В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.В. Ефимов, В.Ф. Шумихин

ПРАКТИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптотехники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение

> Издательство Томского политехнического университета 2009

Кулешов В.К.

К90 Практика радиографического контроля: учебное пособие / В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.В. Ефимов, В.Ф. Шумихин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 288 с.

ISBN 978-5-98298-861-4

В пособии изложен систематизированный методический обучающий материал, гармонизированный с требованиями международных стандартов и содержащий совокупность практических вопросов радиографии сварных швов из металла, включая технологии радиографического контроля различных опасных объектов с учетом однородных групп изделий и использованием основополагающей национальной нормативно-технической документации, утвержденной директивными и надзорными органами Госстандарта РФ в виде ГОСТов, Правил, Технических условий, Методик, Руководящих документов и т.д.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Неразрушающий контроль».

УДК 681.518.Б4

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТГАСУ О.И. Недавний

Кандидат технических наук заведующий лабораторией НИИ интроскопии *А.К. Темник*

ISBN 978-5-98298-861-4

- © Томский политехнический университет, 2009 © Кулешов В.К., Сертаков Ю.И.,
- Ефимов П.В., Шумихин В.Ф., 2009
- © Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение программ обучения по радиационному контролю Национального аттестационного комитета (НАК) РФ, Российского общества неразрушающего контроля и технической диагностики (РОНКТД), требований, изложенных в национальных стандартах, стандартах ISO, разработанных техническим комитетом ISO TG/135 «Неразрушающий контроль», европейским комитетом по стандартизации (CEN), рядом национальных организаций – AFNOR (Франция), ANS (США), BSI (Великобритания), DIN (Германия) – показывает, что и в настоящее время главным и актуальным направлением радиационного неразрушающего контроля является радиографический контроль сварных соединений и рассмотрение технологий радиографического контроля для опасных объектов с учетом однородных групп изделий.

Предметом содержания стандартов ISO, EN и т. д. является совокупность вопросов, включая терминологию, основные положения неразрушающего радиационного контроля, качество контроля, источники излучения, контроль и приемка сварных соединений, контроль литых изделий и т. д. Например, ISO 4993 относится к радиографии стального литья; ISO 11484 – стальных труб высокого давления, ISO 5655 – промышленной радиографии; ISO 7004 – промышленной радиографической пленке; радиографический контроль сплавных сварных соединений толщиной до 200 мм – в ISO 1106-1, ISO 1106-2, ISO 1106-3; радиографический контроль сварных соединений – в евростандарте EN 1435; для контроля изделий атомной энергетики – аппараты для промышленной гаммаграфии – в ISO 3999-1, ISO 3999-2, ISO 3999-3 и т. д. Кроме того, радиационные методы изложены в стандартах ISO/TG 135 НК SC5; промышленная рентгеновская и гамма-радиология – ISO 5576; радиографический контроль металлических материалов рентгеновским и гамма-излучением – ISO 5579. Для стандартов CEN/TG 121/SC 5В «Неразрушающий контроль сварных соединений» общие положения для металлических изделий изложены в EN 1435; радиографический контроль труб – в EN 10246-10. Существуют и проекты стандартов, например, радиографический контроль литья – prEN 12681-5; негорючие сосуды высокого давления prEN 1345-5; металлические промышленные трубы – prEN 13480-5; оболочечные бойлеры prEN 12953-5. В стандартах ASTM США термины радиографии рассмотрены в Е 1316; оборудование радиографии – Е 1165; эталоны радиографии – Е 2002, Е 142, Е 592, Е 747, Е 1025; общие правила радиографии – Е 94, Е 1742; радиография сварки – Е 1032; радиография отливок – Е 155.

Рассмотрение содержания национальных стандартов России и международных стандартов, программ обучения обуславливает необходимость и актуальность создания систематизированного методического и обучающего материала, в котором изложена совокупность практических вопросов по радиографии сварных швов, гармонизированная с требованиями международных стандартов.

Указанные цели и задачи стали основой разработки учебного пособия «Практика радиографического контроля» предназначенного для студентов, обучающихся по специальности 200102 «Приборы и методы контроля качества и диагностики» и по направлению 220500 «Управление качеством», специальности 220501 «Управление качеством» и для использования в системе переподготовки, повышения квалификации и аттестации специалистов в области неразрушающего радиационного контроля. Пособие может использоваться для сдачи квалификационного экзамена на I, II, Ш уровни квалификации по радиационному неразрушающему контролю. В пособии изложены основы радиографического контроля сварных швов из металла, приведены технологии радиографии для различных опасных объектов с учетом однородных групп изделий. Использована основополагающая национальная нормативно-техническая документация в виде ГОСТов, Правил, Технических условий, Методик, Руководящих документов и т. д. В работе изложены термины и определения неразрушающего радиационного контроля, радиационные методы контроля, области применения с использованием стандартов ГОСТ 2034-82, ГОСТ 20426-82. Рассмотрены методы и средства промышленной радиографии, приведены физические основы и основные параметры радиографии, сравнительные характеристики методов промышленной радиографии (ГОСТ 15843-79). Изложены основы радиографии сварных соединений из металлов, выполненных сваркой плавлением с толщиной свариваемых деталей от 1 до 400 мм с применением рентгеновского и тормозного излучения и радиографической пленки (ГОСТ 7512-82, ОСТ 108.004.110-87).

Рассмотрено использование ГОСТ 7512–82 в контроле магистральных и промышленных трубопроводов; трубопроводов и оборудования АЭС; технологических трубопроводов; объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (в соответствии с РД 38.18.001-83); литых изделий с использованием рентгеновского и электрорентгеновского контроля (ПИ 1.2.226-83); контроле качества магистральных и промысловых трубопроводов (ВСН-012-88); сосудов и аппаратов, работающих под давлением (ОСТ 2611-03-84); сварных соединений и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭГ-07-017-89). Приведены основные положения радиографического контроля объектов атомных электростанций (ОСТ 108.004.110-87).

Изложены принципы импульсной радиографии с использованием импульсных рентгеновских аппаратов, приведены характеристики, конструктивные особенности импульсных рентгеновских аппаратов, используемых в настоящее время в практике радиографического контроля: «МИРА-2Д»; «АРИНА-02», «НОРА», «ПИОН», современных аппаратов типа РАП, разработанных ООО «Фотон» НИИ Интроскопии.

В заключительных разделах пособия рассмотрены основные положения обеспечения радиационной безопасности при радиографическом контроле, вопросы стандартизации и гармонизации требований стандартов, сравнительные характеристики типовых методик радиографического контроля в России, Германии, США.

ГЛАВА 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В РАДИАЦИОНОМ КОНТРОЛЕ

Рассмотрим термины и определения основных понятий в области неразрушающего радиационного контроля материалов с иностранными эквивалентами терминов на немецком (D), английском (E) и французском (F) языках в соответствии с [1].

1.1. Основные понятия

 Радиационный нераз- рушающий контроль Радиационный контроль E. Radiation nondestructive testing Radiation inspection 	 вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом. Примечание. В наименовании методов контроля, приборов, характеристик и т. д. слово «радиационный» может заменяться словом, обозначающим конкретный вид ионизирующего излучения (например, рентгеновский, нейтронный и т. д.).
 Узкий пучок ионизи- рующего излучения Узкий пучок Narrow beam of ionizing radiation 	 ионизирующее излучение, состоящее до вза- имодействия со средой из первичного направ- ленного излучения, а после взаимодействия с ней – из части первичного излучения, не ис- пытавшего взаимодействия со средой.
 Широкий пучок иони- зирующего излучения Широкий пучок Broad beam of ionizing radiation 	 ионизирующее излучение, состоящее до вза- имодействия со средой из первичного направ- ленного излучения, а после взаимодействия с ней – из части первичного излучения, не ис- пытавшего взаимодействия со средой, и рассе- янного излучения.
 Радиационная толщина Radiation thickness 	 суммарная длина участков оси рабочего пучка направленного первичного ионизиру- ющего излучения в материале контролируе- мого объекта.
5. Эквивалентная радиа- ционная толщина	 величина, характеризующая поглощающую способность контролируемого объекта и рав-

E. Equivalent radiation thickness	ная радиационной толщине однородной пла- стины из материала, принятого за эквивалент, в которой плотность потока энергии узкого пучка ионизирующего излучения ослабляется так же, как в контролируемом объекте.
 6. Рабочий пучок иони- зирующего излучения 	 пространственно ограниченная часть потока первичного ионизирующего излучения, пред- назначенная для практического применения.
 Неиспользуемое иони- зирующее излучение 	 первичное ионизирующее излучение вне границ рабочего пучка ионизирующего из- лучения.
 8. Эффективное фокусное пятно источника ионизирующего излучения Фокусное пятно E. Effective focal spot of ionizing radiation source 	 проекция излучающей области источника ионизирующего излучения на плоскость, перпендикулярную оси рабочего пучка ионизирующего излучения.

1.2. Преобразование радиационного изображения и эталоны чувствительности неразрушающего радиационного контроля

9. Радиационное изобра-	– изображение, сформированное ионизиру-
жение	ющим излучением в результате его взаимо-
E. Radiation image	действия с контролируемым объектом.
 Радиографический снимок Радиограмма E. Radiogram 	 распределение плотности почернения или цвета на рентгеновской пленке и фото- пленке, коэффициента отражения света на ксерографическом снимке и т. п., соот- ветствующее радиационному изображению контролируемого объекта.
 Преобразователь ради- ационного изображения Радиационный преобразователь Radiation image converter 	 устройство для преобразования радиаци- онного изображения в изображение друго- го вида.

7

12. Геометрическая нерезкость радиационного изображения Геометрическая нерезкость

 нерезкость радиационного изображения, обусловленная конечными размерами эффективного фокусного пятна источника ионизирующего излучения или геометрическими параметрами устройства, формирующего радиационное изображение.

13. Эталончувствительностирадиационного контроляЭталончувствительностиE. Sensitivity standardof radiation inspection

 установленный нормативными документами по форме, составу и способу применения тест-образец с заданным распределением значения контролируемого параметра, предназначенный для определения абсолютной или относительной чувствительности радиационного контроля.

14. Проволочный эталон чувствительности радиационного контроля Проволочный эталон

 набор проволочек установленных длин и диаметров, изготовленных с заданной точностью из материала, основа которого по химическому составу аналогична основе контролируемого материала.

 Канавочный эталон
 чувствительности радиационного контроля
 Канавочный эталон пластина с канавками установленных форм и размеров, изготовленная с заданной точностью из материала, основа которого по химическому составу аналогична основе контролируемого материала.

 16. Пластинчатый эталон чувствительности радиационного контроля
 Пластинчатый эталон
 – пластина с цилиндрическими отверстиями установленных форм и размеров, изготовленная с заданной точностью из материала, основа которого по химическому составу аналогична основе контролируемого материала.

1.3. Методы радиационного неразрушающего контроля

17. Радиометрический – метод радиационного неразрушающего контроля
 Радиометрия
 – метод радиационного неразрушающего или нескольких параметров ионизирующего излучения после его взаимодействия с контролируемым объектом.

 Радиографический метод неразрушающего контроля Радиография 	 метод радиационного неразрушающего контроля, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируе- мого объекта в радиографический снимок или записи этого изображения на запомина- ющем устройстве с последующим преобра- рованиом в оратовое изображение
 19. Метод радиационной интроскопии Радиационная интроскопия Радиоскопия 	 метод радиационного неразрушающего контроля, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на выходном экране радиационно-оптического преобразователя, причем анализ полученного изображения проводится в процессе контроля.
20. Метод радиационно- структурного анализа	 метод определения структуры материала контролируемого объекта, основанный на регистрации и анализе ионизирующего из- лучения, испытавшего дифракцию на кон- тролируемом объекте.
21. Метод радиационно- спектрального анализа	 метод определения химического состава материала контролируемого объекта, осно- ванный на анализе спектрального распреде- ления ионизирующего излучения, возникше- го в результате взаимодействия первичного

 22. Радиационная толщинометрия
 – радиометрический метод неразрушающего контроля, предназначенный для измерения толщины или поверхностной плотности материала и основанный на измерении параметров ионизирующего излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного ионизирующего излучения с контролируемым материалом.

мым объектом.

ионизирующего излучения с контролируе-

23. Флюорография – радиографический метод неразрушающего контроля, основанный на фотографировании светового изображения, возникающего

на флюоресцентном экране или на выходном экране радиационно-оптического преобразователя.

- 24. Электрорадиография радиографический метод неразрушающего контроля, основанный на преобразовании исходного радиационного изображения в рельеф электрического потенциала на полупроводниковой пластине с последующим преобразованием рельефа электрического потенциала в радиографический снимок.
- 25. Стереорадиография радиографический метод неразрушающего контроля, основанный на анализе стереопары радиографических снимков, полученных в результате преобразования двух исходных радиационных изображений, созданных двумя пучками ионизирующих излучений, между осями которых имеется заданный угол.
- 26. Цветовая радиографический метод неразрушающего радиография
 Ндп.
 Цветная радиография
 производятся в виде градаций цвета.
- 27. Радиационная– радиографический метод неразрушающеготомографияконтроля, позволяющий получать послойноТомографияизображения контролируемого объекта.
- 28. Флюороскопия метод радиационной интроскопии, в котором в качестве радиационнооптического преобразователя используется флюоресцентный экран.
- 29. Стереорадиоскопия метод радиационной интроскопии, основанный на анализе в процессе облучения стереопары выходных изображений, полученных в результате преобразования двух исходных радиационных изображений, созданных двумя пучками ионизирующих излучений, между осями которых имеется заданный угол.

1.4. Средства радиационного неразрушающего контроля

30. Компенсатор ионизи- рующего излучения Компенсатор	 дополнительное поглощающее тело (веще- ство), вводимое в зону рабочего пучка иони- зирующего излучения с целью улучшить условия регистрации радиационного изоб- ражения и анализа выходного изображения контролируемого объекта.
 Фильтр ионизирую- щего излучения Фильтр 	 совокупность поглощающих сред, предна- значенных для изменения энергетического спектра ионизирующего излучения.
32.Диафрагма ионизи- рующего излучения Диафрагма	 устройство, предназначенное для ограни- чения размеров поперечного сечения рабо- чего пучка ионизирующего излучения.
33. Коллиматор ионизи- рующего излучения Коллиматор	 устройство, предназначенное для формирования пучка направленного ионизирующего излучения.
34. Усилитель радиаци- онного изображения	 радиационно-оптический преобразова- тель, в котором за счет дополнительных ис- точников энергии, не связанных с ионизи- рующим излучением, в процессе облучения происходит радиационно-оптическое пре- образование с коэффициентом усиления яр- кости более 1.
35. Усилитель радиаци- онного изображения с электронно-оптическим преобразованием	 усилитель радиационного изображения, в котором усиление яркости изображения, сформированного ионизирующим излучени- ем на флюоресцентном экране, происходит за счет электронно-оптического преобразо- вания (ускорения фотоэлектронов электриче- ским полем и последующего преобразования фотоэлектронного изображения в видимое на катодолюминесцентном экране).
36. Негатоскоп	 устройство для просмотра снимков, полу- ченных на рентгеновской или фотографиче- ской пленке.

37. Радиационный тол- щиномер	 радиометрический прибор, предназначен- ный для измерения и (или) контроля толщи- ны или среднего значения поверхностной плотности контролируемого материала.
38. Радиационный уровнемер	 радиометрический прибор, предназначен- ный для измерения и (или) контроля поло- жения границы двух сред.
39. Радиационный плот- номер	 – радиометрический прибор, предназначенный для измерения среднего значения плотности твердых, жидких и газовых сред или их смесей.
40. Радиационный ин- троскоп	 устройство для проведения радиоскопии, включающее в себя источник ионизирующе- го излучения и систему радиационно- оптического преобразования, предназначен- ное для исследования внутреннего строения материалов и объектов.

1.5. Термины, характеризующее ионизирующее излучение

41.Обратно-рассеянное	- рассеянное ионизирующее излучение, вы-
ионизирующее	ходящее из облучаемого объекта в простран-
излучение	ство между объектом и источником первич-
	ного ионизирующего излучения.

42. Эффективный ли-	– коэффициент, характеризующий ослабление
нейный коэффициент	немоноэнергетического ионизирующего излу-
ослабления ионизрую-	чения в данном объекте и равный линейному
щего излучения	коэффициенту ослабления такого моноэнерге-
Эффективный линейный	тического излучения, плотность потока энер-
коэффициент	гии которого ослабляется этим объектом так
ослабления	же, как плотность потока энергии рассматри-
	ваемого немоноэнергетического излучения.
43. Эффективная энер- гия ионизирующего	 – характеристика немоноэнергетического из- лучения, равная энергии такого моноэнерге-

 - характеристика немоноэнергетического излучения, равная энергии такого моноэнергеизлучения
 - характеристика немоноэнергетического излучения, равная энергии такого моноэнергетического излучения, плотность потока энергии которого в узком пучке ослабляется заданным объектом так же, как плотность потока энергии рассматриваемого немоноэнергетического излучения.

- 44. Изображение распределение на плоскости (поверхности) какого-либо физического параметра (плотности потока энергии излучения, напряженности поля, проводимости, коэффициента пропускания и т. д.), содержащее информацию об изображаемом (контролируемом) объекте.
 Примечание. Излучение, поле или состояние вещества одной физической природы могут подразделяться на изображения нескольких видов в зависимости от выбора параметра, характеризующего данное излучение, поле или состояние вещества.
- Фон изображения примыкающая к рассматриваемому эле Фон менту изображения или окружающая его об ласть изображения, границы которой опре деляются данной задачей обнаружения
 элемента изображения.
- 46. Контраст элемента отношение разности между средними знаизображения чениями физического параметра изображеконтраст ния на площади рассматриваемого элемента и площади фона к среднему значению этого параметра на площади фона.

47. Максимальный контраст элемента изображения
Максимальный контраст
Максимальный контраст
максимальна по абсолютной величине, к значению физического параметра в выбранной точке фона изображения.

48. Пороговый контраст преобразователя изображения
 Пороговый контраст пороговый контраст
 Пороговый контраст пороговый контраст
 Пороговый контраст поцадь рассматриваемого элемента должна быть достаточно большой (такой, чтобы дальнейшее ее увеличение не могло увеличить вероятность обнаружения элемента).

ГЛАВА 2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Приведем термины и определения основных понятий в области сварки металлов с иностранными эквивалентами на немецком языке (D) на английском языке (E) и на французском языке (F), в соответствии с [2].

- 1. Сварка
 – получение неразъемных соединений посредством

 D. Schweissen
 установления межатомных связей между соединяе
- E. Welding мыми частями при их нагревании и (или) пластиче-
- F. Soudage ском деформировании.

2.1. Виды сварки

- 2. Ручная сварка D. Hand schweissen: Manuelles schweisse
- D. Hand schweissen; Manuelles schweissen
- E. Manual welding; Hand welding
- F. Soudage manuel

Механизированная сварка
 D. Mechanisiertes schweissen;

- Maschinelles schweissen
- E. Mechanized welding
- F. Soudage automatique
- 4. Автоматическая сварка
- D. Automatisches schweissen;
- Vollautomatisches schweissen
- E. Automatic welding
- F. Soudage automatique
- 5. Сварка плавлением
- D. Schmelz schweissen
- E. Fusion welding
- F. Soudage parfusion
- 6. Наплавка
- D. Auftrags schweissen
- E. Surfacing; Building-up welding;
- Overlaying
- F. Rechargement deposition

 сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника.

 сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.

 сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе, без непосредственного участия человека.

 сварка, осуществляемая местным сплавлением соединяемых частей без приложения давления.

 нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия.

7. Дуговая сварка D. Lichtbogen schweissen E. Arc welding F. Soudage a l'arc 8. Дуговая сварка плавящимся электродом; Сварка плавящимся электродом D. Lichtbogen schweissen mit abschmelzender elektrode; Schweissen mit abschmelzender elektrode E. Consumable electrode arc welding; MIG-weiding; MAG-welding F. Soudage a l'arc avec electrode consumable; Soudage MIG (MAG) 9. Дуговая сварка под флюсом; Сварка под флюсом D. Unterpulverlichtbogen schweissen; Unterpulverschweissen; UP-Schweissen E. Submerged arc weldind F. Soudage a l'arc sous flux solide

- сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой.

- дуговая сварка, выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом.

 – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.

