояние  $F$ ;
- расстояние от контролируемой детали до входного экрана преобразователя излучения  $a$ ;
- скорость контроля  $v$ .

В России режимы радиоскопического контроля выбирают следующим образом:

- напряжение на рентгеновской трубке  $U$  устанавливают в зависимости от толщины и плотности материала контролируемого объекта по данным, представленным на рис. 17;

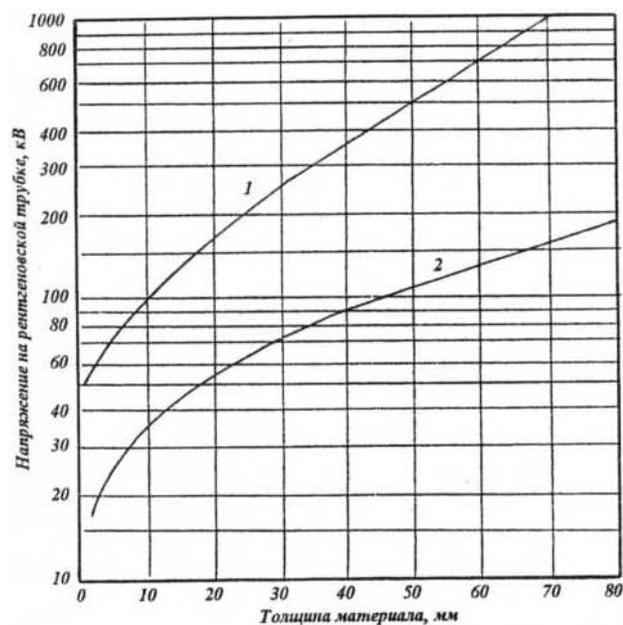


Рисунок 17. Максимальное напряжение на рентгеновской трубке при радиоскопическом контроле стали (1) и алюминия (2)

- анодный ток рентгеновской трубки  $i$  выбирают максимально возможным для данного типа рентгеновской трубки;
- ток фокусирующей катушки острофокусной рентгеновской трубки  $i_{\phi}$  заранее определяют по наилучшей четкости изображения просвечиваемого проволочного эталона для всех напряжений на рентгеновской трубке;
- фокусное расстояние (расстояние от анода рентгеновской трубки до входного окна преобразователя излучения) следует устанавливать минимально возможным в диапазоне 5–50 см исходя из условий манипулирования контролируемой деталью в процессе контроля, а также из требований по чувствительности к дефектам;
- расстояние от контролируемого объекта до экрана преобразователя излучения следует устанавливать минимально возможным и не свыше одной трети фокусного расстояния, а при работе с острофокусными трубками – не свыше половины фокусного расстояния;
- скорость перемещения контролируемого объекта перед экраном преобразователя излучения следует устанавливать в соответствии с требуемой чувствительностью к дефектам и производительностью контроля. Для установок с флуороскопическими экранами, сцинтилляционными

монокристаллами и РЭОП она не должна превышать 1–1,5 м/мин, а для установок с рентгеновидиконами – 0,1–0,5 м/мин.

В европейских странах режимы радиоскопического контроля материалов выбирают по аналогии с Россией.

В США режимы радиоскопического контроля материалов выбирают также по аналогии с Россией за исключением скорости контроля. По американским стандартам максимальная скорость объекта при его радиоскопическом контроле может составлять 4,5 м/мин.

### *3.10. Методика контроля и разбраковки контролируемых объектов*

Перед проведением контроля, детали и изделия необходимо тщательно осмотреть, обратив особое внимание на удаление всех поверхностных дефектов, и рассортировать детали по группам с таким расчетом, чтобы проводить контроль с минимальным количеством изменений режимов.

Перед контролем первой детали определяют чувствительность контроля по установленному на ней эталону чувствительности.

Контроль деталей и узлов радиоскопическим методом следует проводить, используя дистанционно управляемый механический манипулятор, который обеспечивает крепление и необходимые перемещения контролируемого объекта и отметку на нем дефектных мест.