10. Дуговая сварка в защитном газе; Сварка в защитном газе Ндп. Газоэлектрическая сварка D. Schutzgaslichtbogenschweissen; Schutzgasschweissen E. Gas-shielded arc welding F. Soudage a l'arc sous protection gazeuse

11. Аргонодуговая сварка D. Argon-Lichtbogen schweissen; Argonarc schweissen E. Argon-arc welding F. Procede argonarc; Soudage a l'arc sous argon; Soudage a l'argonarc

12. Ручная дуговая сварка D. Handlichbogen schweissen; Lichtbogen hand schweissen, Lichtbogen schweissen von Hand; дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

 дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон.

 дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную.

E. Hand schweissen; ManuellesLichtbogen schweissenE. Manual arc welding; Hand arc weldingF. Soudage a l'arc manuel

13. Автоматическая дуговая сварка D. Automatisches Lichtbogen schweissen

- E. Automatic arc welding
- F. Soudage automatique a l'arc

14. Дуговая сварка по флюсу; Сварка по флюсу

D. Schweissen mit Pulverzugabe

- E. Semi-submerged arc welding
- F. Soudage avec addition de flux

15. Точечная дуговая сварка

- D. Lichtbogenpunktschweissen
- E. Arc spot welding
- F. Soudage par points a l'arc

16. Плазменная сварка
Ндп. Сварка плазменной дугой;
Плазменнодуговая сварка
D. Plasmaschweissen
E. Plasma-arc welding
F. Soudage au plasma d'arc (a l'arc plasma); Soudage au plasma

17. Электрошлаковая сварка;
Шлаковая сварка
D. Elektroschlackeschweissen;
ES-Schweissen
E. Electroslag welding
F. Soudage sous laitier
electroconducteur; Soudage electroslag

 механизированная дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляются механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе.

 дуговая сварка, при которой на свариваемые кромки наносится слой флюса, толщина которого меньше дугового промежутка.

 – дуговая сварка без перемещения электрода в плоскости, перпендикулярной его оси, в виде отдельных точек.

 сварка плавлением, при которой нагрев проводится сжатой дугой.

 сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак. 18. Электронно-лучевая сваркаD. ElektronenstrahlschweissenE. Electron beam weldingF. Soudage par faisceau delectrons;Soudage par bombardementelectronique

Газовая сварка
 D. Gasschweissen;
 Gasschmelzschweissen
 E. Gas welding
 F. Soudage autogene; Soudage a la flame

20. Наварка

- D. Aufragsschweissen mit Druck
- E. Welding-on with pressure
- F. Rechargement avec pression

21. Контактная сварка

- D. Widerstandsschweissen
- E. Resistance welding
- F. Soudage par resistance

22. Стыковая контактная сварка; Стыковая сварка

- D. Widerstandsstumpfschweissen
- E. Resistance butt welding
- F. Soudage en bout par resistance

23. Стыковая сварка оплавлением; Сварка оплавлением

- D. Abbrennstumpfschweissen
- E. Flash butt welding
- F. Soudage par etincelage

24. Стыковая сварка сопротивлением; Сварка сопротивлениемD. PressstumpfschweissenE. Upset welding; Resistance butt

welding

F. Soudage en bout par resistance

 сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия ускоренных электронов.

 сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки.

 нанесение слоя металла на поверхность изделия посредством сварки с применением давления.

сварка с применением давления, при которой используется
 тепло, выделяющееся в контакте
 свариваемых частей при прохождении электрического тока.

 контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов.

 стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла сопровождается оплавлением стыкуемых торцов.

 стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла осуществляется без оплавления стыкуемых торцов.

25. Точечная контактная сварка; - контактная сварка, при которой Точечная сварка сварное соединение получается D. Punktschweissen между торцами электродов, пе-E. Resistance-spot welding редающих усилие сжатия. F. Soudage par points 26. Рельефная сварка - контактная сварка, при которой D. Buckelschweissen сварное соединение получается E. Projection welding; Point welding на отдельных участках, обуслов-F. Soudage par bossages ленных их геометрической формой, в том числе по выступам. 27. Шовная контактная сварка; - контактная сварка, при которой Шовная сварка соединение свариваемых частей Ндп. Роликовая сварка происходит между вращающи-D. Rollennaht-Widerstandsschweissen; мися дисковыми электродами, Rollennahtschweissen; Nahtschweissen передающими усилие сжатия. E. Resictance-seam welding; Seam welding F. Soudage par resistance a la molette; Soudage a la molette; Soudage au galet 28. Шовно-стыковая сварка - контактная сварка с получением D. Rollennahtschweissen von стыкового шва вращающимися E. Butt-seam welding дисковыми электродами, относи-

F. Soudage au galet par ecrasement; Soudage la mollette par ecrasement

29. Сварка в контролируемой атмосфереD. Schweissen in kontrolierter Atmosphare

E. Welding under controlled atmosphere

F. Soudage en atmosphere controllee

2.2. Сварные соединения и швы

30. Сварное соединениеD. SchweissverbindungE. Welded jointF. Joint soudee; Assemblage soudee;Soudure

стыкового шва вращающимися дисковыми электродами, относительно которых перемещаются детали, собранные с небольшой нахлесткой или встык.

сварка, осуществляемая в камере, заполненной газом определенного состава.

18

 неразъемное соединение, выполненное сваркой. 31. Стыковое соединениеD. Stumpfstoss;StumpfschweissverbindungE. Butt jointF. Assemblage en bout; Joint en bout

32. Угловое соединениеD. Eckstoss; EckverbindungE. Corner joint; Fillet weldF. Joint d'angle; Soudure en corniche

 сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями.



 сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев.



33. Нахлесточное соединениеD. Uberlappstoss; UberlappverbindungE. Lap joint; Overlap jointF. Assemblage a recouvrement;Joint a recouvrement

сварное соединение, в котором
 сваренные элементы расположе ны параллельно и частично пере крывают друг друга.



34. Тавровое соединениеНдп. Соединение впритыкD. N-Stoss; T-VerbindungE. Tee joint; T-jointF. Assemblage en T; Joint en T

 сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента.

35. Торцовое соединениеНдп. Боковое соединениеD. StirnstossE. Edge joint; Flande jointF. Joint des plaques juxtapo sees;Joint a bords relevees

сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу.



36. Сварная конструкцияD. SchweisskonstruktionE. Welded structureF. Construction soudee	 металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдель- ных деталей.
37. Сварной узелD. Schweissteil; SchweisseinheitE. Welded assemblyF. Encemble soudee;Assemblage soudee	 часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к дру- гу элементы.
38. Сварной шов; ШовD. SchweissnahtE. WeldF. Soudure	 участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пласти- ческой деформации при сварке давлением или сочетания кри- сталлизации и деформации.
39. Стыковой шовD. Stumpfnaht; StossnahtE. Butt weldF. Soudure en bout; Soudure bout a bout	 сварной шов стыкового соеди- нения.
40. Угловой шов D. Kehlnaht E. Fillet weld F. Soudure d'angle	 сварной шов углового, нахле- сточного или таврового соедине- ний.
41. Точечный шовD. PunktschweissungE. Spot weldF. Soudure par points	 сварной шов, в котором связь между сваренными частями осу- ществляется сварными точками.
42. Сварная точкаD. SchweisspunktE. Weld spot; Weld pointF. Point de soudure; Point soudee	 – элемент точечного шва, пред- ставляющий собой в плане круг или эллипс.
43. Ядро точкиD. SchweisslinseE. Weld nugget; Spot weld nuggetF. Noyau de soudure; Lentille de soudure	 – зона сварной точки, металл ко- торой подвергался расплавлению.

44. Непрерывный шов Ндп. Сплошной шов D. Durchlaufende Naht E. Continuous weld; Uninterrupted weld F. Soudure continue

45. Прерывистый шов D. Unterbrochene Naht E. Interrupted weld; Intermittent weld F. Soudure discontinue; Soudure intermittente

46. Цепной прерывистый шов; Цепной шов

D. Symmetrisch unterbrochene Naht

E. Chain intermittent weld; Chain intermittent fillet weld

F. Soudure discontinue symmetrique

47. Шахматный прерывистый шов; Шахматный шов

F. Cordon support; Cordon a l'envers

- D. Unterbrochene versetzte Naht
- E. Staggered intermittent weld
- F. Soudure discontinue alternee

- сварной шов без промежутков по длине.

- сварной шов с промежутками по длине.

- двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого.



- двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны.

<u></u>
Canada - manan -

- меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва.

- короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей.

49. Прихватка D. Heftnaht

E. Tack weld

D. Gegennaht

E. Sealing bead

48. Подварочный шов

F. Soudure de pointage

50. Монтажный шов D. Baustellenschweissnaht; Montageschweissung E. Site weld F. Soudure de montage

51. Валик

D. Schweissraupe
E. Weld bead; Bead
F. Cordon
52. Слой сварного шва; Слой
D. Lage
E. Layer
F. Couche

53. Корень шва D. Nahtwurzel; Wurzel E. Weld root F. Racine de la soudure – сварной шов, выполняемый при монтаже конструкции.

 металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

 часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва.

 часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.



54. Выпуклость сварного шва; Выпуклость шва Ндп. Усиление шва D. Nahtuberhohung E. Weld reinforcement; Weld convexity F. Surepaisseur de la soudure

 выпуклость шва, определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.



55. Вогнутость углового шва;
Вогнутость шва
Ндп. Ослабление шва
D. Konkavitat der Kehlnaht
E. Fillet weld concavity
F. Concavite de la soudure

 вогнутость, определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости.



56. Толщина углового шваD. Nahthohe; KehlnahtdickeE. Fillet weld throat thicknessF. Epaisseur a clin; Epaisseur d'une soudure en angle

 наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла.



57. Расчетная высота углового шва; Расчетная высота шва

- D. Rechnerische Nahtdicke
- E. Design throat thickness
- F. Epaisseur nominale de la soudure

 – длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника.



58. Катет углового шва; Катет шва D. Schenkelfange; Nahtschenkel E. Fillet weld leg кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва

F. Cote de la soudure d'angle

мой части.



на поверхности второй сваривае-

 – расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением.

 коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине.

59. Ширина сварного шва; Ширина шва

D. Nahtbreite

E. Weld width

F. Largeur de la soudure

60. Коэффициент формы сварного шва; Коэффициент формы шва

D. Nahtformfaktor

E. Weld shape factor; Weld geometry factor

F. Facteur geometrique de la soudure

61. Механическая неоднородность сварного соединения; Механическая неоднородность

D. Mechanishe inhomogenifat

E. Mechanical heterogeneity

F. Heterogeneite mecanique

62. Разупрочненный участок сварного соединения; Разупрочненный участок

D. Infestigte Zone

E. Weakened zone

F. Zone affaiblie

2.3. Технология сварки

63. Направление сварки	– направление движения источ-
D. Schweissrichtung	ника тепла вдоль продольной оси
E. Direction of welding	сварного соединения.
F. Sens de la soudure; Direction de la	-
soudure	

металла.

 – различие механических свойств отдельных участков сварного соединения.

- участок зоны термического

влияния, в котором произошло

снижение прочности основного

64. Обратноступенчатая сваркаD. PilgerschrittschweissenE. Back-step sequence; Back-step welding; Step-back weldingF. Soudage a pas de pelerine

 сварка, при которой сварной шов выполняется следующими один за другим участками в направлении, обратном общему приращению длины шва.



65. Сварка блоками

D. Absatzweises Mehrlagenschweissen

E. Block sequence

66. Сварка каскадом

F. Soudage en cascade

E. Cascade welding

D. Kackadenschweissung

F. Soudage par blocs successifs

 – обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них.



 сварка, при которой каждый последующий участок многослойного шва перекрывает весь предыдущий участок или его часть.



 однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке и (или) наплавке.

 сварка, при которой направление сварки неизменно.

- 67. Проход при сварке; Проход
- D. Schweissgang
- E. Pass; Run
- F. Passe

68. Сварка на проход D. Einrichtungschweissen E. One direction welding

- Γ Conde an electron wereing
- F. Soudage dans un sens

69. Разделка кромокD. Fugenvorbereitung;Kantenvorbereitung; NahtvorbereitungE. Edge preparationF. Preparation des bords; Chanfreinage

70. Скос кромки D. Kantenabschragung E. Edge beveling F. Chanfrein

71. Притупление кромкиD. StegflankeE. Root faceF. Meplat; Talon

72. Угол скоса кромки; Угол скосаD. AbschragungswinkelE. Bevel angleF. Angle du chanfrein(de chanfreinage)

73. Угол разделки кромок;Угол разделкиD. OffnungswinkelE. Groove angle

F. Angle d'ouverture

74. 3asop

- D. Spalt; Spaltbreite; Stegabstand
- E. Gap; Air gap; Root opening
- F. Ecartment des bords

75. Основной металл D. Grandwerkstoff

- E. Base metal; Parent metal
- F. Metal de base

76. Глубина проплавления

- D. Einbrabdtiefe
- E. Depth of penetration
- F. Profondeur de penetration

придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы.

 прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке.

1000

 нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке.



 острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца.



 угол между скошенными кромками свариваемых частей.



 кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей.

металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

 наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика. 77. Сварочная ваннаD. SchweissbadE. Welding pool;Welding bath; Welding puddleF. Bain de fusion; Bain de soudage

78. Кратер

- D. Krater
- E. Crater
- F. Cratere

79. Присадочный металлD. Zusatzwerkstoff; ZusatzmetallE. Filler metalF. Metal d'apport

80. Наплавленный металл
D. Eingetragenes Schweissgut;
Reines Schweissgut
E. Deposited metal
F. Metal depose

81. Металл шва D. Schweissgut E. Weld metal F. Metal de la soudure

82. ПроварD. EinbrandE. Complete fusionF. Fusion complete

83. Зона сплавления при сварке;Зона сплавленияD. ZusammenschmelzzoneE. Fusion zoneF. Zone de liaison

84. Осадка при сварке; ОсадкаD. Stauchen; StauchungE. UpsettingF. Refoulement

часть металла свариваемого
 шва, находящаяся при сварке
 плавлением в жидком состоянии.

 углубление, образующееся в конце валика под действием давления дуги и объемной усадки металла шва.

 металл для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу.

 переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл.

 сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

 – сплошная металлическая связь между свариваемыми поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва.

 – зона частично оплавившихся
 зерен на границе основного металла и металла шва.

 операция местной пластической деформации свариваемых частей при сварке с применением давления.

85. Грат при сварке; Грат D. Schweissgrat E. Upset metal; Flash F. Bavure	– металл, выдавленный за счет осадки при сварке.
86 Угар при сварке; Угар D. Abbrandverlust; Abbrand E. Burn-out loss; Burn-out; Burn-off; loss F. Perte de soudure	 потери металла на испарение и окисление при сварке.
87. Установочная длина сваривае- мых частей; Установочная длина D. Einspannlange E. Initial extension F. Longueur hors-mors	 – длина свариваемых частей, вы- ступающих за зажимные приспо- собления при стыковой контакт- ной сварке и сварке трением.
88. СвариваемостьD. SchweissbarkeitE. WeldabilityF. Soudabilite	– по ГОСТ 29273.
2.4. Оборудование и материалы	
89. Сварочный пост D. Schweissplatz (mit Ausrustungen) E. Welding station F. Poste de soudage	 – специально оборудованное ра- бочее место для сварки.
90. Сварочная установка D. Schweissanlage E. Welding machine F. Machine souder	 установка, состоящая из ис- точника питания, сварочного аппарата или машины для свар- ки и механизмов относительного перемещения сварочной аппара- туры и изделия.
91. Автомат для дуговой сварки; Автомат D. Lichtbogenschweissautomat E. Automatic arc welding machine F. Machine automatique de soudage l'arc	 – аппарат для автоматической дуговой сварки.
92. Горелка для дуговой сварки D. Lichtbogenschweissbrenner	 – устройство для дуговой сварки в защитном газе или самозащит-

E. Arc welding torch F. Chalumeau (torche) de soudage a l'arc	ной проволокой, обеспечиваю- щее подвод электрического тока к электроду и газа в зону дуги.
93. Сварочный агрегат D. Schweissagregat E. Welding set F. Groupe electrogene de soudage	 агрегат, состоящий из свароч- ного генератора и приводного двигателя.
94. Горелка для газовой сварки; Горелка D. Schweissbrenner E. Gas torch F. Chalumeau a gas	 устройство для газовой сварки с регулируемым смешением га- зов и созданием направленного сварочного пламени.
95. Электролизно-водный генераторD. Wasser-Elektrolyse GeneratorE. Water electrolytic generatorF. Generateur electrolyse aqueuse	 – аппарат для получения водород- но-кислородной смеси электроли- тическим разложением воды.
 96. Механическое оборудование для сварки D. Mechanische Schweissaus rustungen E. Machinery for welding F. Equipement mechanique de soudage 	 оборудование, предназначенное для установки свариваемых частей в удобное для сварки пространственное положение, перемещения их при сварке, а также для размещения и перемещения сварочного оборудования и сварщиков при выполнении сварочных операций.
97. Сварочный кондуктор; Кондуктор D. Spannvorrichtung E. Jig; Fixture F. Dispositif de fixation; Monture	 приспособление для сборки и закрепления друг относитель- но друга свариваемых частей в определенном положении.
98. Подкладка D. Feste Badsicherung E. Backing bar; Fixed molten pool support	 деталь или приспособление, устанавливаемые при сварке плавлением под кромки свари- ваемых частей.

F. Latte; Support

99. Сварочная проволока D. Schweissdraht E. Welding wire F. Fil pour soudage; Fil (baguette) a souder

100. Электродная проволока D. Elektrodendraht E. Electrode wire

F. Fil-electrode

101. Присадочная проволока D. Zusatzdraht; Schweisszusatzdraht E. Filler wire F. Fil d'apport (de soudure)

102. Самозащитная проволокаD. SelbstschutzdrahtE. Self-shielding wireF. Fil-electrode autoprotege

103. Неплавящийся электрод для дуговой сварки; Неплавящийся электродD. Nichtabschmelzende ElektrodeE. Non-consumable electrodeF. Electrode non consumable

104. Плавящийся электрод для дуговой сварки; Плавящийся электродD. Abschmelzende ElektrodeE. Consumable electrodeF. Electrode consumable

105. Покрытый электрод D. Umhullte Elektrode E. Covered electrode; Coated electrode F. Electrode enrobee

106. Сварочный флюс; Флюс D. Schweisspulver; Flussmittel; Pulver E. Welding flux F. Flux de soudage проволока для использования в качестве плавящегося электрода либо присадочного металла при сварке плавлением.

 сварочная проволока для использования в качестве плавящегося электрода.

 сварочная проволока, используемая как присадочный металл и не являющаяся электродом.

 – электродная проволока, содержащая вещества, которые защищают расплавленный металл от вредного воздействия воздуха при сварке.

 деталь из электропроводного материала, включаемая в цепь сварочного тока для подвода его к сварочной дуге и не расплавляющаяся при сварке.

 металлический электрод, включаемый в цепь сварочного тока для подвода его к сварочной дуге, расплавляющийся при сварке и служащий присадочным металлом.

 плавящийся электрод для дуговой сварки, имеющий на поверхности покрытие, адгезионно связанное с металлом электрода.

 материал, используемый при сварке для химической очистки соединяемых поверхностей и улучшения качества шва.

- 107. Флюс для дуговой сварки
- D. Pulver fur Lichtbogenschweissen
- E. Arc welding flux
- F. Flux pour le soudage a l'arc

108. Плавленный сварочный флюс; Плавленный флюс

- D. Schmelzpulver
- E. Fused flux
- F. Flux fondu en poudre

 сварочный флюс, защищающий дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды и осуществляющий металлургическую обработку ванны.

 – флюс для дуговой сварки, полученный сплавлением его составляющих и последующей грануляцией расплава.

- дефект сварного соединения

в виде разрыва в сварном шве

нах.

и (или) прилегающих к нему зо-

2.5. Дефекты сварных соединений

109. Трещина сварного соединения; Трещина

- D. Riss
- E. Crack
- F. Fissure

110. Продольная трещина сварного соединения; Продольная трещина

- D. langstriss
- E. Longitudinal crack
- F. Fissure longitudinale

111. Поперечная трещина сварного соединения; Поперечная трещина

- D. Querriss
- E. Transverse crack
- F. Fissure transversale

 трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва.

 трещина сварного соединения, ориентированная поперек оси сварного шва.



112. Разветвленная трещина сварного соединения; Разветвленная трещина

- D. Verzweigter Riss
- E. Branched crack
- F. Fissure ramifiee

 трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях.



113. Микротрещина сварного соединения; МикротрещинаD. MikrorissE. Micro-crack

F. Microfissure

114. Усадочная раковина сварного шва; Усадочная раковина

D. Lunker

- E. Shrinkage cavity
- F. Retassure

 трещина сварного соединения, обнаруженная при пятидесятикратном и более увеличении.

 дефект в виде полости или впадины, образованный при усадке металла шва в условиях отсутствия питания жидким металлом.



115. Вогнутость корня шваD. Konkavitat der NahtwurzelE. Root concavityF. Concavite de la racine (de la soudure)

116. Свищ в сварном шве; Свищ

- D. Porengang
- E. Worm-hole
- F. Soufflure vermiculaire

117. Пора в сварном шве; Пора

- Ндп. Газовое включение
- D. Gaspore; Gaseinschluss
- E. Gas pore; Blowhole
- F. Porosite de la soudure

118. Цепочка пор в сварном шве;Цепочка порD. Porenzeile

- E. Linear porosity
- F. Chaine des pores

119. Непровар D. Kaltschweissteile; Einbrandfehler E. Lack of fusion – дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва.



 – дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве.



 – дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом.

 - группа пор в сварном шве, расположенных в линию.



 – дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок

F. Manque de penetration	или поверхностей ранее выпол- ненных валиков сварного шва.
120. Прожог сварного шва; ПрожогD. Verbrannte SchweissnahtE. Burn-throughF. Soudure brulee	 дефект в виде сквозного отвер- стия в сварном шве, образовав- шийся в результате вытекания части металла сварочной ванны.
121. Шлаковое включение сварного шва; Шлаковое включениеD. SchlackeeinschlussE. Slag inclusionF. Inclusion du laitier	 дефект в виде вкрапления шла- ка в сварном шве.
122. Брызги металла D. Spritzer; Metallspritzer E. Spatters F. Eclaboussures	 дефект в виде затвердевших капель на поверхности сварного соединения.
123. Поверхностное окисление сварного соединения; Поверхностное окислениеD. Oberflache oxydationE. Surface oxidationF. Oxydation superficielle	 дефект в виде окалины или пленки окислов на поверхности сварного соединения.
124. Подрез зоны сплавления; Подрез D. Einbrandkerbe E. Undercut F. Morsure; Caniveau	 дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом.
125. Наплыв на сварном соединении;НаплывНдп. СтекD. WulstE. OverlapF. Debordement	 дефект в виде натекания металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним.
126. Смещение сваренных кромок;Смещение кромокD. KantenversatsE. Edge displacementF. Denivellation des bords	 неправильное положение сва- ренных кромок друг относитель- но друга.

ГЛАВА 3. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Область применения радиографического метода контроля с использованием излучения рентгеновских аппаратов, излучения закрытых радиоактивных источников на основе ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se, ¹⁷⁰Tm и тормозного излучения бетатронов определена в соответствии [3].

3.1. Общие положения

Радиационные методы дефектоскопии следует применять для обнаружения в объектах контроля дефектов: нарушений сплошности и однородности материала, внутренней конфигурации и взаимного расположения объектов контроля, не доступных для технического осмотра при их изготовлении, сборке, ремонте и эксплуатации.

Выбор метода или комплекса методов и средств контроля проводится в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и рабочих чертежей, утвержденных в установленном порядке, на конкретный объект контроля, а также с учетом требований ГОСТ 20426–82, технических характеристик средств контроля, конструктивных особенностей объектов контроля, технологии их изготовления, размеров выявляемых дефектов и производительности контроля. Приведём виды дефектов, выявляемых радиационными методами при контроле объектов (табл. 3.1). Чувствительность контроля сварных соединений определены в ГОСТ 3242–79, ГОСТ 7512–82 и ГОСТ 23055–78; паяных соединений – по ГОСТ 24715–81.

таолица 5.1	Таблица	3.1
-------------	---------	-----

Объект контроля	Вид дефекта
	Трещины, раковины, поры, рыхлоты, металлические
Слитки и отливки	и неметаллические включения, неслитины, ликвации
Сварные соединения,	Трещины, непровары, поры, раковины, металлические
выполненные свар-	и неметаллические включения, утяжины, превышения
кой плавлением	проплава, подрезы, прожоги, смещения кромок
	Трещины, поры, металлические и неметаллические
Сварные соедине-	включения, выплески, непровары (непровары опреде-
ния, выполненные	ляют по отсутствию темного и светлого колец на изоб-
точечной и ролико-	ражении сварной точки при резко выраженной неод-
вой сваркой	нородности литой зоны или при применении
	контрастирующих материалов)

Окончание табл. 3.1

Объект контроля	Вид дефекта
Паяные	Трещины, непропаи, раковины, поры, металлические
соединения	и неметаллические включения
V TOTOLI IO	Трещины в головке заклепки или основном материале,
Соединения	зазоры между телом заклепки и основным материалом,
соединения	изменение формы тела заклепки
Сборочные единицы	Трещины, раковины, коррозия, отклонения размеров,
и детали,	зазоры, перекосы, разрушение и отсутствие внутрен-
железобетонные из-	них элементов изделия, отклонения толщины защит-
делия и конструкции	ного слоя бетона, размеров и расположения арматуры
И Т. П.	И Т. П.

3.2. Область применения радиографического контроля материалов

Энергию излучения, напряжение на рентгеновской трубке, радиоактивный источник излучения, энергию ускоренных электронов бетатрона следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 3.2–3.4.

Таблица 3.2

Толщина просвечиваемого материала, мм						Напряжение	
Неметал					лический	на рентге-	
Сплав на основе			co cp	едним ато	мным	новской	
номером (пло				и (плотнос	ть, г/см ³)	трубке, кВ,	
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)	не более
0,02	0,05	0,25	0,75	0,5	5	8	20
0,3	0,75	3,75	11	8	50	75	40
0,4	1	5	14	10	60	80	50
0,7	2	12	22	20	70	120	60
1,5	5	29	46			_	80
3	8	45	66			_	100
6	14	56	92	_	_	_	120
12	29	60	150	-	-	_	150
20	45	97	160	_	_	_	200
23	53	102	166	-	-	_	250
32	70	128	233	_	_	_	300
40	90	180	270	_	_	_	400
130	230	370	560	_	_	_	1000

Область применения радиографического метода дефектоскопии при использовании рентгеновских аппаратов

Таблица 3.3

Толщина п	росвечиваем	Закрытый		
железа	титана	алюминия	магния	радиоактивный источник
От 1 до 20	От 2 до 40	От 3 до 70	От 10 до 200	¹⁷⁰ Tm
530	750	20200	30300	⁷⁵ Se
5100	10120	40350	70450	¹⁹² Ir
10120	20150	50350	100500	¹³⁷ Cs
30200	60300	200500	300700	⁶⁰ Co

Область применения радиографического метода дефектоскопии при использовании гамма-дефектоскопов

Таблица 3.4

Область применения радиографического метода дефектоскопии	
при использовании бетатронов	

Толщина і	Энергия ускоренных			
железа	титана	алюминия	свинца	электронов, МэВ
От 50 до 100	От 90 до 190	От 150 до 310	От 30 до 60	6
70180	130350	220570	40110	9
100220	190430	330740	50110	18
130250	250490	480920	60120	25
150350	290680	5701300	60150	30
150450	290880	6101800	60180	35

При радиографическом методе неразрушающего контроля в зависимости от энергии излучения, требуемой чувствительности и производительности контроля должны быть использованы следующие преобразователи излучения: радиографическая пленка без усиливающих экранов; радиографическая пленка в различных комбинациях с усиливающими металлическими и флуоресцирующими экранами; фотобумага.

При неразрушающем радиационном контроле многобарьерных конструкций, применении компенсаторов и выравнивающих фильтров необходимо учитывать суммарную толщину материала, проходимого излучением при просвечивании.

Режимы неразрушающего радиационного контроля конкретного объекта зависят от чувствительности к излучению, контрастной чувствительности и разрешающей способности применяемого преобразователя излучения, интенсивности излучения источника, геометрических параметров схем просвечивания. Эти режимы должны быть оптимальными по чувствительности и производительности контроля.
Допускается использовать другие источники энергии и преобразователи излучения при условии обеспечения чувствительности контроля, требуемой стандартами, техническими условиями и рабочими чертежами, утвержденными в установленном порядке, на конкретный объект контроля. Технология и режимы контроля должны быть установлены в технологической документации соответствующих стандартов.

ГЛАВА 4. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

На сварные соединения, выполненные сваркой плавлением изделий из металлов и их сплавов с толщиной свариваемых элементов от 1 до 400 мм, установлены семь классов сварных соединений по максимальным допустимым размерам пор, шлаковых, вольфрамовых и окисных включений, выявляемых при радиографическом контроле [4].

За размеры пор, шлаковых и вольфрамовых включений принимаются размеры их изображений на радиограммах: диаметр – для сферических пор и включений; длина и ширина – для удлиненных пор и включений. За размер скопления пор, шлаковых или вольфрамовых включений принимается его длина, измеренная по наиболее удаленным друг от друга краям изображений пор или включений в скоплении.

Скоплением называется три или более расположенных беспорядочно пор, шлаковых или вольфрамовых включений с расстоянием между любыми двумя близлежащими краями изображений пор или включений более одной, но не более трех их максимальных ширин или диаметров. За размеры окисных включений, непроваров и трещин принимается их длина. Поры или включения с расстоянием между ними не более их максимальной ширины или диаметра, независимо от их числа и взаимного расположения, рассматриваются как одна пора или одно включение.

Максимальные допустимые длина, ширина и суммарная длина пор, шлаковых, вольфрамовых и окисных включений для любого участка радиограммы длиной 100 мм для классов 1–7 приведены в табл. 4.1–4.7. Длина скоплений не должна превышать 1,5 максимальных допустимых длин отдельных дефектов, приведенных в табл. 4.1–4.7.

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм	
До 3	0,2	0,2	2,0	
Св. 3 до 5	0,3	0,3	3,0	
58	0,4	0,4	4,0	
811	0,5	0,5	5,0	
1114	0,6	0,6	6,0	
1420	0,8	0,8	8,0	

Класс 1

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм	
2026	1,0	1,0	10,0	
2634	1,2	1,2	12,0	
3445	1,5	1,5	15,0	
4567	2,0	2,0	20,0	
6790	2,5	2,5	5,0	
90120	3,0	3,0	30,0	
120200	4,0	4,0	40,0	
200400	5,0	5,0	50,0	

Окончание табл. 4.1

Таблица 4.2

Класс 2

Толщина свариваемых	Поры или включ	Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
До 3	0,3	0,6	3,0
Св. 3 до 5	0,4	0,8	4,0
58	0,5	1,0	5,0
811	0,6	1,2	6,0
1114	0,8	1,5	8,0
1420	1,0	2,0	10,0
2026	1,2	2,5	12,0
2634	1,5	3,0	15,0
3445	2,0	4,0	20,0
4567	2,5	5,0	25,0
6790	3,0	6,0	30,0
90120	4,0	8,0	40,0
120200	5,0	10,0	50,0
200400	5,0	10,0	60,0

Примечание к табл. 4.1 и 4.2. Поры и включения с расстояниями между ними не более трех максимальных ширин или диаметров в классах 1 и 2 не допускаются.

Класс 3

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм	
До 3	0,4	1,2	4,0	
Св. 3 до 5	0,5	1,5	5,0	
58	0,6	2,0	6,0	

Толщина свариваемых	Поры или включ	Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
811	0,8	2,5	8,0
1114	1,0	3,0	10,0
1420	1,2	3,5	12,0
2026	1,5	5,0	15,0
2634	2,0	6,0	20,0
3445	2,5	8,0	25,0
4567	3,0	9,0	30,0
6790	4,0	10,0	40,0
90120	5,0	10,0	50,0
120200	5,0	10,0	60,0
200400	5,0	10,0	70,0

Окончание табл. 4.3

Таблица 4.4

Класс 4

Толщина свариваемых	Поры или включ	Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
До 3	0,5	1,5	5,0
Св. 3 до 5	0,6	2,0	6,0
58	0,8	2,5	8,0
811	1,0	3,0	10,0
1114	1,2	3,5	12,0
1420	1,5	5,0	15,0
2026	2,0	6,0	20,0
2634	2,5	8,0	25,0
3445	3,0	9,0	30,0
4567	4,0	12,0	40,0
6790	5,0	12,0	50,0
90120	5,0	12,0	60,0
120200	5,0	12,0	70,0
200400	5,0	12,0	80,0

Класс 5

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
До 3	0,6	2,0	6,0
Св. 3 до 5	0,8	2,5	8,0
58	1,0	3,0	10,0

Толщина свариваемых	Поры или включ	Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
811	1,2	3,5	12,0
1114	1,5	5,0	15,0
1420	2,0	6,0	20,0
2026	2,5	8,0	25,0
2634	3,0	10,0	30,0
3445	4,0	12,0	40,0
4567	5,0	15,0	50,0
6790	5,0	15,0	60,0
90120	5,0	15,0	70,0
120200	5,0	15,0	80,0
200400	5,0	15,0	90,0

Окончание табл. 4.5

Таблица 4.6

Класс б

Толщина свариваемых	Поры или включ	Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
До 3	0,8	3,0	8,0
Св. 3 до 5	1,0	4,0	10,0
58	1,2	5,0	12,0
811	1,5	6,0	15,0
1114	2,0	8,0	20,0
1420	2,5	10,0	25,0
2026	3,0	12,0	30,0
2634	4,0	15,0	40,0
3445	5,0	20,0	50,0
4567	5,0	20,0	60,0
6790	5,0	20,0	70,0
90120	5,0	20,0	80,0
120200	5,0	20,0	90,0

Класс 7

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм
До 3	1,0	5,0	10,0
Св. 3 до 5	1,2	6,0	12,0
58	1,5	8,0	15,0
811	2,0	10,0	20,0

Толщина свариваемых	Поры или включения		Суммарная	
элементов, мм	Ширина (диаметр), мм	Длина, мм	длина, мм	
1114	2,5	12,0	25,0	
1420	3,0	15,0	30,0	
2026	4,0	20,0	40,0	
2634	5,0	25,0	50,0	
3445	5,0	25,0	60,0	
4567	5,0	25,0	70,0	
6790	5,0	25,0	80,0	
90120	5,0	25,0	90,0	

Окончание табл. 4.7

Примечания к табл. 4.1–4.7: поры для включения с длиной изображения менее 0,2 мм при расшифровке радиограмм не учитываются; при различной толщине свариваемых элементов максимальный допустимый размер пор или включений выбирается по меньшей толщине.

Класс сварного соединения, максимальные допустимые размеры непроваров (в случаях, когда непровары допускаются конструкцией или условиями эксплуатации сварных соединений), а также дополнительные ограничения по числу и длине пор и включений, их суммарной длине и расстоянию между ними должны быть приведены в нормативнотехнической документации на сварные изделия.

При длине радиограмм менее 100 мм приведенная в табл. 4.1–4.7 максимальная допустимая суммарная длина пор и включений (для любого участка радиограмм длиной 100 мм) уменьшается пропорционально длине радиограмм, но не должна быть менее соответствующей максимальной допустимой длины отдельных пор и включений.

При наличии смежных радиограмм с длиной менее 100 мм каждая, а также в случаях, когда наибольшее число пор и включений выявлено на смежных краях двух радиограмм (при любой длине этих радиограмм), при определении максимальной суммарной длины пор и включений эти радиограммы должны рассматриваться как одна радиограмма.

Для стыковых и угловых соединений могут выбираться классы 1–7. Для нахлесточных и тавровых сварных соединений в зависимости от отношения меньшей толщины свариваемых элементов к большей могут выбираться: при отношении толщин свариваемых элементов не менее 0,8 – классы 4–7; при отношении толщин свариваемых элементов менее 0,8, но не менее 0,6 – классы 5–7; при отношении толщин свариваемых элементов менее 0,6, но не менее 0,4 – классы 6–7; при отношении толщин свариваемых элементов менее 0,4, но не менее 0,2 – класс 7. Нахлесточные и тавровые сварные соединения с отношением толщин свариваемых элементов менее 0,2 радиографическим методом не контролируются. Чувствительность контроля – по ГОСТ 7512–82. При этом значения чувствительности не должны превышать: для сварных соединений 1-го класса – значений, приведенных для 1-го класса чувствительности по ГОСТ 7512–82; для сварных соединений 2–4 классов – значений, приведенных для 2-го класса чувствительности по ГОСТ 7512–82; для сварных соединений 2–4 классов – значений, приведенных для 3-го класса чувствительности по ГОСТ 7512–82; для сварных соединений 5–7 классов – значений, приведенных для 3-го класса чувствительности по ГОСТ 7512–82.

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ РАДИОГРАФИИ

5.1. Физические основы и основные параметры радиографии [5]

В зависимости от способа регистрации и типа детектора различают два основных метода радиографии – прямой экспозиции и переноса изображения (табл. 5.1, рис. 5.1). Метод прямой экспозиции является наиболее распространенным методом промышленной радиографии, при котором используются источники ионизирующего излучения практически всех видов. Просвечивание изделий производится на радиографическую пленку. Метод переноса изображения применяют при нейтронной радиографии и ксерорадиографии (электрорадиографии). В первом случае скрытое изображение получают на промежуточном металлическом активируемом экране, размещенном за изделием в нейтронном потоке. После этого скрытое изображение переносят на радиографическую пленку, прикладывая ее к металлическому экрану.

При электрорадиографии в качестве промежуточного носителя скрытого изображения используют электрически заряженные полупроводниковые пластины, помещаемые за объектом в пучке ионизирующего излучения, а в качестве регистратора видимого изображения применяют обычную бумагу, на которой изображения проявляются с помощью сухих красящих веществ. Результаты контроля качества изделий, просвечиваемых тормозным (рентгеновским) и *γ*-излучениями, определяются с уммарным воздействием ряда параметров, зависящих от природы и свойств используемых источников, детектора и контролируемого изделия (рис. 5.2). Энергетический спектр (энергия) *Е* излучения определяет его проникающую способность и выявляемость дефектов в контролируемом изделии.

Мощность P экспозиционной дозы (МЭД) излучения определяет производительность контроля, а также требования техники радиационной безопасности. Плотность ρ и атомный номер Z контролируемого материала определяют необходимую МЭД и энергию излучения, обеспечивающие получение требуемой производительности контроля и выявляемости дефектов. Линейный коэффициент ослабления μ излучения в материале контролируемого изделия определяет проникающие свойства излучения и выявляемость дефектов. Для выявления дефектов минимальных размеров, т. е. для получения высокой чувствительности, следует использовать низкоэнергетическое рентгеновское излучение и *γ*-излучения и высокоэнергетическое тормозное излучение ускорителей с большими значениями *μ*. В этом случае наличие в контролируемом объекте внутреннего дефекта приводит к изменению интенсивности излучения, достигающего детектора.