При радиоскопическом контроле соединений и деталей качество контролируемого объекта оценивают непосредственно во время его просвечивания. При разбраковке контролируемых соединений и деталей необходимо руководствоваться допустимыми нормами дефектов на объект, как указано в п. 3.2.

Регистрацию результатов контроля следует проводить путем видеозаписи изображений дефектных участков на лазерных дисках или другим способом, согласованным с заказчиком.

## ***Квалификационные характеристики специалистов I, II и III уровней по радиационному неразрушающему контролю (НК)***

Ниже приведены общие для всех стран (международные) квалификационные характеристики специалистов I, II и III уровней.

### ***Квалификационная характеристика специалиста I уровня по радиационному НК***

Специалистом I уровня по радиационному НК является оператор-дефектоскопист, который на предприятии выполняет работы в соответствии со вторым разрядом дефектоскописта рентгеногаммаграфирования. Он имеет право производить радиационный НК (радиография, электрорентгенография, рентгенотелевидение) сварных соединений, литья, композитных материалов в соответствии с правилами контроля, инструкциями и стандартами без выдачи заключения о качестве контролируемого объекта под контролем специалиста II или III уровня по радиационному НК.

Специалист I уровня по радиационному НК должен знать:

- элементарные сведения по физике, электротехнике и электронике;
- физические основы радиационного НК, классификацию методов радиационного НК;
- принцип действия рентгеновских аппаратов, гамма-дефектоскопов и других источников ионизирующих излучений;
- основы взаимодействия проникающих излучений с веществом;
- характеристики различных детекторов ионизирующих излучений, свойства рентгеновских пленок;
- назначение фотореактивов и правила обращения с ними;
- способы зарядки пленки;
- рациональную организацию рабочего места, правила безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и электробезопасности.

Специалист I уровня по радиационному НК должен уметь:

- выполнять радиационный НК сварных соединений, литых и композитных материалов;
- подготавливать изделия к контролю;
- выполнять разметку и нумерацию участков при просвечивании изделий различной формы в соответствии с режимами контроля;
- выполнять фотообработку рентгеновских пленок и расшифровку рентгеновских снимков;
- классифицировать результаты контроля и подготавливать заключение о результатах контроля;
- в соответствии с инструкциями устанавливать оптимальные режимы работы приборов;
- соблюдать правила безопасности труда, радиационной безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и электробезопасности.

*Квалификационная характеристика специалиста II уровня по радиационному НК*

Специалистом II уровня по радиационному НК является специалист, который на предприятии может выполнять работы, соответствующие третьему – шестому разряду дефектоскописта рентгеногаммаграфирования. Он имеет право самостоятельно проводить радиационный НК, должен обладать компетентностью в выборе метода контроля, в настройке и калибровке аппаратуры, интерпретации результатов контроля в соответствии с нормативно-технической документацией.

Специалист II уровня по радиационному НК должен знать:

- физические основы радиационного НК;
- основы теории выявления дефектов при радиационном НК;
- взаимодействия проникающих излучений с веществом;
- принцип действия, устройство и особенности обслуживания рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующего излучения;

- структурные схемы, технические данные и устройство основных типов рентгеновских дефектоскопов, толщиномеров и плотномеров;

- правила, стандарты и коды по проведению радиационного неразрушающего контроля.

Специалист II уровня по радиационному НК должен уметь:

- проводить радиационный НК изделий особой сложности при помощи стандартных и передвижных источников ионизирующего излучения;

- определять характер неисправности и производить настройку и градуировку аппаратуры, применяемой для рентгеногаммадефектоскопии, а также дозиметрической аппаратуры;

- проводить экспериментальные работы по определению оптимальных режимов контроля изделий особой сложности;

- самостоятельно выбирать наиболее эффективные средства радиационного НК;

- выдавать заключения о качестве контролируемой продукции по результатам радиационного НК;

- обеспечивать и контролировать безопасную работу специалистов первого уровня по радиационному НК;

- выполнять обязанности по подготовке специалистов I уровня по радиационному НК.