При стремлении обеспечите высокую производительность следует применять высокоэнергетическое рентгеновское и γ -излучения и низкоэнергетическое тормозное излучение ускорителей с малыми значениями μ и большими длинами свободного пробега квантов в веществе. Такие излучения имеют лучшие проникающие свойства и поглощаются веществом существенно меньше, чем излучения с большими значениями μ Вследствие этого интенсивность излучения, достигающая детектора, изменяется мало. Дозовый фактор накопления *В* характеризует рассеяние излучения в материале изделия в зависимости от коэффициента ослабления μ и толщины контролируемого изделия δ и оказывает заметное влияние на выявляемость дефектов. Он определяется отношением суммы интенсивностей нерассеянного M_n и рассеянного M_p излучения к интенсивности нерассеянного излучения:

$$B = \frac{M_n + M_p}{M_n},\tag{5.1}$$



Рис. 5.1. Классификация методов промышленной радиографии

Сравнительные характеристики методов промышленной радиографии

Недостатки	Необходимость охлаждения и питания от внешних ис- точников. Большие габариты аппаратуры. Малая манев- ренность. Малая толщина просвечиваемого материала (для стальных деталей не более 100 мм)	То же, необходимость мощ- ной защиты, уменьшение углового распределения ин- тенсивности излучения с увеличением энергии, т. е. малые поля облучения	Использование набора ис- точников излучения для контроля изделий различной толщины и плотности Изме- нение МЭД излучения вследствие радиоактивного распада. Ограниченная чув- ствительность
Преимущества	Регулирование энергии и интенсивности излучения в зависимости от толщины и плотности материала. Малые размеры фокусного пятна Высокая интенсив- ность излучения. Высокая чувствительность контроля	То же, большая толщина просвечиваемого материа- ла (например, толщина стальных деталей до 500 мм)	Независимость результатов контроля от внешних ис- точников питания. Порта- тивность и маневренность аппаратуры. Возможность контроля стальных изделий толщиной до 250 мм. Про- ведение контроля в труд- нодоступных местах
Объекты контроля	Паяные и сварные	соединения литье, по- ковки, штамповки и прочие изделия из металлов,	их сплавов, пластмасс, керамики и т. п.
Детекторы		Черно-белые и цветные ра- диографические пленки с усили- вающими ме- таллическими и флюоресцент-	ными экранами
Источники излучения	Рентгеновские аппараты с U < 1000 кВ, I < 25 мА	Ускорители с E < 50 МэВ	Радиоактивные источники с E < 1,33 МэВ
Методы радиографии	Методы прямой экспозиции Рентгенография	Радиография с использование м ускорителей (бетатронов, микротронов, линейных уско- рителей)	Радиография с использованием радиоактивных источников

ר נ	5.1
١	табл.
(Окончание

Недостатки	Громоздкость радиографи- ческого оборудования при использовании выведенного из ядерного реактора потока нейтронов. Малая плотность потока нейтронов у генера- торов, что ограничивает со- здание передвижных устройств	Возникновение на поверх- ности полупроводниковых пластин различных повре- ждений, которые при рас- шифровке снимка трудно отличить от дефекта кон- тролируемого изделия. Отсутствие гибких полупро- водниковых пластин.
Преимущества	Нечувствительность мето- да к сопутствующему из- лучению, источником ко- торого является изделие или окружающие предме- ты. Возможность обнару- живать различные изото- пы одного и того же элемента. «Прозрачность» для нейтронов тяжелых металлов и «непрозрач- ность» легких материалов.	Быстрота получения элек- трорадиограммы. Отсут- ствие необходимости в фотолабораториях. Со- кращение расходов за счет исключения фотооб- работки и сушки снимков, а также за счет возможно- сти многократного ис- пользования полупровод- никовых пластин
Объекты контроля	Радиоактив- ные изделия. Изделия из легких ма- териалов, расположен-	ные за ооо- лочками из тяжелых ме- таллов. Ком- позиционные материалы
Детекторы	Активируемые экраны- преобразователи и радиографичес кие пленки	Полупроводни- ковые пластины и бумага
Источники излучения	Ядерные реакторы, генераторы нейтронов, радиоактивные источники	Рентгеновские аппараты, радиоактивные источники излучения
Методы радиографии	Методы перено- са изображения Нейтронная ра- диография	Ксерорадиогра- фия (электрора- диография)



Рис. 5.2. Основные параметры промышленной радиографии

В результате рассеяния рентгеновского и *у*-излучений в контролируемом изделии вторичные электроны и кванты, образованные в процессе фотоэлектрического взаимодействия (фотоэффекта) и комптоновского рассеяния, в значительной мере отклоняются от направления первичного пучка излучения, что ухудшает выявляемость дефектов. При использовании ускорителей образующиеся в изделии пары электрон-позитрон существенно меньше отклоняются от направления пучка излучения. Такое рассеянное излучение способствует образованию скрытого изображения и незначительно ухудшает чувствительность.

Обратнорассеянное излучение (альбедо излучения) возникает при многократном рассеянии квантов в контролируемом объекте и поглотителе, расположенном за объектом. При этом часть рассеянного излучения выходит из поглотителя и воздействует на обслуживающий персонал и детектор. С увеличением атомного номера Z, вещества отражающей среды количество обратнорассеянного излучения уменьшается примерно пропорционально Z^2 . Оно также возрастает при косом падении излучения на объект примерно пропорционально $1/\cos 0$, где 0 – угол падения излучения. Именно поэтому при радиационной дефектоскопии не следует просвечивать изделия, расположенные на основаниях из легких материалов (бетон, алюминий и т.п.). Это приводит

к существенному ухудшению чувствительности контроля и увеличивает интенсивность излучения, воздействующего на персонал. При использовании в цехах защитных камер без дополнительных потолков обратнорассеянное изучение может создать фон на смежных участках.

Эффективность регистрации Q детектора определяет его способность реагировать на воздействие ионизирующего поручения в определенном диапазоне энергии и МЭД излучения. Эффективность регистрации радиографических пленок характеризуют их спектральной чувствительностью, которая определяет способность пленки получать различную плотность почернения после ее облучения одинаковыми экспозиционными лозами ионизирующего излучения различной энергии. Эффективность регистрации радиоскоических и радиометрических детекторов определяется отношением числа зарегистрированных квантов излучения, прошедших контролируемый объект, к общему числу квантов, падающих на этот объект.

Разрешающая способность R детектора определяет его способность регистрировать рядом расположенные дефектные и бездефектные участки контролируемого изделия и характеризуется предельным числом линий, равномерно расположенных на единице длины тест-объекта. Абсолютная чувствительность W_{a6c} (мм) определяет размер минимально выявляемого дефекта или элемента эталона чувствительности. Относительная чувствительность W_{omh} определяется отношением размера $\Delta\delta$ минимально выявляемого дефекта или элемента эталона чувствительности сти к толщине δ контролируемого изделия и выражается в процентах. Зависимость относительной чувствительности радиографии от основных параметров просвечивания определяется уравнением:

$$W = \frac{\Delta\delta}{\delta} * 100 = \frac{2.3\Delta D_{\min} * B}{\gamma_D \mu \delta} * 100\%, (5.2)$$

где ΔD_{min} – минимальная разность плотностей почернения, различаемая глазом (прибором); *B* – дозовый фактор накопления излучения; *y*_D – контрастность радиографической пленки; μ_{δ} – линейный коэффициент ослабления излучения; δ – толщина изделия.

Минимальная выявляемая разность плотностей почернения ΔD_{min} между изображением дефекта и основным фоном снимка определяется рядом факторов, к числу которых относятся степень совершенства глаза оператора, яркость экрана расшифровочного оборудования и условия расшифровки, а также размеры и форма изображения дефекта. Установлено, что глаз является наиболее чувствительным для яркости более 30 кд/м². В этих условиях можно различать разницу яркости около 0,14 кд/м², что обеспечивает обнаружение минимальной разности плотностей почернения ΔD_{min} =0,006. При яркости экрана расшифровочного

оборудования 30 кд/м² $\Delta D_{min} = 0,006 \div 0,02$ (расстояние от глаза до экрана составляет 25 см). Меньшие значения соответствуют большим дефектам и малым отношениям длины дефекта к его ширине (до 20), а большие значения – малым дефектам и большим отношениям длины дефекта к его ширине (до 70).

Общая нерезкость изображения u (мм) характеризуется размытием краев изображения на снимке. Величина нерезкости при просвечивании зависит от следующих ее составляющих. Геометрическая нерезкость (рис. 5.3, a, δ) определяется соотношением:

$$U_{\Gamma} = \frac{d\delta}{(F - \delta)},\tag{5.3}$$

Внутренняя нерезкость *u*_{*B*} для рентгеновского излучения и флуоресцентных экранов равна 0,1...0,5 мм.



Рис. 5.3. Схемы образования геометрической нерезкости при ступенчатом (а) и овальном (б) дефектах

Для рентгеновского излучения и экранов из свинца UB = $0,025 \div 0,1$ мм. Для γ -излучения и экранов из свинца UB = $0,17 \div 0,5$ мм. Значения UB зависят от энергии излучения, в частности, для ¹⁹²Ir UB = $0,17 \div 0,20$ мм, для ¹³⁷Cs UB = $0,27 \div 0,3$ мм, для ⁶⁰Co UB = $0,36 \div 0,5$ мм. Нерезкость рассеяния:

$$U_p = U_B g^{\delta}, \qquad (5.4)$$

где δ – толщина просвечиваемого материала, см; g – коэффициент пропорциональности.

Для рентгеновского излучения g = 1,25, для ¹⁹²Ir g = 1,15, для ¹³⁷Cs g = 1,09, для ⁶⁰Co g = 1,04. Нерезкость смещения, определяемая колебаниями источника, объекта и детектора, в реальных условиях просвечивания обычно устраняется за счет применения жестких штативных устройств держателей источников и детекторов. Общая нерезкость изображения зависит от характера распределения геометрической нерезкости, связанной с формой дефекта или элемента эталона чувствительности. Для канавочных эталонов чувствительности и дефектов ступенчатого типа (непровары, трещины и т. п.):

$$U = \sqrt[3]{U_F^2 + U_B^3}, \qquad (5.5)$$

Для проволочных эталонов чувствительности и дефектов овального типа (пор, раковин и т. п.):

$$U = U_r + \frac{U_B^2}{2U_r} \left[1 - \exp(-\frac{2U_r}{U_B}) \right],$$
 (5.6)

При определении общей нерезкости в случае просвечивания толстостенных изделий в это уравнение вместо *Uв* подставляют значение *Up. C* увеличением общей нерезкости ухудшается чувствительность:

$$W_{om\mu} = \frac{2.3\Delta D_{\min}B}{\gamma_D \mu \delta} * \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right), \tag{5.7}$$

где Δb – ширина канавок, мм.

Контраст изображения C_u определяет наряду с разрешающей способностью выявляемость дефектов. Он зависит не только от яркостей дефектного L_{∂} и бездефектного L участков изображения, но и от ширины дефекта Δb и нерезкости u:

$$C_{H} = \frac{L_{A} - L}{L} * \left[1 + \frac{U}{\Delta b} \right] * 100 \%, (5.8)$$

С увеличением Δb и *L* обнаруживаются дефекты с существенно меньшим значением C_u , при этом наименьшие значения контраста изображения не превышают 1,4...2 %. Выявляемость дефектов и производительность контроля определяются суммарным воздействием перечисленных параметров.

Метод промышленной радиографии основан на том, что степень почернения радиографической пленки, находящейся в поле излучения, в некотором диапазоне плотностей почернений пропорциональна экспозиционной дозе. Это определяется тем, что плотность почернения *D*

пропорциональна числу проявленных зерен, а экспозиционная доза X зависит от числа квантов, приходящихся на пленку. На практике спектральная чувствительность радиографических пленок характеризуется величиной, обратной экспозиционной дозе X ионизирующего излучения, необходимой для получения на пленке плотности почернения D=1. Спектральная чувствительность зависит от энергии излучения. В частности, она достигает максимального значения в диапазоне энергий 40...50 кэВ, а при энергиях свыше 250...300 кэВ спектральная чувствительность практически постоянна.





Рис. 5.4. Характеристическая кривая радиографической пленки

Рис. 5.5. Зависимость контрастности радиографической пленки от плотности почернения

Зависимости для определения плотности почернения D, среднего градиента γ , контрастности γ_D и спектральной чувствительности Q для радиографических пленок различных типов представлены на рис. 5.4 и рис. 5.5. Одной из важнейших характеристик радиографических пленок является разрешающая способность, которая характеризуется количеством различимых штриховых линий одинаковой толщины.

5.2. Принадлежности для промышленной радиографии. Основные размеры [6]

Рассмотрим основные размеры и требования на рентгенографические форматные и рулонные пленки, свинцовые усиливающие экраны, гибкие кассеты и маркировочные знаки, являющиеся принадлежностями для промышленной радиографии. Размеры рентгенографической форматной пленки должны соответствовать указанным в табл. 5.2.

Размеры, .	ММ
------------	----

	Ширина		Дли	на
Формат, см	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение
1	2	3	4	5
6*24			238	+1 -2
6*36	50 5	+0.5	358	+1 -3
6*48	36,5	±0,5	478	+1 -3
6*72			716	+1 -4
10*12			118	±1
10*15			148	±1
10*24		- 1	238	+1 -2
10*36	00.5		358	+1 -3
10*40	98,5	±1	398	+1 -3
10*48			478	+1 -3
10*72			716	+1 -4
13*18	128	±1	178	+1 -2
18*24	178	+1 -2	238	+1 -3
24*30	238	+1 -3	298	+1 -3
7,5*40	73	±1	398	±1
15*40	148	±1	398	+1 -3
20*40	198	+1 -2	398	+1 -3
30*40	298	+1 -3	398	+1 -3

Размеры рентгенографической рулонной пленки должны соответствовать, указанным в табл. 5.3.

Domicia	II	Іирина	Длина		
Формат, см Номинальная		Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	
7*15000	70	-2	150000	-10000	

Размеры, мм

Допускается выпуск рентгенографической рулонной пленки в виде отрезков, длиной не менее 30 м, при общей длине рулона 150 м. Размеры свинцовых усиливающих экранов должны соответствовать указанным в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Dom (or	Ш	Іирина	1	Ц лина	
Формат, см	Номинальная	инальная Предельное отклонение		Предельное отклонение	
6*24			238	⊥1	
6*36	58 5		358	二1	
6*48	58,5		478	±2	
6*72		+0.5	716		
10*12		$\pm 0,3$	118		
10*15	98,5		148	±1	
10*24			238		
10*36			358		
10*40			398		
10*48	98,5	±0,5	478	± 1	
10*72			718		
13*18	128		176	±2	
18*24	178		220		
24*30	238		298		
7,5*40	73	± 1		+ 1	
15*40	15*40 148		208	±1	
20*40	198		398		
30*40	298				

Размеры, мм

Толщина фольги или листа, применяемых для изготовления свинцовых усиливающих экранов, должна соответствовать указанной в табл. 5.5.

Толщина	Предельное отклонение
0,02 0,05	-0,005
0,09	-0,010
0,20	-0,030
0,30	-0,050
0,50	-0,070

Размеры, мм

Свинцовые усиливающие экраны формата 6*72 и 10*72 см, указанного в табл. 5.5, изготовляются из фольги или листа толщиной только 0,2; 0,3 и 0,5 мм. Внутренние размеры гибких кассет должны соответствовать табл. 5.6.

Таблица 5.6

Dom com	II	Іирина	Длина		
Формат, см	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	
6*24			242		
6*36	70		362		
6*48	/0	L 1	482	+ 1	
6*72		±1	724	±1	
10*12	110		122		
10*15	110		152		
10*24			242		
10*36			362		
10*40	110		402		
10*48			482		
10*72			724		
13*18	140	L 1	185	+ 1	
18*24	190	±1	245	±1	
24*30	250		305		
7,5*40	85				
15*40	160		405		
20*40	210		403		
30*40	310				

Размеры, мм

Маркировка канавочных эталонов, согласно [7], представлена на рис. 5.6.

Размеры, мм

	L		Выс	ота		Шир	ина		Толш	цина
Номена пабона	ттомсра пасора букв	Номера набора цифр	Номинальная	Предельное	отклонение	Номинальная	Предельное отклонение	Номинальная		Предельное отклонение
	1	5	5	+0	3	3,2	±0,4	1,	0	+0.2
	2	6	8	±0	,5	5,0	$\pm 0,5$	1,	5	-0,2
	3	7 8	12	±	1	1,7	$\pm 0,8$ ± 1.3	2,:	<u>5</u>	±0,3
	4	0	10			11,5	±1,5	5,	0	
На					Спл	павы на основ	зе			
ЮЦ	ж	елеза	алюмини	яи		титана	меди		1	никеля
ЭТб			магния	ι						
мер										
Hol										
		<i>a</i> 2	<i>a</i> 2					(73		
1		200	5	. 60°		03 60°×2		X3		
	s	<u>}</u>	~ }\$	γ	∽†		∽ <u>1</u> ₹		st.	
	1	-8		2	+	222	*	<u>_2 ×</u>	+	
			8				⊸ ⊳			∼ ⊶
2		2 отв. Ø3	2 OTB (3	~	<u>2 отв. Ø</u> 3 <u>60°×2</u>	<u>л 2 отв. 6</u>	23 <u>60°×3</u>	انہ	<u>2 отв. Ø</u> 3
-	2	2		ی د 60°					, •	The _
	6H			Y	9	1 K	v } ∳ ₹		9	
	1			2,5	*S	9	12 3	< <u>−2,5</u>	2,5	9
		⊲ ⁷ ►	│							
	-									
3	~1	<u>3 отв. Ø</u> 3	<u>з 3 отв. Ø</u>	3	انہ	<u>3 отв. Ø3 60°×2</u>	Э 3 ОТВ. 6	<u>3 60°×3</u>	21	<u>отв. Ø3</u>
			1 100	J <u>v60</u> °			1 100	<u>Z</u>		
		JON .	~ }	Y.	-		~	<u>B</u>		
	2.5	10	4 S 10	_	12	10	1 5.4	0	154	
		15	15			15	15	-		15
	1									

Рис. 5.6. Маркировка канавочных эталонов

Размеры маркировочных буквенных знаков (А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И, К, Л, М, Н, П, Р, С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я, Ъ, Ь), цифровых (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), тире и стрелок должны соответствовать указанным в табл. 3.11. Маркировочные знаки – тире и стрелка относятся к набору цифр. Шрифтовая линия, образующая знак, должна составлять от 0,6 до 0,8 его толщины. Для букв Д, Ж, М, Ф, Ш, Щ, Ю набора № 1 допускается предельное отклонение: по высоте до +0,7 мм 0,3 мм; по ширине до +0,8 мм 0,4 мм.

5.3. Условная запись дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля [7]

Для сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля должны использоваться условные обозначения, приведенные в табл. 5.8.

Таблица	5.8	3
---------	-----	---

Вид	Условное обозначение		Характер	Условное обозначение		
дефекта	Русский алфавит	Латинский алфавит	дефекта	Русский алфавит	Латинский алфавит	
		E	Трещина вдоль шва	Тв	Ea	
Трещины	Т		Трещина попе- рек шва	Τп	Eb	
			Трещина раз- ветвленная	Тр	Ec	
	Н	D	Непровар в корне	Нк	Da	
Непровары			Непровар меж- ду валиками	Нв	Db	
			Непровар по разделке	Нр	Dc	
			Отдельная пора	П	Aa	
Поры	П	А	Цепочка	ЦП	Ab	
			Скопление	СП	Ac	
Шлаковые	III	D	Отдельное включение	Ш	Ba	
включения	ш	В	Цепочка	ЦШ	Bb	
			Скопление	СШ	Bc	

Окончание табл. 5.8

Вид	Условное обозначение		Характер	Условное обозначение		
дефекта	Русский алфавит	Латинский алфавит	дефекта	Русский алфавит	Латинский алфавит	
Вольфрамовые	D	C	Отдельное включение	В	Ca	
включения	В	В	C	Цепочка	ЦВ	Cb
			Скопление	CB	Cc	
Окисные включения	0	О	_	_	_	
Вогнутость корня шва	Вгк	Fa	_	_	_	
Выпуклость корня шва	Впк	Fb	—	—	—	
Подрез	Пдр	Fc	—	_	—	
Смещение кромок	Скр	Fd	_	_	_	

Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм или на всем снимке при его длине менее 100 мм) должно использоваться условное обозначение Σ .

После условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах: для сферических пор, шлаковых и вольфрамовых включений – диаметр; для удлиненных пор, шлаковых и вольфрамовых включений – ширина и длина (через знак умножения); для цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин – длина.

Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные диаметр или ширина и длина этих дефектов (через знак умножения).

При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (дефектов одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число.

После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм) указывается эта длина в миллиметрах.

При отсутствии изображений дефектов на снимке, а также в случаях, когда длина, ширина и суммарная длина дефектов не превышают заданных максимально допустимых значений, в графе документации «Соответствует требованиям» пишется «да», в противоположном случае – «нет».

При обнаружении на снимке изображений дефектов, не перечисленных в табл. 5.8, в заключении или журнале регистрации результатов контроля следует указать полное наименование дефектов.

5.4. Примеры сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля

- На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 3 мм каждая, цепочки пор с длиной 30 мм и максимальными длиной и шириной пор в цепочке 5 и 3 мм, и шлакового включения с длиной 15 мм и шириной 2 мм. Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 20 мм. Запись в документации: 5П3; Ц30П5 * 3; Ш15×2; ∑20.
- 2. На снимке обнаружены изображения двух скоплений пор (длина каждого скопления 10 мм, максимальный диаметр пор 0,5 мм) и скопление шлаковых включений (длина скопления 8 мм, максимальная длина и ширина включений 2 и 1 мм). Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 18 мм. Запись в документации: 2С10П0,5; С8Ш2×1; ∑18.
- 3. На снимке обнаружены изображения двух непроваров длиной 15 мм каждый и трещины длиной 40 мм. Запись документации: 2H15; T40.
- На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 4 мм каждая и непровара длиной 20 мм. Максимальная суммарная длина пор на участке снимка длиной 100 мм составляет 12 мм. Запись в документации: 5П4; ∑12; Н20.

ГЛАВА 6. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ МЕТАЛЛА [8]

6.1. Общие положения

В данной главе рассматривается метод радиографического контроля сварных соединений из металлов и их сплавов, выполненных сваркой плавлением, с толщиной свариваемых элементов от 1 до 400 мм, с использованием рентгеновского или гамма-излучения изотопов иридий-192, цезий-137, селен-75, тулий-170 и кобальт-60, а также радиографической пленки. Глава охватывает радиографический метод контроля сварных соединений магистральных, промысловых и технологических трубопроводов, трубопроводов насосных и компрессорных станций и станций подземного хранения газа и др. [8].

Радиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях трещин, непроваров, пор, шлаковых, вольфрамовых, окисных и других включений. Радиографический контроль применяют также для выявления прожогов, подрезов, оценки величины выпуклости и вогнутости корня шва, недопустимых для внешнего осмотра. При радиографическом контроле не выявляют: любые несплошности и включения с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля; непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания и (или) величина раскрытия менее значений, приведенных в табл. 6.1; любые несплошности и включения, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов трещин просвечиваемого металла.

Таблица 6.1

Радиационная толщина (по ГОСТ 24034–80), мм	Раскрытие непровара (трещины), мм
До 40	0,1
Свыше 40 до 100 включительно	0,2
100150	0,3
150200	0,4
более 200	0,5

Радиографическому контролю подвергают сварные соединения с отношением радиационной толщины наплавленного металла шва к общей радиационной толщине не менее 0.2, имеющие двусторонний

доступ, обеспечивающий возможность установки кассеты с радиографической пленкой и источника излучения.

Радиографический контроль следует проводить после устранения обнаруженных при внешнем осмотре сварного соединения наружных дефектов и зачистки его от неровностей, шлака, брызг металла, окалины и других загрязнений, изображения которых на снимке могут помешать расшифровке снимка. Подлежащие контролю швы различают на участки и маркируют краской или любым другим способом для точного нахождения положения каждого радиографического снимка. Способ разметки и маркировки сварного соединения должен обеспечивать их сохранность до сдачи участка трубопровода под изоляцию. Систему разметки и маркировки участков устанавливают технической документацией на контроль или приемку сварных соединений. На каждом участке шва, подвергаемом радиографическому контролю, закрепляют эталоны чувствительности, имитаторы (если эта необходимо) и свинцовые знаки. Свинцовыми маркировочными знаками обозначают: направление укладки кассет или рулонной пленки, соответствующее направлению, указанному стрелкой на стыке (для неповоротных стыков в нитке трубопровода – по часовой стрелка по ходу продукта); шифр (характеристику) объекта (например, для головных сооружений Шуртана 16 ставится шифр – Ш 16); номер стыка; номер пленки (снимка); шифр (клеймо) сварщика или бригады; шифр дефектоскописта, осуществляющего просвечивание стыка.

Изображение на снимке маркировочных знаков должно быть четким и не накладываться на изображение сварного шва. Эталоны чувствительности следует устанавливать на контролируемом участке со стороны, обращенной к источнику излучения. Проволочные эталоны следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва. Канавочные эталоны следует устанавливать на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок поперек шва.

Пластинчатые эталоны следует устанавливать вдоль шва на расстоянии не менее 5 мм от него или непосредственно на шов с направлением эталона поперек шва так, чтобы изображения маркировочных знаков эталона не накладывались на изображение шва на снимке. При контроле кольцевых швов трубопроводов с диаметром менее 100 мм допускается устанавливать канавочные эталоны на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок вдоль шва. При невозможности установки эталонов со стороны источника излучения при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, а также при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с пленкой. Маркировочные знаки, используемые для ограничения длины контролируемых за одну экспозицию участков сварных соединений, следует устанавливать на границах размеченных участков, а также на границах наплавленного и основного металла при контроле сварных соединений без усиления или со снятым усилением шва. Маркировочные знаки, используемые для нумерации контролируемых участков, следует устанавливать на контролируемом участке или непосредственно на кассете с пленкой так, чтобы изображения маркировочных знаков на снимках не накладывались на изображение шва и околошовной зоны. При невозможности установки эталонов чувствительности и (или) маркировочных знаков на контролируемом участке сварного соединения порядок проведения контроля без установки эталонов чувствительности и (или) маркировочных знаков должен быть предусмотрен в технической документации на контроль или приемку сварных соединений.

6.2. Схемы просвечивания сварных соединений

Для контроля сварных соединений используются схемы просвечивания, приведенные на рис. 6.1–6.3 [7].



Рис. 6.1. Схемы контроля стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых соединений: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При ограниченной ширине привариваемого элемента допускается проводить контроль тавровых сварных соединений с направлением излучения по образующей этого элемента в соответствии с рис. 6.2.



Рис. 6.2. Схема контроля тавровых соединений: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует, как правило, использовать схемы просвечивания через одну стенку изделия (рис. 6.3, *a*, *б*, *e*, *ж*, *з*). При этом рекомендуется использовать схемы просвечивания с расположением источника излучения внутри контролируемого изделия: схему рис. 6.3, *e* (панорамное просвечивание) – для контроля изделий диаметром до 2 м независимо от объема контроля и диаметром 2 м и более при 100%-м контроле; схему рис. 6.3, *ж* – при 100%-м и выборочном контроле, если использование схемы рис. 6.3, *e* невозможно; схему рис. 6.3, *s* – при выборочном контроле изделий диаметром 2 м и более; схемы рис. 6.3, *a*, *б* – для изделий с внутренним диаметром 10 м и более, если использование схемы рис. 6.3, *e* невозможно.

При контроле через две стенки схема рис. 6.3, *в* рекомендуется для просвечивания изделий диаметром до 100 мм; схемы рис. 6.3, *г*, ∂ – для просвечивания изделий диаметром более 50 мм. При контроле стыковых сварных соединений по схемам рис. 6.3, *a*, *б*, *e*, *ж*, *з* направление излучения должно совпадать с плоскостью контролируемого сварного соединения. При контроле по этим схемам угловых сварных швов вварки труб, штуцеров и т. п. угол между направлением излучения и плоскостью сварного соединений по схемам рис. 6.3, *в*, *г*, *д* направление излучения следует выбирать таким, чтобы изображения противолежащих участков сварного шва на снимке не накладывались друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва на снимке не накладывались друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва на снимке не накладывались друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45°.

Кроме контроля по схемам, приведенным на рис. 6.1–6.3, в зависимости от конструктивных особенностей сварных соединений и предъявляемых к ним требований могут использоваться другие схемы и направления излучения. Эти схемы и направления излучения должны быть предусмотрены технической документацией на контроль [8]. Для уменьшения разности оптических плотностей различных участков снимка при контроле сварных соединений с большим перепадом толщин, а также в случае, когда контролируемое сварное соединение не обеспечивает защиту радиографической пленки от воздействия прямого излучения (например, при контроле торцевых швов вварки труб в трубные решетки, при контроле наплавки кромок под сварку и т. п.), контроль следует проводить с использованием приставок-компенсаторов. Допускается использовать компенсаторы из любого материала, обеспечивающего требуемое ослабление излучения.



Рис. 6.3. Схемы контроля кольцевых (стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых) сварных соединений: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При выборе схемы и направления излучения следует учитывать: расстояние от контролируемого сварного соединения до радиографической пленки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм; угол между направлением излучения и нормалью к радиографической пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45°. Кольцевые швы трубопроводов, переходов и трубных узлов (приварки тройников, отводов) просвечивают по одной из четырех схем в зависимости от геометрических размеров труб, типа и активности применяемого источника излучения. Схемы просвечивания представлены на рис. 6.4–6.7 [8].



Рис. 6.4. Схема панорамного просвечивания изнутри трубы за одну установку источника излучения: Ии и Ис – источники излучения, расположенные соответственно изнутри и снаружи контролируемой сварной трубной конструкции; Пс и Пи – пленки, расположенные соответственно снаружи и изнутри контролируемой сварной трубной конструкции

Криволинейные швы тройников и отводов можно просвечивать по одной из схем, представленных на рис. 6.8–6.13, в зависимости от диаметров свариваемых патрубков, их соотношений, условий доступа к шву.



Рис. 6.5. Схема фронтального просвечивания через две стенки за три установки источника излучения

Требования, предъявляемые к просвечиванию по схеме, представленной на рис. 6.6: за две экспозиции «на эллипс» под углом 90° можно просвечивать трубы диаметром от 57 до 108 мм включительно, используя источники излучения, а также трубы диаметром 114 и 133 мм с толщиной стенки 6 мм и менее; за одну экспозиций «на эллипс», используя изотоп, иридий-192, допускается просвечивать трубы диаметром 57 мм толщиной стенки 5 мм и менее и диаметром 60 мм с толщиной стенки 4 мм и менее; за одну экспозицию «на эллипс», используя изотоп цезий-137, допускается просвечивать трубы диаметром 76 мм с толщиной стенки 4 мм и менее, а также трубы диаметром 57 и 60 мм.



Рис. 6.6. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну или две установки источника излучения на плоскую кассету (схема просвечивания «на эллипс»)



Рис. 6.7. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну установку источника излучения без его смещения относительно сварного шва: а – для соединения труб; б – для соединения врезок



Рис. 6.8. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за одну установку источника излучения



Рис. 6.9. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за несколько установок источника излучения



Рис. 6.10. Схема фронтального просвечивания криволинейных швов врезок малого диаметра за одну установку источника излучения

При просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.4, 6.8 и 6.9, используют любые рентгеновские аппараты и источники радиоактивно-го излучении.



Рис. 6.11. Схема фронтального просвечивания криволинейных швов врезок большого диаметра за несколько установок источника излучения



Рис. 6.12. Схемы просвечивания криволинейных швов врезок снаружи трубы за несколько установок источника излучения

При просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.4, 6.11–6.13, используют любые рентгеновские аппараты и источники радиоактивного излучения. Фокусное расстояние при просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.13, должно быть не менее к внутренней поверхности которого прикладывается радиографическая пленка. Фокусное расстояние при просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.9–6.13, пленку укладывают отдельными небольшими отрезками, способными обеспечивать плотное ее прилегание к профилю тройника. Трубы диаметром 114 и 113 мм с толщиной стенки более 6 мм необходимо просвечивать за три установки источника излучения по схеме, представленной на рис. 6.5. Просвечивание за две экспозиции можно производить на гибкую кассету, которая должна охватывать половину окружности сварного шва. При контроле «на эллипс» следует применять мелкозернистые высококонтрастные радиографические пленки (типа РТ-4М, РТ-5 и им подобные) в комбинации со свинцовыми усиливающими экранами.



Рис. 6.13. Зависимость МЭД от активности источников излучения

Если соотношение $d/D \ge 0.8$, просвечивание осуществляется по схеме, представленной на рис. 6.6, за одну установку «на эллипс». Просвечивание стыков врезок диаметров менее 76 мм в трубопроводы большого диаметра можно осуществлять в соответствии с рис. 6.11. Просвечивание стыков врезок в трубопроводы менее 76 мм производят в соответствии с рис. 6.7, 6.8. Смещение источника излучения относительно плоскости сварного шва при контроле по схеме рис. 4.6 составляет 0,35...0,5 Ф при просвечивании за одну экспозицию и ≈ 0.2 Ф при просвечивании за две экспозиции (Ф – фокусное расстояние).

6.3. Выбор параметров радиографического контроля

Энергию рентгеновского излучения (напряжение на трубке), тип радиоактивного источника, тип радиографической пленки, схему зарядки кассет (с усиливающими экранами или без них), толщину защитных

свинцовых экранов (от рассеянного излучения) и схему просвечивания выбирают в зависимости от геометрических размеров контролируемого изделия таким образом, чтобы чувствительность контроля не превышала половины размера по глубине минимального из недопустимых дефектов, но не более значений, приведенных в табл. 6.2. Конкретные значения недопустимых дефектов регламентируются технической документацией на контролируемый объект (СНиП, ТУ, инструкции и т. п.). Зависимость МЭД от активности источников излучения представлена на рис. 6.14 В табл. 6.2 приведены поправочные коэффициенты для изотопов Jr 192, Se7, Tm2170, при использовании которых через каждые 1...2 недели необходимо увеличивать время экспозиции делением его первоначального значения на поправочный коэффициент. Ориентировочное время экспозиции при просвечивании рентгеновскими аппаратами и радиоактивными источниками определяют в соответствии с номограммами, представленными на рис. 6.15, 6.16. Суммарная разностенность просвечиваемых за одну экспозицию толщин не должна превышать следующих величин (для оптических плотностей 1,5...3,0 ед.): при напряжении на рентгеновской трубке 200 кВ – 5,5 мм; при напряжении на рентгеновской трубке 260 кВ - 7,0 мм; при использовании иридия-192 - 15 мм; при использовании цезия-137 – 17 мм.

Таблица 6.2

Время Т, недели	Значение коэффициента К ^{Jr}	Время Т, недели	Значение коэффициента К ^{Jr}
0	1	11	0,486
1	0,937	12	0,455
2	0,877	13	0,426
3	0,821	14	0,399
4	0,769	15	0,374
5	0,720	16	0,350
6	0,675	17	0,328
7	0,632	18	0,307
8	0,592	19	0,288
9	0,554	20	0,269
10	0,519	21	0,252

Поправочный коэффициент К^{Jr} на время экспозиции при просвечивании источником излучения иридий-192

Примечание. Поправочные коэффициенты для изотопов селен-75 и тулий-170 соответствуют тем же значениям, которые приведены для иридия-192 в данной таблице, но интервалы по времени составляют 11 и 12 дней вместо одной недели для иридия-192.



Рис. 6.14. Номограмма для определения времени экспозиции при просвечивании стали рентгеновскими аппаратами непрерывного действия на пленку типа РТ-СШ (чувств. – 25 1/р) при фокусном расстоянии 700 мм и при различных напряжениях на трубке рентгеновского аппарата

При наличии оборудования для просмотра снимков, имеющих почернение до 4 единиц оптической плотности, суммарная разностенность не должна превышать: 7,5 мм при напряжении на трубке 200 кВ; 9,0 мм при напряжении на трубке 260 кВ; 20,0 мм при использовании иридия-192; 22,0 им при использовании цезия-137.

Пример. Начальная активность изотопа Se-75 составляла 4 кюри, с момента его зарядки прошло 33 дня; для нахождения поправочного коэффициента определяем количество недель (33:11=3 недели), за которое происходит аналогичное относительное снижение относительной активности иридия-192. По табл. 6.2 для 3 недель поправочный коэффициент составляет 0,821. Следовательно, активность изотопа селен-75 через 33 дня составит: 4 Кюри * 0,821 ~ 3,3 Кюри.

Изображение на снимке более тонкого элемента должно иметь максимальную оптическую плотность (3,0 и 3,6...4,0 е.о.п. соответственно). Расстояние от источника излучения до ближайшей к источнику поверхности контролируемого участка сварного соединения (при просвечивании сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий через две стенки – до близлежащей к источнику поверхности контролируемого сварного соединения) и размеры или количество контролируемых за одну экспозицию участков для всех схем просвечивания (за исключением схемы рис. 6.3, *e*) следует выбирать такими, чтобы при просвечивании выполнялись следующие требования: геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении пленки вплотную к контролируемому сварному соединению не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм – при чувствительности более 2 мм; относительное увеличение размеров изображений дефектов, расположенных со стороны источника излучения (по отношению к дефектам, расположенным со стороны пленки), не должно превышать 1,25; угол между направлением излучения и нормалью к пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения не должен превышать 45°.



Источники излучения: Tm-170 ($\delta_{pe} = 0,05/0,05 \text{ мм}$); Se-75 ($\delta_{pe} = 0,1/0,2 \text{ мм}$); Jr-192 ($\delta_{pe} = 0,1/0,2 \text{ мм}$); Cs-137 ($\delta_{pe} = 0,1/0,2 \text{ мм}$); Co-60 ($\delta_{pe} = 0,5/0,5$). Ключ номограммы – Pln; nFt

Рис. 6.15. Универсальная номограмма для определения времени просвечивания сплавов на основе железа на пленку типа РТ-1 (35–38 1/p) при Д = 1,5
Если фокусное расстояние отличается от приведенного на номограмме, то фактор экспозиции можно определить из следующей зависимости:

$$\boldsymbol{\Phi}_2 = \boldsymbol{\Phi}_1 \left(\frac{\mathbf{F}_2}{\mathbf{F}_1}\right)^2, \tag{6.1}$$

где: F_1 – фокусное расстояние, для которого построена номограмма; F_2 – фокусное расстояние, необходимое при работе; Φ_1 и Φ_2 – факторы экспозиции при фокусных расстояниях F_1 , F_2 соответственно.

При контроле сварных соединений по рис. 3.3, з (панорамное просвечивание) отношение внутреннего диаметра d к внешнему диаметру D контролируемого соединения не должно быть менее 0,8, а максимальный размер фокусного пятна Ф источника излучения не должен быть более,

$$\frac{Kd}{2(D-d)},$$

где К – чувствительность контроля. В случаях, когда размеры дефектов не определяются (например, дефекты не допускаются независимо от их размеров), соотношение между внутренним и внешним диаметрами контролируемого соединения может не соблюдаться. При определении чувствительности контроля расчет необходимо вести по той толщине стенки, на которую устанавливаются эталоны чувствительности. Эталоны чувствительности и имитаторы просвечивании по схемам, представленным, на рис. 6.4, 6.5, 6.8–6.11, устанавливают между контролируемым изделием и пленкой, а при просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.5, 6.6, 6.13, – между контролируемым изделием и источником излучения.

Длина каждого снимка должна обеспечивать перекрытие изображений смежных участков сварных соединений при длине контролируемого участка до 100 мм не менее 0,2 длины участка, при длине контролируемого участка свыше 100 мм – не менее 20 мм с каждой стороны. Ширина радиографической пленки должна обеспечивать получение изображений сварного шва и околошовной зоны по 20 мм с обеих сторон шва, эталонной чувствительности, имитаторов, если они используются, и маркировочных знаков. При просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.4, 6.5 и 6.7, угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва не должен превышать 5°. При просвечивании по схемам, представленным на рис. 6.6, 6.8–6.13, угол между направлением излучения и плоскостью контролируемого участка сварного шва в любой его точке не должен превышать 30°.

Фотообработку экспонированных пленок необходимо осуществлять в строгом соответствии с инструкциями завода-изготовителя этих пленок, обращая при этом особое внимание на соблюдение требований по времени проявления (обычно ручное проявление составляет не менее 5 мин) и температуре растворов. После фотообработки и сушке на радиограммах должны отсутствовать дефекты, способные повлиять на правильность расшифровки радиограммы.

6.4. Дешифровка радиографических снимков

Просмотр и дешифровку снимков следует производить после их полного высыхания в затемненном помещении с применением специальных осветителей-негатоскопов. Следует использовать негатоскопы с регулируемыми яркостью и размерами освещенного поля. Максимальная яркость освещенного поля должна составлять не менее 10^{Д+2} кд/м², где Д – оптическая плотность снимка. Размеры освещенного поля должны регулироваться при помощи подвижных шторок или экранов-масок в таких пределах, чтобы освещенное поле полностью перекрывалось снимком. Снимки, допущенные к дешифровке, должны удовлетворять следующим требованиям: на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, следов электростатических разрядов и других повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку; на снимках должны быть видны изображения эталонов чувствительности и маркировочных знаков, ограничительных меток, имитаторов и мерительных поясов, если они использовались; оптическая плотность изображений ровного металла контролируемого участка должна быть не менее 2 е.о.п; уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0 е.о.п.

При использовании высокочувствительных экранных радиографических пленок снимки должны иметь потемнение, находящееся в пределах 1...2 е.о.п. (на участках с изображением основного металла). Разность оптических плотностей изображений канавочного эталона чувствительности и основного металла в месте установки эталона должна быть не менее 0,3 е.о.п. Чувствительность снимков (наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона, наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие с диаметром, равным удвоенной толщине эталона) во всех случаях не должна превышать значений, приведенных в табл. 6.3.

Чувствительность контроля К определяют (К' в мм или К" в %) по изображения на снимке канавочного, проволочного или пластинчатого эталона по приведенным ниже формулам. При использовании канавочных или пластинчатых эталонов чувствительности:

$$K' = h_{\min}$$
 или $K'' = \frac{h_{\min}}{S'} 100,$ (6.2)

Т	аблица	6.3	
-	wound	···	

Радиационная толщина	Класс чувствительности		
(в месте установки эталона чувствительности), мм	1	2	3
До 5	0,10	0,10	0,20
Св. 5 до 9 включ.	0,20	0,20	0,30
912	0,20	0,30	0,40
1220	0,30	0,40	0,50
2030	0,40	0,50	0,60
3040	0,50	0,60	0,75
4050	0,60	0,75	1,00
5070	0,75	1,00	1,25
70100	1,00	1,25	1,50
100140	1,25	1,50	2,00
140200	1,50	2,00	2,50
200300	2,00	2,50	_
300400	2,50	_	_

Примечания:

- 1. При давлении в трубопроводе до 10 МПа включительно чувствительность контроля должна соответствовать третьему классу, при давлении свыше 10 МПа второму.
- 2. Если на какой-то конкретный объект разрабатывается специальная технология сварки и контроля сварных соединений, то в нормативно-технической документация (Инструкции, Руководстве и др.) должен быть оговорен класс чувствительности снимка (контроля).
- При просвечивании «на эллипс» с использованием канавочных эталонов чувствительность снимков можно считать достаточной, если видна следующая меньшая по величине канавка по сравнению с той, которая соответствует допустимой глубине дефектов.