### *Квалификационная характеристика специалиста III уровня по радиационному НК*

Специалистом III уровня по радиационному НК является ответственный специалист, как правило инженер, имеющий ученую степень, которому предоставляется право самостоятельно выполнять радиационный НК и руководить работами специалистов I и II уровня с выдачей заключения о качестве контролируемого изделия.

Он может разрабатывать инструкции, методики и технологические карты радиационного НК и быть рекомендован на должность руководителя подразделения НК предприятия.

Специалист III уровня по радиационному НК должен знать:

- теорию радиационного НК;
- способы выделения и обработки информации о контролируемых изделиях;
- принципы построения и структурные схемы систем и аппаратуры радиационного НК;
- требования к проведению радиационного контроля в соответствии с правилами, стандартами и кодами, действующими в России и за рубежом;
- виды дефектов и их влияние на качество изделий в соответствии с правилами контроля, стандартами и кодами;
- технологию акустического, вихретокового, магнитного и других методов НК.

Специалист III уровня по радиационному НК должен уметь:

- выбирать оптимальный метод и средства радиационного НК;
- определять оптимальный режим радиационного НК;
- составлять методики, инструкции, правила и технологические карты на проведение радиационного НК;
- составлять инструкции по радиационной безопасности и действиям персонала в критических ситуациях;
- интерпретировать и оценивать результаты радиационного контроля, в соответствии с этими результатами выдавать заключения о качестве контролируемых изделий;
- разрабатывать метрологическое обеспечение радиационного НК;
- вести подготовку специалистов I и II уровня и участвовать в их аттестации.

### **Список литературы:**

1. ГОСТ 7512. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
2. ГОСТ 20426. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.

3. ГОСТ 23055. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96): Гигиенические нормативы. М.: Информац.-издат. центр Госкомсанэпиднадзора России. 1996. 127 с.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. М.: Энергоатомиздат, 1988. 160 с.
6. Санитарные правила при проведении рентгеновской дефектоскопии №2191-80. М.: Минздрав СССР, 1980. 36 с.
7. Санитарные правила при радиоизотопной дефектоскопии №1171-74. М.: Минздрав СССР, 1974. 27 с.
8. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ ПБТРВ-73. М.: Атомиздат, 1974. 22 с.
9. EN 444 Non-destructive testing – General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamma-rays.
10. EN 473 Qualifications and certification of non-destructive testing personnel – General principles.
11. EN 584-1 Non-destructive testing – Industrial radiographic film – Classification of film systems for industrial radiography.
12. DIN-54109 Bildgute von Röntgen und Gamma – Filmaufnahmen an metallischen Werkstoffen.
13. ASTM E 94 Standard Practice for Radiographic Testing.
14. Румянцев С.В. Радиационная дефектоскопия. М.: Атомиздат, 1974. 512 с.
15. Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. М.: Атомиздат, 1972. 352 с.
16. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. М.: Энергоиздат, 1982. 240 с.
17. Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Теория и практика радиационного контроля. М.: Машиностроение, 1998. 170 с.
18. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И., Азаров Н.Т. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. М.: Машиностроение, 1976. 335 с.
19. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. М.: Атомиздат, 1979. 200 с.
20. Рентгенотехника: Справочник. В 2 кн. /Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, Кн. 1. 1992. 480 с. Кн. 2. 1992. 368 с.

21. Горбунов В.И., Покровский А.В. Радиометрические системы радиационного контроля. М.: Атомиздат, 1979. 120 с.
22. Электрорадиография /И.П. Варанецкас, Р.А. Кавалюскас, А.И. Каминскас, Ю.К. Ракаускас. М.: Атомиздат, 1974. 264 с.
23. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986. 207 с.