При использовании проволочных эталонов чувствительности:

$$K' = d_{\min}$$
 или $K'' = \frac{d_{\min}}{S} 100,$ (6.3)

где: S – контролируемая толщина металла в месте установки эталона, мм; S – толщина просвечиваемого металла в месте установки эталона, т. е. толщина контролируемого металла плюс толщина эталона (S = S + h), мм; h_{min} – глубина наименьшей видимой на снимке канавки канавочного эталона, толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке видно

отверстие диаметром, равным удвоенной толщине этого эталона, мм; h – толщина эталона чувствительности, мм; d_{min} – длина наименьшей видимой на снимке проволоки проволочного эталона, мм.

Дешифровка и оценка качества сварных соединений по снимкам, не имеющим изображений эталонов чувствительности, допускается: при панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений при одновременном экспонировании более четырех пленок. В этих случаях, независимо от общего числа снимков, допускается устанавливать по одному эталону чувствительности на каждую четверть длины окружности сварного соединения; при невозможности применения эталонов чувствительности.

В этих случаях чувствительность определяется на имитаторах сварного соединения при обработке режимов контроля. При расшифровке снимков определяют размеры изображений трещин, непроваров, пор и включений, а также, при необходимости, оценивают величину вогнутости и выпуклости корня шва (в случаях, когда корень шва недоступен для внешнего осмотра). Перечень подлежащих определению размеров и методика оценки величины вогнутости и выпуклости корня шва должны быть приведены в технической документации на контроль и приемку сварных соединений.

При документальном оформлении результатов расшифровки снимков определенные по снимкам размеры следует округлить до ближайших значений из ряда 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм или ближайших целых значений в миллиметрах, если определенный по снимку размер превышает 3,0 мм. Если при контроле пленка располагается на расстоянии Н от обращенной к пленке поверхности контролируемого сварного соединения и выполняется соотношение

$$\frac{f+s}{H} > 10, \tag{6.4}$$

определенные по снимку размеры перед их округлением рекомендуется умножать на коэффициент

$$\frac{f+s}{f+s+H},\tag{6.5}$$

где f – расстояние от источника излучения до обращенной к источнику поверхности контролируемого участка сварного соединения, мм; s – радиационная толщина, мм.

При просвечивании по схемам представленным на рис. 6.7, размеры изображений дефектов на коэффициент не умножаются. При измерении размеров дефектов до 1,5 мм применяют измерительную лупу

с ценой деления 0,1 мм, св. 1,5 мм – любое измерительное устройство с ценой деления 1 мм. Результаты расшифровки снимков и чувствительность контроля должны быть записаны в заключении или журнале регистрации результатов контроля, форма которых должна устанавливаться технической документацией на контроль или приемку сварных соединений. Результаты расшифровки снимков с указанием их чувствительности и выявленных дефектов заносят в «Журнал по контролю качества сварных стыков». Оформление результатов радиографического контроля и заполнение журнала производят в соответствии с требованиями СНиП или другими действующими нормативными.

Заключение по результатам контроля следует давать отдельно по каждому отрезку снимка длиной 350 мм (для неформатных снимков) и по каждому снимку (для форматных); после анализа всех отрезков или снимков составляют заключение о качестве сварного стыка в целом. В тех случаях, когда снимки имеют одинаковую чувствительность, а на изображении сварного шва отсутствуют дефекты, их можно сгруппировать и записывать в заключении одной строкой.

6.5. Методика расшифровки радиографических снимков

6.5.1. Общие положения

К дефектам, не попадающим под браковочные критерии, относятся газовые поры и шлаковые включения. Трещины, несплавления и непровары независимо от чувствительности полученных снимков оцениваются в соответствии с действующими нормативными документами (СНиП, ТУ, инструкциями). Повышенная чувствительность и контрастность снимков приводит к появлению на них изображений пор и шлаковых включений небольшого размера, которые в совокупности с более крупными включениями могут образовывать цепочки и скопления, жестко ограничиваемые действующими СНиП, инструкциями. Выявляются также удлиненные поры небольшого диаметра и шлаковые включения небольшой глубины, длина которых превышает максимальный допустимый нормативами размер (2,7 мм для пор и 50 мм для шлаков). К порам и шлакам, не подпадающим под браковочные критерии, относятся только те, максимальный лучевой размер (глубина) которых, характеризующийся наибольшим почернением, составляет менее 10 % толщины стенки свариваемых труб. К снимкам повышенной чувствительности и контрастности следует относить такие, на которых четко виден следующий более мелкий по глубине (в направлении излучения) по сравнению с требованиями настоящего ОСТ элемент эталона чувствительности (канавка или проволока), к ним же относятся снимки, в которых четко виден самый мелкий по глубине элемент

эталонов чувствительности. Для расшифровки снимков рекомендуется использовать дефектоскопические линейки и денситометры.

6.5.2. Методика расшифровки

При обнаружении на снимке (в процессе обычной расшифровки результатов радиографического контроля) недопустимых по длине одиночных дефектов, цепочек и скоплений газовых пор и шлаковых включений производят предварительную оценку качества этого снимка. Предварительную оценку целесообразно осуществлять с помощью дефектоскопической линейки, значительно ускоряющей и упрощающей расшифровку снимка. При наличии на снимке недопустимых по длине вытянутых пор, как одиночных, так и образующих цепочки или скопления, измеряют диаметр этих пор или их глубину. Если эти размеры не превышают удвоенной величины максимально допустимой чувствительности контроля, указанные поры в расчет не принимаются и как недопустимые дефекты не фиксируются. В заключение данные поры вносятся с помощью соответствующего символа (А_в для одиночных, А_с и А_d для цепочек и скоплений, образованных удлиненными порами) со знаком по отношению к удвоенной чувствительности контроля. Пример: На снимке стыка с толщиной свариваемых труб 15 мм обнаружены четыре одиночные вытянутые (червячные) поры длиной 10 мм и диаметром (глубиной) 0,4 мм каждая. В соответствии со СНиП Ш-42-80 и ГОСТ 7312-82, абсолютная чувствительность контроля «Кд», должна быть не более 0,5 мм (так как глубина непровара не должна превышать 1,0 мм. Чувствительность снимка, определенная по канавочному эталону № 2 и заносимая в заключение, составляет 0,5 мм (четко видна самая маленькая канавка эталона).

В заключении в соответствующих графах указывают: A_в < 2Кд, годен. Аналогично оцениваются шлаковые включения, но критерием является их глубина. Запись в заключении производят следующим образом. На рис. 6.17–6.19 представлены схемы цепочек и скоплений газовых пор, в которые входят как крупные (глубиной, превышающей удвоенную допустимую чувствительность контроля), так и мелкие (глубиной менее удвоенной допустимой чувствительности).

Оценку результатов контроля по снимкам, схематично представленные на рис. 6.17–6.19, производят согласно методики. При этом в заключения заносит дефекты в соответствии со схемами, представленными в вариантах б рис. 6.17–6.19, к по ним оценивают качество данного участка шва: годен, не годен. Дополнительно в графу «Выявленные дефекты» с помощью соответствующего символа вносятся все остальные дефекты (варианты а рис. 6.17–6.19) со знаком «<» по отношению к удвоенной чувствительности контроля без дополнительной записи в графе «Оценка качества или по каждому снимку».



Рис. 6.16. Схематическое изображение группы пор участка сварного шва, представлено на снимках: а – повышенной чувствительности в виде цепочки пор; б – допустимой чувствительности в виде отдельных пор



Рис. 6.17. Схематическое изображение группы пор участка сварного шва, представленное на снимках:

а – повышенной чувствительности в виде скопления пор; *б* – допустимой чувствительности в виде отдельных пор



Рис. 6.18. Схематическое изображение цепочки пор участка сварного шва, представленное на снимках:

- а повышенной чувствительности в виде сплошной цепочки;
- $\mathit{\textit{b}}-\mathit{donycmumoй}$ чувствительности в виде отдельных цепочек пор





а – повышенной чувствительности в виде сплошного непрерывного скопления;
б – допустимой чувствительности в виде отдельных мелких скоплений

6.6. Примеры записи дефектов

6.6.1. Типы дефектов и их схематическое изображение

Для сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля должны использоваться условные обозначения, приведенные на рис. 6.20.

Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм или на всем снимке при его длине менее 100 мм) должно использоваться условное обозначение Σ . После условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах: для сферических пор, шлаковых и вольфрамовых включений – диаметр; для удлиненных пор, шлаковых и вольфрамовых включений – ширина и длина (через знак умножения); для цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин – длина.

Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные диаметр или ширина и длина этих дефектов (через знак умножения). При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (дефектов одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число. После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм) указывается эта длина в миллиметрах.

При отсутствии изображений дефектов на снимке, а также в случаях, когда длина, ширина и суммарная длина дефектов не превышают заданных максимально допустимых значений, в графе документации «Соответствует требованиям» пишется «да», в противоположном случае – «нет». При обнаружении на снимке изображений дефектов, не указан-

Тип дефекта		Условные обозначе	Схематическое изсор ние дефекта		
		ния	в сварном шве	на ралко- 1 грание	
	сферическая	Aa	0		
Denvi	скопление пор	Ao	0		
поры	цепочка пор	Ad	- V	CILICEFEIT	
	удляненная	AB	10		
	отдельное вклю- чение	Ва	1V		
Плако- вые	цепочка	Bő	1		
чения	окопление	Bo	1	([[[]]]]	
	удлинонный плак	Bd	V		
	непровар в корне	Да	V		
Непро- вары	непровар мехду ва- ликами	- Ad	P.	([[41164]]]	
	непровар по раз- делке	До	T		
	непровар и влако- все включение	дв	V		
Tee	вдоль шва	Ka	12		
пинн	поперек шва	Ed	T		
	разветвленная	Eo	12	(THERALII	
Нарух ные де- секты	превышение про-	Inn	IT		
	утятным (провисы)	Fa	JL	Unit	
	подрезн	Fo	X	CIEFERIO	
CODENT	омещение кромок	Fd	T	CITATION	

ных на рис. 6.20, в заключении или журнале регистрации результатов контроля следует указать полное наименование дефектов.

Рис. 6.20. Тип дефектов, их условные обозначения и схематическое изображение

6.6.2. Примеры записи при оформлении заключений

Пример 1. На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 3 мм каждая, цепочки пор с длиной 30 мм и максимальными длиной и шириной пор в цепочке 5 и 3 мм, и шлакового включения с длиной 15 мм и шириной 2 мм. Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 20 мм. Запись в документации: 5ПЗ; Ц30П5×3; Ш15×2; Σ20. Пример 2. На снимке обнаружены изображения двух скоплений пор (длина каждого скопления 10 мм, максимальный диаметр пор 0,5 мм) и скопление шлаковых включений (длина скопления 8 мм, максимальная длина и ширина включений 2 и 1 мм). Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 18 мм. Запись в документации: 2С10П0,5; С8Ш2×1; Σ18.

Пример 3. На снимке обнаружены изображения двух непроваров длиной 15 мм каждый и трещины длиной 40 мм. Запись документации: 2H15; T40.

Пример 4. На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 4 мм каждая и непровара длиной 20 мм. Максимальная суммарная длина пор на участке снимка длиной 100 мм составляет 12 мм. Запись в документации: 5П4; Σ12; Н20.

ГЛАВА 7. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (АЭС)

7.1. Основные положения радиографического контроля АЭС

Рассмотрим основные требования и положения контроля сварных соединений трубопроводов, листовых конструкций, сосудов и оборудования АЭС и энергетических установок (ВВЭР, РБМК, АСТ, АТЭЦ и др.), а также на угловые сварные соединения штуцеров (патрубков) с внутренним диаметром не менее 15 мм и сварные соединения труб с трубными решетками с внутренним диаметром не менее 15 мм при изготовлении, монтаже, ремонте и эксплуатации в соответствии с [10].

Радиографический контроль проводится с целью выявления в сварном соединении или наплавке следующих внутренних дефектов: трещин, непроваров, пор, металлических и неметаллических включений (вольфрамовых, шлаковых и других) и осуществляется только при возможности двухстороннего доступа к контролируемому сварному соединению; обеспечивающему возможность установки кассеты с плёнкой и источника излучения в соответствии со схемами и параметрами контроля, предусмотренными настоящим стандартом. При невозможности внешнего осмотра сварного соединения радиографический контроль может применяться и для выявления внешних дефектов: вогнутости корня превышения проплава, прожога, подреза. При радиографическом контроле не обеспечивается выявление любых дефектов с размерами направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля; плоскостных дефектов (непроваров, трещин и т. п.) с раскрытием менее значений приведенных табл. 7.1; плоскостных дефектов (непроваров, трещин и т. п.) плоскость которых не совпадает с направлением просвечивания;любых дефектов, если их изображение на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов толщин свариваемых элементов.

Суммарная толщина металла в направлении просвечивания должно быть не менее 0,2 для всех видов сварных соединений, кроме стыковых. На все сварные соединения должны быть составлены технологические карты контроля. Форма технологической карты может быть произвольной. Технологические карты радиографического контроля должны быть составлены инженерно-техническими работниками предприятия, проводящего контроль в соответствии с требованиями ОСТ 108.004.110-87 и подписаны начальником подразделения, выполняющего радиографический контроль. Для серии однотипных сварных соединений допускается составлять одну технологическую карту/ Документация на контроль (технологические карты, производственные инструкции) должна соответствовать требованиям стандарта ОСТ 108.004.110-87. Срок хранения все отчетной документации технического контроля (ОДТК), технологических карт и радиографических снимков, экспонированных в процессе изготовления оборудования, должен соответствовать нормативно-технической документации и руководящим указаниям, а экспонированных в процессе монтажа – устанавливается 5 лет после пуска АЭС в эксплуатацию с последующей передачей ОДТК службам эксплуатации по акту.

Т	~~~		1	
	$20 \pi M M^{2}$			
1	аолица			L
		-	-	

Радиационная толщина	Минимальное раскрытие
До 40	0.1
Св. 40 до 100 включ.	0.2
Св. 100 до 150 включ.	0.3
Св. 150 до 200 включ.	0.4
Св. 200 до 250 включ.	0.5
Св. 250 до 300 включ.	0.6
Св. 300 до 350 включ.	0.7
Св. 350 до 400 включ.	0.8

Для предприятий-изготовителей ОДТК, технологические карты и снимки должны храниться в течение всего срока эксплуатации оборудования.

7.2. Подготовка к контролю

Радиографический контроль сварных соединений разрешается проводить только после устранения наружных дефектов, выявленных внешним осмотром или другими методами. Перед контролем поверхность сварного соединения должна быть зачищена от окалины, шлака, брызг металла и других загрязнений, изображения которых на пленке могут помешать расшифровке радиографического снимка. Неровности (брызги металла, металлические крошки и т. д.) поверхности сварного шва следует удалить любым способом до такой степени, чтобы на радиографическом изображении они не могли замаскировать несплошности или не были ошибочно идентифицированы как несплошности.

После подготовки сварных соединений (плавленых деталей) производится их разметка на участки и маркировка (нумерация) участков

способом, принятым на предприятии, и не ухудшающим качество и эксплуатационную надежность контролируемого изделия. Система разметки (начало и направление) и нумерация участков должны обеспечивать возможность возобновления разметки и нумерации участков. Начало разметки, направление, количество участков и нумерация участков следует приводить в технологической карте контроля, которая должна входить в состав ОДТК. Разметка и маркировка сварного соединения должна сохраняться до его приемки ОТК.

При выборе размеров снимков следует руководствоваться требованиями [7]. Перед контролем на участке сварного соединения должны быть установлены: ограничительные метки, маркировочные знаки и стрелки, ограничивающие ширину шва со снятой выпуклостью шва, как представлено на рис. 7.1, и эталон чувствительности. При оценке величины вогнутости корня и превышения провала шва на сварное соединение должен быть установлен образец – имитатор вогнутости корня и превышения провала. Допускается раздельное изготовление образцаимитатора вогнутости корня и образца – имитатора превышения проплава с сохранением размеров. При невозможности установки эталонов чувствительности при просвечивании отдельных типов сварных соединений проверку чувствительности следует производить на плоскопараллельных или клинообразных пластинах из материала или сплава, основа которого по химическому составу аналогична основе материала контролируемого изделия. При этом толщина пластин как стыкового, так и углового сварного соединения, должна быть равна радиационной толщине, которая определяется согласно [10] (рис. 7.1).

Ограничительные метки, маркировочные знаки, пояс (рулетку) со свинцовыми метками следует устанавливать на границах размеченных участков, а также на границах наплавленного и основного металла при контроле сварных соединений без выпуклости или со снятой выпуклостью шва. Маркировочные знаки следуёт устанавливать на контролируемом участке или непосредственно на кассете с плёнкой так, чтобы изображения маркировочных знаков на снимках не накладывались на изображения шва и околошовной зоны в пределах контролируемого участка.

При необходимости контроля уровня рассеянного излучения следует применять свинцовую литеру «В» толщиной 1,5 мм, которую располагают с обратной стороны кассеты с плёнкой. Защита от рассеянного излучения не эффективна, а радиографический снимок имеет неудовлетворительное качество, если на нём имеется изображение литеры «В».

Эталон чувствительности и образец-имитатор вогнутости корня и превышения проплава должны устанавливаться на сварном соединении со стороны, обращенной к источнику излучения. При невозможно-

сти установки эталона чувствительности со стороны источника излучения при панорамном просвечивании и при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотельных изделий через две стенки с расшифровкой на снимке только прилегающего к кассете с пленкой участка сварного соединения, допускается устанавливать эталоны чувствительности образцы-имитаторы вогнутости корня. И превышения проплавов со стороны кассеты с пленкой, что должно быть зафиксировано в технологической карте и журнале контроля в графе «примечания». В этом случае рядом с эталоном чувствительности, изображение которого не накладывается на изображение шва и околошовной зоны, следует располагать свинцовую литеру «І» такого же размера, что и маркировка снимка. Эталоны чувствительности следует устанавливать по оси симметрии рабочего пучка ионизирующего излучения: проволочный - непосредственно на шве с направлением проволок поперек шва, канавочный – рядом со сварным соединением, не перекрывая околошовную зону, с направлением эталона вдоль шва.



Рис. 7.1. Сварные швы с выпуклостью: 1 – ограничительные метки; 2 – маркировочные знаки; 3 – эталон чувствительности; 4 – стрелки, ограничивающие ширину шва со снятой выпуклостью; 5 – сварной шов с выпуклостью; 6 – сварной шов со снятой выпуклостью; 7 – околошовная зона; 8 – образец-имитатор вогнутости корня и превышения проплава

При промежуточном контроле не полностью заваренных стыковых сварных соединениях, а также полностью заваренных угловых и тавровых сварных соединениях следует применять проволочные эталоны чувстви-

тельности. Если при панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий на шов устанавливается не более четырёх плёнок, количество устанавливаемых эталонов чувствительности должно соответствовать количеству плёнок. Если устанавливается более четырёх плёнок, допускается устанавливать по одному эталону на каждую четверть длины окружности.



Рис. 7.2. Угловой шов: 1 – источник излучения; 2 – радиографическая плёнка; h – расчетная высота углового шва; H – радиационная толщина углового шва

Образец-имитатор вогнутости корня и превышения проплава следует устанавливать рядом со швом так, чтобы направление выступа (канавки) совпало с продольной осью шва. Если выпуклость стыкового сварного шва и (или) подкладное кольцо (полоса) под ним не удалены, под канавочный эталон чувствительности и (или) образец-имитатор вогнутости корня и превышения проплава следует устанавливать прокладку, компенсирующую разность толщин. Прокладка должна быть из материала или сплава, основа которого по химическому составу аналогична основе материала контролируемого изделия.

При контроле кольцевых сварных соединений трубопроводов диаметром до 100 включительно канавочные эталоны чувствительности разрешается устанавливать вдоль оси трубы, а контроль сварных соединений трубопроводов, штуцеров (патрубков) указанных диаметров допускается проводить без установки ограничительных меток на границах участка. При невозможности установки маркировочных знаков следует производить сохраняющуюся маркировку снимков (например, мягким карандашом, маркерами: световым, нажимным, перфорационным и т. д.). Разрешение на такую маркировку указывается в журнале контроля и подписывается руководителем службы радиографического контроля.

Маркировка снимков должна обеспечивать возможность определения участка сварного соединения на изделии, а также возможность отыскания записи в журнале контроля, относящейся к снимку, или снимка по записи в журнале контроля. Рекомендуется включать в маркировку номер журнала контроля, порядковый (регистрационный) номер снимка в журнале и условный шифр дефектоскописта, проводившего просвечивание, или обеспечивать определение дефектоскописта по журналам контроля.

Таблица 7.2

	Наличие плёнок в кассете		
Спосоо зарядки	одна	две	
Без экранов			
С усиливающими металлическими экранами			

Способы зарядки кассет для радиографического контроля [7]

Контроль сварных соединений должен производиться через одну стенку, за исключением случаев, когда просвечивание через одну стенку технически невозможно, например, при отсутствии двустороннего доступа к сварному соединению. Техническая невозможность в каждом конкретном случае должна быть согласована с организацией и Госатомнадзором. При повторном контроле участков сварного соединения (после ремонта) маркировочные знаки должны содержать индексы Н. 2П и т. д.

7.3. Требования к квалификации персонала в области неразрушающего контроля

К работам по радиографическому контролю допускаются дефектоскописты 1-го и 2-го уровней.

7.3.1. Требования к квалификации специалиста І-го уровня

Специалист I-го уровня квалификации имеет право проводить НК тем методом, на который он аттестован, в строгом соответствии с методиками, технологическими инструкциями и под наблюдением персонала II-го и III-го уровня. Специалист І-го уровня должен знать: общие закономерности по физике, электротехнике, электронике, механике, технологии материалов и материаловедению; типы дефектов, вероятные зоны и основные причины их образования в конкретных объектах; принципы, основные физические процессы, на которых базируется метод контроля, назначение и область его применения; принципы устройства и работы, органы управления и порядок настройки аппаратуры; правила электробезопасности и пожарной безопасности, правила устройства и безопасной эксплуатации поднадзорных Госгортехнадзору России объектов, контроль которых он проводит.

Специалист І-го уровня должен уметь: подготавливать объект к контролю; производить настройку и регулировку аппаратуры; рационально организовывать свое рабочее место; осуществлять контроль, выполнять операции по поиску дефектов; регистрировать и классифицировать результаты контроля в соответствии с нормами и критериями, установленными в документах, фиксировать на объекте и в соответствующей документации зоны, в которых предполагается наличие дефекта; предоставлять отчет по результатам контроля; выполнять необходимые операции с объектом по завершении контроля. Специалист І-го уровня не производит выбор метода и средств контроля, а также оценку результатов контроля.

7.3.2. Требования к квалификации специалиста ІІ-го уровня

Специалист II-го уровня квалификации имеет право самостоятельно осуществлять НК и выдавать заключение о качестве проверенных объектов по результатам контроля, вести подготовку и руководство персоналом I и II уровней, разрабатывать письменные инструкции (технологические карты) по НК.

Специалист II-го уровня квалификации должен быть компетентным в вопросах: оценки качества изделия по результатам НК, классификации и области применения видов (методов) контроля; конструктивных особенностей, технологии изготовления, эксплуатации и ремонта объекта контроля, в типах дефектов, их классификации, потенциальной опасности и вероятных зонах образования с учетом действующих нагрузок; физических принципов, закономерностей метода, определения ограничений применения метода, по которому присваивается квалификация; устройства и функциональных схем аппаратуры для данного метода, включая правила отбора и проверки качества применяемых расходных материалов; основных параметров метода и аппаратуры, определяющих достоверность результатов контроля, систем расчета параметров контроля, способов их измерения и метрологического обеспечения; измеряемых характеристик и признаков выявленных дефектов, методов оценки чувствительности; технологии контроля конкретных объектов данным методом (подготовке объекта, выборе основных параметров, настройке аппаратуры, проведении контроля, возможных причинах ложного бракования); порядка оформления результатов контроля и хранения документации, основ применения компьютерной обработки; знания документов по НК (стандартов, методик и т. д.); знания сведений о других методах НК, правил выбора и рационального использования; порядка организации участков и рабочих мест при контроле конкретных объектов; знания основных неисправностей дефектоскопической аппаратуры и возможных способов их устранения в условиях предприятия, на котором осуществляется контроль; рациональной организации рабочего места, правил электробезопасности и пожарной безопасности, правил устройства и безопасной эксплуатации поднадзорных Госгортехнадзору России объектов, контроль которых он проводит.

Специалист II-го уровня квалификации должен уметь: осуществлять все операции, перечисленные для I-го уровня; выбирать схему контроля для применяемого метода; проверять работоспособность аппаратуры и настраивать ее на заданные параметры, осуществлять полный комплекс работ по НК; правильно документировать, толковать и оценивать результаты в соответствии с применяемыми стандартами, нормами руководящими документами. Оформлять результаты контроля с выдачей соответствующего заключения; составлять (разрабатывать) технологические инструкции (технологические карты) контроля конкретных объектов с использованием стандартов и действующих нормативно-технических документов; проводить экспериментальные работы по определению оптимальных режимов контроля; давать заключение по результатам контроля объектов, проконтролированных персоналом I-го уровня квалификации, с проведением при необходимости инспекционного контроля.

7.3.3. Требования к квалификации специалиста ІІІ-го уровня

Специалист, аттестованный на III-й уровень, получает право проведения всех операций по определенному методу НК, производит выбор технологии контроля и аппаратуры.

Специалист III уровня должен знать: принципы, физические основы, техническое обеспечение методов НК; конструктивные особенности, технологию изготовления, эксплуатации и ремонта объекта контроля, типы и виды дефектов, вероятные зоны их образования с учетом действующих на объект нагрузок и других факторов; принципы построения, функциональные схемы и правила эксплуатации аппаратуры для данного метода контроля, включая правила отбора и проверки качества применяемых рас-

ходных дефектоскопических материалов; системы контроля, используемые для проверки объектов (продукции) определенного вида; метрологическое обеспечение данного метода (вида) контроля; измеряемые характеристики и идентификационные признаки для разделения дефектов по классам и видам. Знать и иметь опыт применения элементов теории вероятности, математической статистики при обработке результатов контроля; технологию контроля различных объектов данным методом, стандарты (коды) и другие действующие нормативные документы и правила по методу (виду) контроля и на аппаратуру для ее применения; вредные экологические факторы данного метода контроля, способы предотвращения их воздействия на окружающую среду и человека; принципы планирования и организации работы лаборатории НК. Современное состояние и перспективы развития данного метода НК; рациональную организацию рабочего места, правила электробезопасности и пожарной безопасности, правила устройства и безопасной эксплуатации поднадзорных Госгортехнадзору России объектов, контроль которых он проводит.

Специалист III-го уровня квалификации должен уметь: определять конкретные методы, оборудование, технологии и методики, подлежащие использованию для конкретных видов объектов; иметь достаточные практические знания о применении материалов, производствах и технологиях для выбора способа и метода контроля и определения критериев приемки; выполнять операции контроля, давать оценку и идентифицировать результаты контроля, выдавать заключения о качестве контролируемых объектов; на основе анализа отечественных и зарубежных стандартов, руководящих документов, относящихся к практике его работы, разрабатывать методики, технологические инструкции (технологические карты) на проведение в производственных условиях; организовывать, проводить и руководить экспериментальными работами по определению оптимальных параметров контроля; обеспечивать и контролировать работу специалистов I и II уровней, участвовать в подготовке их к квалификационным экзаменам; участвовать в приеме квалификационных экзаменов.

7.4. Требования к средствам контроля

7.4.1. Источники излучения

В качестве источников излучения при радиографическом контроле сварных: соединений и наплавок должны использоваться рентгеновские аппараты, радионуклиды и источники тормозного излучения – ускорители электронов: линейные и циклические (бетатроны и микротроны) с энергией излучения, на превышавшей 35 МэВ.

Для стыковых и угловых сварных соединений, а также стыковых сварных соединений с большой разностью толщин в направления просвечивания, выбор источника излучения следует производить в соответствии с требованиями Правил контроля ПК 1514–72 и табл. 7.3, 7.4.

Таблица 7.3

	Требования			
Уровень квалификации	К общему образованию	К специальной подготовке (с выдачей удостоверения или свидетельства)		
	Среднее	Специализированные курсы по методам НК, в объеме не менее 80 часов		
1-й уровень	Среднее техническое или не менее трехлетнего курса инженерного вуза или университета	Специализированные курсы или центры повышения квалификации по программам, согласованным с Независимым органом		
	Среднее, высшее	Центры повышения квалификации по программам, согласованным с Независимым органом		
2-й уровень	Среднее техническое или высшее по специальности «Неразрушающий контроль»	Центры повышения квалификации по программам, согласованным с Независимым органом, или самостоятельная подготовка в процессе работы по НК с разработкой методических документов		

Основные требования к дефектоскопистам 1-го и 2-го уровней

При радиографическом контроле сварных соединений и наплавок должны использоваться радиографические тёхнические плёнки типа РТ, с не истекшим сроком годности. Допускается применение вместо радиографических технических плёнок типа РТ других радиографических отечественных и импортных плёнок с аналогичными или близкими характеристиками. В зависимости, от толщины просвечиваемой стали и источника излучения должен быть выбран тип радиографической пленки, согласно таблице. Перед применением каждой новой партии радиографической плёнки следует определять её пригодность для проведения радиографического контроля. С этой целью следует проявить и отфиксировать неэкспонированную плёнку из этой партии. Экспозиция должна быть такой, чтобы оптическая плотность экспонированной плёнки была не менее 1,5. Обе плёнки должны иметь равномерную плотность, без каких либо видимых повреждений эмульсионного слоя. Оптическая плотность вуали неэкспонированной пленки должна быть не более 0,3 оптических единиц.

Таблица 7.4

Радиационная толщина. мм,	Источник излучения	Тип радиографической плёнки	
До 5 включ.	Рентгеновский аппарат, Иттербий-169, Тулий-170, Селен-75, Иридий-192.		
Св. 5 до 20 включ.	Рентгеновский аппарат, Иттербий-169 (до 10 мм), Тулий-170(до 15 мм), Селен-75, Иридий-192.	PT – 5, PT – 4M.	
Св. 20 до 40 включ.	Св. 20 до 40 Рентгеновский аппарат, Селен-75 включ. (до 25 мм). Ирилий-192.		PT – 5, PT – 4M
Св. 40 до 80 включ.	Рентгеновский аппарат (до 70 мм), Ускоритель электронов (от 50 мм), Иридий-192 (до 70 мм)	PT – 1	PT – 5,
Св. 80 до 100 включ. Св. 100	Ускоритель электронов, Цезий-137, Кобальт-60 Ускоритель электронов, Кобальт-60	PT – 1	PT – 4M

Выбор источника излучения и радиографической плёнки в зависимости от толщины просвечиваемой стали

7.4.2. Принадлежности для контроля

Кассеты для зарядки пленки должны быть светонепроницаемые и обеспечивать плотное прилегание плёнки к усиливающим экранам. В случаях, когда по условиям контроля не требуется изгибать радиографическую плёнку, рекомендуется применять жесткие кассеты.

В качестве усиливающих экранов при радиографическом контроле сварных соединений и наплавок следует применять только металлические экраны, например, свинцовую или свинцово-оловянистую фольгу в соответствии с [6]. Для энергий излучения 1 МэВ и выше допускается применять медные, латунные и стальные усиливающие экраны. Экраны должны иметь чистую гладкую поверхность без складок, царапин, рисок, морщин, надрывов и других дефектов, снижающих качество снимков и затрудняющих их расшифровку. Толщину усиливающего свинцового экрана рекомендуется выбирать из табл. 7.5 в соответствии с источником излучения.

Толщина медных и стальных усиливающих экранов должна выбираться, исходя из условий обеспечения требуемой чувствительности

контроля. При контроле рентгеновскими аппаратами и Иридием-192 допускается использовать усиливающие экраны с толщиной, отличающейся от указанной в табл. 7.5, если они промышленно упакованы совместно с радиографической плёнкой. Толщина переднего экрана во всех случаях не должна превышать толщину заднего экрана. При радиографическом контроле сварных соединений толщиной до 4 мм металлические усиливающие экраны применять не рекомендуется.

Таблица 7.5

Источник излучения	Толщина свинцового экрана, мм
Рентгеновский аппарат с напряжением на Рентгеновской трубке до 100, Иттербий-169.	До 0,02
Рентгеновский аппарат с напряжением на Рентгеновской трубке свыше 100 до 300 кВ	0,020,09
Рентгеновский аппарат с напряжением на Рентгеновской трубке свыше 300 кВ	0,090,16
Тулий-170	0,09
Селен-75, Иридий-192.	0,090,20
Цезий-137	0,200,30
Кобальт-60	0,300,50
Ускоритель электронов	0,501,00

Выбор толщины усиливающего свинцового экрана при радиографическом контроле

Для защиты плёнки; от обратного рассеянного излучения, кассету при возможности рекомендуется экранировать с обратной от излучателя стороны свинцовым листом. Толщина защитного экрана выбирается из табл. 7.6 в соответствии с применяемым источником излучения.

Выбор толщины защитного экрана при радиографическом контроле приведен в табл. 7.6.

Таблица	7	.6
---------	---	----

Источник излучения	Толщина свинцового экрана, мм
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке до 200 кВ, Иттербий-169, Тулий-170, Селен-75	0,5
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 200 кВ, Иридий-192, Цезий-137, Кобальт-60	1,0
Ускоритель электронов	0,2

Расстояние между радиографической пленкой и защитным экраном при использовании источника излучением Иттербий-169 рекомендуется устанавливать равным 4 мм. При контроле сварных швов обварки труб в трубных досках при использовании специальных кассет допускается размещение пленки и защитного экрана без зазора.

Для оценки чувствительности радиографического контроля следует применять проволочные и канавочные эталоны чувствительности, изготовленные в соответствии с [7]. Для оценки значений вогнутости корня и превышения проплава следует применять образцы-имитаторы.

Допускается изготавливать ступенчатый образцы-имитаторы вогнутости корня и превышения проплава с теми да размерами. Эталоны чувствительности и образцы-имитаторы вогнутости корня и превышения проплава следует изготавливать из материала или сплава, основа которого по химическому составу аналогична основе материала контролируемого изделия.

В качестве маркировочных знаков следует использовать цифры и буквы русского или латинского алфавитов, а также дополнительные знаки в виде стрелок, тире, реперных меток и т. д. Маркировочные знаки следует изготавливать из свинца или материала, близкого по плотности к свинцу, и выполнять в соответствии с требованиями [6]. Толщину маркировочных и дополнительных знаков рекомендуется выбирать из табл. 7.7.

Таблица 7.7

Толщина	Толщина	Размеры маркировочных знаков			
просвечиваемой стали	дополнительных знаков	Высота	Ширина	Толщина	
До 20 включ.	1,0	5	3	1,0	
Св. 20 до 50 включ.	1,5	8	5	1,5	
Св. 50 до 80 включ.	2,5	12	8	2,5	
Св. 80	5,0	18	12	5,0	

Толщина маркировочных и дополнительных знаков, мм

Конструкция приспособлений для просвечивания (штативов, опор, держателей источников и плёнки и др.) должна обеспечивать необходимую жесткость и отсутствие вибрации источника излучения, объекта контроля, кассет с плёнкой, эталонов и маркировочных знаков во время экспонирования. Приводящее к увеличению суммарной геометрической нерезкости предельное отклонение корпуса источника излучения относительно изделия во время экспонирования не должно превышать 10 % от размера активной части. Для улучшения качества, радиографических снимков рекомендуется применять свинцовые диафрагмы или тубусы, которые устанавливаются на выходное окно бленды с рентгеновской трубкой. Ширина окна диафрагмы выбирается в соответствии с величиной просвечиваемого участка сварного соединения или наплавки. Рекомендуемая толщина диафрагмы или тубуса не менее 2 мм. Для снижения интенсивности рассеянного излучения рекомендуется маскировать контролируемые участки по периферии поглощающим материалом, например, свинцом. Для выравнивания поглощения излучения в различных участках разнотолщинных изделий рекомендуется использовать компенсаторы. Для центрирования оси рабочего пучка ионизирующего излучения на контролируемый участок рекомендуется использовать центраторы – механические или оптические.

Материалы и реактивы для фотообработки, предназначенные для радиографического контроля, должны иметь маркировку завода – изготовителя или этикетку. Реактивы должны иметь неповреждённую упаковку и не истекший срок годности. В исключительных случаях допускается применение реактивов с истекшим сроком годности после проверки их химического состава на соответствие технологическим условиям или стандарта. Растворы, составленные из этих реактивов, должны быть апробированы на работоспособность на образцах радиографической плёнки при каждом очередном составлении. Для фотообработки радиографических плёнок в баках следует применять обрабатывающие растворы (проявитель, фиксаж, восстановитель и т. д.), приведенные и инструкциях по фотообработке используемых плёнок.

Применение следует проводить не ранее, чем через 12 ч после его приготовления с помощью pH – метра или иономера (например, иономер универсальный ЭВ-74, pH – метр – милливольтметр pH – 673 M) с ценой деления 0,1 pH. При этом у проявителя pH должно быть $10,3 \pm 0,2$, у фиксажа – $4,81 \pm 0,2$. Фотообработку экспонированных радиографических пленок рекомендуется производить в танках при объеме контроля более 50 штук в смену. Танки следует изготавливать из материалов химически неактивных в среде фоторастворов. Экспонированные радиографические пленки при ручной фотообработке в танках следует укреплять в рамках. Рамки следует изготавливать из материалов химически неактивных в среде фоторастворов. Сушку радиографических снимков рекомендуется производить в специальных сушильных шкафах с циркуляцией подогретого воздуха не более 35° С.

Для измерения оптической плотности пленки следует применять денситометры (например, ОД-ЗОНЦ, ДП-1, ДП-3), микроденситометры – СП, СШ, МД-100 (ГДР), денситометры цифровые с ручным зондом ДД 5005-220, денситометр ДНС-2, фотометры, микрофотометры, телевизионные видеопроцессоры или другие аналогичные приборы. Приборы должны быть аттестованы и иметь сертификат о поверке. Допускается проводить проверку оптической плотности пленки путем визуального сравнения с аттестованными ступенчатыми образцами плотности (оптическими клиньями).

Для расшифровки радиографических снимков следует применять негатоскопы отечественного и импортного производства с регулируемыми размерами и яркостью освещенного поля, например, ОД-10нН, ТД-2 (ВКР). Диапазон яркости негатоскопа должен быть таким, чтобы возможно было проводить расшифровку радиографических снимков с плотностью, указанной в технологии радиографического контроля. Значение максимальной оптической плотности снимка, которую возможно просматривать на данном типе негатоскопа, должно быть указано в его паспорте. Допускается применение осветителей – негатоскопов несерийного производства. Такие негатоскопы должны бить аттестованы. Требования к таким приборам аналогичны требованиям к промышленным негатоскопам. Проверку яркости негатоскопов следует проводить с помощью аттестованного и имеющего документ о поверке люксметра, для оценки дефектов размером до 2,5 мм рекомендуется применять измерительные средства с ценой деления не менее 0,1 мм, а свыше 2,5 мм – прозрачную измерительную линейку с ценой деления 1 мм.

Производить оценку дефектов возможно с помощью измерительного микроскопа, например, УИМ-23, микроденситометра с записью и расшифровкой диаграммы, например, МД-100, микроскопа с объектом – микрометром проходящего света, измерительной лупой или аттестованным трафаретом на прозрачной основе совместно с лупой или без неё.

7.5. Требования к метрологическому обеспечению радиографического контроля

Метрологическое обеспечение радиографического контроля имеет целью обеспечение единства и требуемой точности измерений при проведении неразрушающего контроля изделий. Организационно-технические мероприятия метрологического обеспечения предусматривают: установление единой терминологии, применяемой в документации всех видов при проведении контроля; установление оптимальной номенклатуры измеряемых параметров; установление порядка поверки используемых средств измерений, регламентацию использования стандартизованных и нестандартизованных средств измерений; разработку и аттестацию методик испытаний (РД 50-300-82).

Термины и определения основных понятий в области радиационного неразрушающего контроля определены в [1]. Объектом измерения при радиографическом контроле сварных соединений являются объемные дефекты – несплошности, инородные включения, локализованные в зоне просвечивания. При проведении расшифровки радиографического: снимков измерению подлежат контуры теневой проекции дефектов, зафиксированной на поверхности радиографической плёнки. За размеры дефектов принимаются размеры их изображений на радиограммах. По условиям, определяющим точность результата, в радиографическом контроле используются технические измерения, при которых погрешность результата определяется точностными характеристиками самих средств измерений. Для установления методов и сроков поверки средств измерений, используемых при просвечивании, фотообработке и расшифровке снимков, последние классифицируются в соответствии с табл. 7.8.

Классификация средств измерений, используемых при проведении радиографического контроля, приведена в табл. 7.8.

Название подгруппы	Средства измерений
1. Меры	Эталоны чувствительности. Образцы-имитаторы вогну- тости корня и превышения проплава. Оптический клин. Измерительные линейки, рулетки. Объект – микрометры для проходящего света. Измерительные лупы. Трафареты на прозрачной основе для измерения несплошностей.
2. Измерительные приборы	Электроизмерительные приборы рентгеновских аппара- тов и ускорителей электронов. Оптические приборы, ис- пользуемые при расшифровке снимков. Денситометры, люксметры, микрофотометры. Приборы измерения вре- мени, используемые при экспонировании и фотообработ- ке рентгеновской планки. Приборы для измерения пара- метров окружающей среды и водных растворов. Дозиметрические приборы.
3. Измерительные принадлежности	Центраторы, негатоскопы.

Таблица 7.8

В соответствии с ГОСТ 8.513–84 должны быть предусмотрены следующие виды поверки: первичная, вторичная, внеочередная, инспекционная и экспертная.

Импортные средства измерении допускаются к использованию после их метрологической аттестации органами государственной поверки. Импортные средства измерений не подлежат первичной поверке в случаях, когда результаты поверки, проведенной в других странах, признаны Госстандартом в соответствии с международными соглашениями о взаимном признании результатов государственных испытании и поверки, участником которых является Россия. Все средства измерений первой подгруппы табл. 7.8 (меры) должны иметь регистрационные номера, выгравированные или нанесенные несмываемой краской на нерабочей поверхности или на прикрепленной и ним бирке.

Эталоны чувствительности и образцы-имитаторы, измери-тельнные лупы; линейки и рулетки проверяются один раз в пять лет по методике, разработанной и согласованной в установленном порядке метрологической службой предприятия. Пригодность для дальнейшего использования средства измерений отмечается в специальном журнале (форма ведения произвольная), хранящемся в комплекте производственной документации лаборатории, осуществляется радиографический контроль.

Оптический клин и трафарет на прозрачной основе поверяются один раз в два года. Измерительные приборы поверяются один раз в год. Для средств измерений, применяемых для обеспечения техники безопасности, сроки поверки должны представляется на утверждение территориальному органу Госстандарта после согласования их со службами техники безопасности предприятия.

Рентгеновские аппараты отечественного и импортного производства проходят поверку один раз в два года в составе рентгеновского дефектоскопа на определение чувствительности по методике, согласованной в установленном порядке.

Негатоскопы промышленного производства должны иметь паспорт, а не промышленного обязаны пройти аттестацию и иметь свидетельство (сертификат или паспорт). Поверке негатоскопы, как индикаторы, не подлежат. Измерительные принадлежности поверке не подлежат.

Чувствительность радиографического контроля определяется по эталону в месте его установки. Чувствительность радиографического контроля определяется по изображению эталонов чувствительности в миллиметрах и, не должна превышать значений для данной радиационной толщины, приведенных в табл. 7.9 и 7.10. Определение радиационной толщины стыковых сварных соединении представлено на рис. 7.3 и угловых, тавровых и торцевых на рис. 7.4.

При контроле стыковых сварных соединений через 2 стенки с расположением эталона чувствительности как со стороны источника излучения, так и со стороны кассеты, чувствительности следует определять но радиационной толщине двух стенок (рис. 7.3, ∂ , e, \mathcal{W}).

При контроле сварных соединений труб с трубными решетками чувствительность допускается определять на образцах толщиной равной радиационной. Чувствительность при контроле сварных соединений

с трубными решетками, определяемая в мм по изображению проволочного эталона чувствительности на снимке, не должна превышать значений, приведенных в табл. 7.11.

Таблица 7.9

Чувствительность радиографического контроля сварных соединений
из стали при просвечивании в стационарных условиях.

Радиационная толщина	Чувствительность по проволочным эталонам	Радиационная толщина	Чувствительность по канавочным эталонам
До 4 включ.	0,100	До 5 включ.	0,10
46 включ.	0,125	512 включ.	0,20
68 включ.	0,160	1220	0,30
811 включ.	0,200	2030	0,40
1115 включ.	0,250	3040	0,50
1521 включ.	0,320	4050	0,60
2128 включ.	0,400	5070	0,75
2838 включ.	0,500	70100	1,00
3853 включ.	0,630	100140	1,25
5370 включ.	0,800	140175	1,50
7091 включ.	1,000	175200	1,75
91116 включ.	1,250	200250	2,00
116152 включ.	1,600	250300	2,50
152200 включ.	2,000	300350	3,00
200250 включ.	2,500	350400	3,50
250320 включ.	3,200	400 -	4,00
320400 включ.	4,000	—	_

Размеры, мм

Таблица 7.10

Чувствительность радиографического контроля сварных соединений из стали при просвечивании в цехе или на монтаже переносными установками. Размеры, мм

Радиационная толщина	Чувствительность по проволочным эталонам	Радиационная толщина	Чувствительность по канавочным эталонам
До 6 включ.	0,16	Св. 5 включ	0,10
Св. 6 до 8 включ	0,20	Св. 5 до 9 включ	0,20
Св. 8 до 11 включ	0,25	Св. 9 до 12 включ	0,30
Св. 11 до 15 включ	0,32	Св. 12 до 20 включ	0,40
Св. 15 до 21 включ	0,40	Св. 20 до 30 включ	0,50
Св. 21 до 28 включ	0,50	Св. 30 до 40 включ	0,60

Окончание	табл.	7.10
-----------	-------	------

Радиационная толщина	Чувствительность по проволочным эталонам	Радиационная толщина	Чувствительность по канавочным эталонам
Св. 28 до 37 включ	0,63	Св. 40 до 50 включ	0,75
Св. 37 до 49 включ	0,80	Св. 50 до 70 включ	1,00
Св. 49 до 62 включ	1,00	Св. 70 до 100 включ	1,25
Св. 62 до 79 включ	1,25	Св. 100 до 140 включ	1,50
Св. 79 до 98 включ	1.60	Св. 140 до 200 включ	2,00
Св. 98 до 120 включ	2.00	—	—
Св. 120 до 148 включ	2,50	—	—
Св. 148 до 178 включ	3,20	_	_
Св. 178 до 200 включ	4,00	_	_

Примечание. При просвечивании изотопами труб через 2 стен с толщиной стенки не более 5 мм допускается ухудшение чувствительности контроля не более, чем в 1,3 раза при расположение эталона со стороны источника.

Таблица 7.11

Значения чувствительности для радиационных толщин

Радиационная толщина, мм	Чувствительность по проволочному эталону
До 5 включ.	0,125
Св. 5 до 9 включ	0,200
912	0,320
1220	0,400

В условиях действующей атомной электростанций допускается ухудшение чувствительности радиографического контроля сварных соединений не более чем в 1,5 раза при наличии радиационного фона, превышающего 2,0·10⁻¹⁰ А/кг (2,8 мР/ч).

7.6. Схемы контроля. Выбор параметров контроля

Источник излучения, расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого изделия, тип радиографической плёнки должны быть выбраны такими, чтобы выявляемость дефектов в сварных соединениях соответствовала требованиям правил контроля ПК 1514-72, ГОСТ 7512–82 и ОСТ 108.004.110-87.

Схема контроля сварных соединений должна быть выбрана в зависимости от конструкции и толщины контролируемой детали. Стыковые, угловые и тавровые сварные соединения с полным проплавлением, произведенные по разделке и сварке, согласно требованиям Основных положений по сварке ОП 1513-72, контролируются по схемам, представленным на рис. 7.3, 7.4. Радиографический контроль стыковых сварных соединений трубопроводов. и других цилиндрических изделий должен проводиться через одну стенку (рис. 7.5, a, b, s, u, κ , рис. 7.6, a, b, d, e, рис. 7.7, a, b, рис. 7.8).



Рис. 7.3. Сварные соединения: 1 – источник излучения; 3 – стыковые сварные соединения; 2 – проволочный эталон чувствительности 3 – стыковые сварные соединения; 4 – радиографическая плёнка; 5 – наплавка; 6 – подкладное кольцо; 7 – проточка контроль стыковых сварных соединений: а – без снятия выпуклости шва; б – со снятой выпуклостью шва; в – с наплавкой; г – с накладным кольцом; д – через две стенки с расположением эталона чувствительности со стороны источника; е – через две стенки с проточкой; ж – через две стенки с расположением эталона чувствительности со стороны кассеты; Н – радиационная толцина

В случае невозможности проводить контроль через одну стенку допускается проводить контроль рис. 7.5 дм стенки (рис. 7.5, e, e, d, e, d, рис. 7.6, e, e, рис. 7.7, e, e, d). При этом направление излучения выбирается таким, чтобы изображения противоположных участков на снимке не накладывались друг на друга, а угол между направлением излучения и плоскостью контролируемого сварного соединения был не менее 20°

и не более 30°. Просвечивание под углом рекомендуется применять, как дополнительное для уточнения местоположения дефектов.

Если изображение удаленного от плёнки участка сварного соединения не мешает расшифровке изображения прилегающего к плёнке, контроль допускается производить с направлением излучения в плоскости контролируемого сварного соединения, например, при контроле труб большого размера через 2 стенки.



Рис. 7.4. Сварные соединения: 1 – источник излучения; 2 – проволочный эталон чувствительности; 3 – сварной шов; 4 – радиографическая плёнка 5 – контроль угловых сварных соединений; а – контроль угловых сварных соединений; б – контроль тавровых сварных соединений; в – контроль торцевых сварных соединений; Н – радиационная толщина







Рис. 7.5. Стыковые сварные соединения цилиндрических изделий: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета













Рис. 7.6. Стыковые сварные соединения цилиндрических изделий: 1 – источник излучения; 2 – контролируемое сварное соединение; 3 – радиографическая плёнка









Рис. 7.7. Стыковые сварные соединения цилиндрических изделий: 1 – источник излучения; 2 – контролируемое сварное соединение; 3 – радиографическая плёнка; 4 – подкладное кольцо



Рис. 7.8. 1 – источник излучения; 2 – контролируемое сварное соединение; 3 – радиографическая плёнка; 4 – компенсатор

При внутреннем диаметре трубопровода до 100 мм или толщина стенки до 1 мм включительно, просвечивание рекомендуется выполнять через две стенки (рис. 7.5, *в*, *е*, *ж*). При контроле сварных соединений панорамным способом должно выполняться требование: S< 0.1 D для рис. 7.5, *з*; S <0,1Dy – 2 для рис. 7.6, *д*, 7.8, *а*. Где S – толщина стенки

трубопровода или ввариваемого штуцера (патрубка), мм. D – внешний диаметр сварного соединения (трубопровода), мм D – внутренний диаметр штуцера (патрубка), мм.

При этом размер активной части источника излучения Φ , которым следует производить просвечивание, должен удовлетворять условию: $\Phi < 2$ К, где К – чувствительность контроля, соответствующая Правилам контроля ПК 1514-72.

При панорамном просвечивании допускается применять источники с максимальным размером активной части $\Phi < 4K$ при этом эталон чувствительности должен быть расположен только со стороны источника излучения. Расстояние до контролируемого сварного соединения f должно удовлетворять соотношению: f > 4H, где H - радиационная толщина, мм. При контроле в плоскости сварного соединения радиационная толщина H равна толщине стенки S, т. е. S=H.

Контроль наплавок под сварку после предварительной механической обработки рекомендуется проводить с применением специальных приставок-компенсаторов (рис. 7.9, a, δ , ε), при поэтапном контроле наплавок применяются приставки-компенсаторы соответствующих толщин (рис. 7.9, ε , ∂ , ε).

Сварные соединения трубопроводов и корпусов изделий с другими цилиндрическими пустотелыми изделиями (штуцерами, патрубками, тройниками и т. д.), следует контролировать по схемам (см. рис. 7.6, 7.7).

Сварные соединения приварки штуцеров, труб к трубным решеткам и др. следует контролировать по схемам (см. рис. 7.7, 7.8). Кроме контроля по вышеприведенным схемам для особо ответственных изделий первой категории в соответствии с требованиями рабочих чертежей, технологических карт и рекомендаций базовых предприятий рекомендуется проводить дополнительный контроль с направлением излучения по скосам кромок разделки под сварку.

Для всех схем контроля сварных соединений металлоконструкций, трубопроводов и цилиндрических пустотелых изделий угол между направлением излучения и нормалью к радиографической плёнке в центре контролируемого участка не должен превышать 45°, а расстояние между поверхностью сварного соединения и плёнкой должно быть минимальным и не превышать 150 мм. Источник излучения для радиографического контроля сварных соединений следует выбирать в зависимости от радиационной толщины металла согласно Правилам контроля ПК 1514-72, табл. 7.4.

Напряжение на рентгеновской трубке и энергия тормозного излучения ускорителей для радиографического контроля должны соответствовать требованиям [3].




Рис. 7.9. Контролируемое сварное соединение: 1 – источник излучения; 2 – контролируемое сварное соединение; 3 – радиографическая плёнка; 4 – приставка – компенсатор

Мощность экспозиционной дозы радионуклидных источников излучения должна соответствовать радиационной толщине стали. При контроле разнотолщинных сварных соединений допускается производить зарядку кассет двумя и более плёнками, имеющими одинаковую или разную чувствительность к излучению. Минимальное расстояние fот источника ионизирующего излучения до поверхности контролируемого сварного соединения следует определять по ГОСТ 7512–82.

Допускается производить расчет расстояния от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения по схемам, приведенным на рис. 7.2, 7.3, 7.4, *a*, *б*, *b*, *c*, *d*, *e*, *n*, *u*, *H*, 7.5, 7.9 по формуле: $f = \Phi * H^{\frac{2}{3}}$ при условии обеспечения чувствительности согласно

действующим нормам Правил контроля ПК 1514-72. Минимальное расстояние «f» от источника ионизирующего излучения до поверхности контролируемого сварного соединения при контроле по схемам, представляемым на рис. 7.8, следует оправлять по формулам табл. 7.12.

Таблица 7.12

Схема просвечивания	Минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения, мм
Рис. 8, в. 8, д.	$3\frac{\Phi}{K}(D-d)$
Рис. 8, г.	$1,5 \frac{\Phi}{K}$ D
Рис. 8, е, ж, з.	0,5d

где f – минимальное расстояние от источника ионизирующего излучения до поверхности контролируемого сварного соединения, мм; Ф – размер активной части источника излучения (фокальное ПЯТНО), К – требуемая чувствительность, согласно табл. 7.11, мм; D,d – внешний и внутренний диаметры контролируемой трубной решетки, мм.

Экспозиция должна обеспечивать оптическую плотность не менее 1,5. Допускается сокращать время экспозиции, обеспечивающее оптическую плотность снимков не менее 0,9. В этом случае следует обязательно производить усиление радиографических снимков до плотности не менее 1,5.

Минимальное число участков при контроле кольцевых швов сферических пустотелых изделий по схемам, приведенным а рис. 7.5, *a*, *б*, *в*, *г*, *д*, *e*, *ж*, 7.8, *a*, *б*. и швов вварки труб теплообмена в трубные доски или коллекторы по схемам, следует определять по ГОСТ 7512–82. Длину контролируемых за одну экспозицию участков сварных соединений (прямолинейных и близких к прямолинейным) в миллиметрах при контроле по схемам, приведенным на рис. 7.3, 7.4, 7.9 следует определять по формуле: L = 0.8 f.

Длину контролируемых за одну экспозицию участков при контроле по схемам; приведенным на рис. 7.5, a, b цилиндрических пустотелых изделий с диаметром более 1 м, следует определять по формуле, приведенной выше.

Размеры снимков должны обеспечивать получение полных изображений контролируемых участков сварных соединении, ограничительных метек, маркировочных знаков г эталонов чувствительности.

Длина снимков должна обеспечивать перекрытие изображении смежных участков сварных соединений, при длине контролируемого участка, до 100 мм – не менее 0,2 длины участка, а при длине контролируемого участка свыше 100 мм – не менее 20 мм. При выборочном контроле длина снимков должна обеспечивать получение полного изображения намеченного к контролю отдельного участка сварного соединения. Ширина снимка должна обеспечивать получение изображениями, прилегавших к сварному шву с обеих сторон зон, шириной: для стыковых сварных соединений: не менее 5 мм – при толщине свариваемых кромок до 5 мм; не менее толщины спариваемых кромок – при толщине свариваемых кромок свыше 5 до 20 мм; не менее 20 мм – при толщине свариваемых кромок свыше 20, не менее 50 мм – при электрошлаковой сварке деталей. Для угловых и тавровых сварных соединений – не менее 5,0 (вне зависимости от толщины сваренных деталей).

7.7. Расшифровка радиографических снимков

Просмотр и расшифровку радиографических снимков следует производить после их полного высыхания в затемненном помещении с использованием негатоскопа. Радиографические снимки не должны иметь вуали потери деталей изображения вследствие неплотного прилегания экрана к плёнке, ложные изображения, вызванные дефектностью экранов или посторонними факторами, а также механических; химических или иных го рода повреждений, которые могли бы замаскировать дефект или быть ошибочно приняты за изображение несплошностей на изображений контролируемого участка. К таким повреждениям относятся: царапины, следы от пальцев, сгибы, грязь; следы электростатических разрядов или надрывы; дефекты, возникшие при производстве радиографической плёнки светлые, темные точки, полосы, фрикционные следы; дефекты обработки полосы, следы от капель воды или химических реактивов. Снимок с изображением шва и прилегающих к нему с обеих сторон зон шириной, должен удовлетворять следующим требованиям: должно быть отсутствие изображения литеры «В», указывающие на удовлетворительную защиту от рассеянного излучения; оптическая плотность изображения контролируемого участка и эталонов чувствительности должна быть не менее 1,5; разность оптических плотностей изображений, подлежащих расшифровке, в пределах одного снимка не должна превышать 1,0; при контроле сварных соединений, имеющих переменное сечение (угловые, тавровые и т. п.), в случае, если разность оптических плотностей изображений превышает 1,0, то допускается разбивка такого снимка на участки, в пределах которых разность оптических плотностей не превышает 1,0, с последующей расшифровкой в пределах каждого такого участка; изображения, проволочек или канадок должны отвечать требуемой правилами контроля ПК 1514-72, чувствительности контроля.

Измерения должно производиться с помощью контрольно-измерительных приборов, устройств, линеек и др., класс точности которых позволяет производить определение размеров изображений несплошностей на снимке.

Размеры дефектов, полученные при расшифровке радиографических снимков, следует приводить в соответствии с действующими Правилами контроля ПК 1514-72 и ГОСТ 7512–82.

Оценка значений вогнутости корня шва или превышения проплава при контроле сварных соединений трубопроводов, выполненных без подкладных колец, должна производиться визуально путем сравнения оптической плотности изображения вогнутости корня шва или превышения проплава с оптическая плотностями изображений соответствующим им канавок или выступов образцов-имитаторов и с использованием микрофотометров или микроденситометров. В отдельных случаях допускается проводить эту оценку, используя денситометры с апертурой не более 1 мм.

Результаты радиографического контроля должны фиксироваться в специальном журнале, содержащем все позиции. На основании записи в журнале должно быть составлено заключение о результатах контроля, включающее все позиции, с указанием выявленных дефектов на каждом проконтролированном участке сварного соединения и с оценкой качества сварного соединения в соответствии с действующей технической документацией.

Оценку качества следует производить по нормам, указанным в Правилах контроля ПК 1514-72. Оценку качества стыковых сварных соединений разнотолщинных деталей следует производить по нормам для меньшей толщины. Оценку качества углового сварного соединения следует производить по нормам для меньшего катета шва. Оценку качества сварного соединения при просвечивании через все стенки следует производить по толщине одной стенки.

Качество сварного соединения по результатам радиографического контроля рекомендуется оценивать: нет – неудовлетворительное качество; да – удовлетворительное качество. Обозначением «нет» следует оценивать сварное соединение с выявленными дефектами, характеристики и количество которых превышают нормы, указанные в действующих Правилах контроля ПК 1514-72.

Обозначением «да» следует оценивать сварное соединение без выявленных дефектов или с включениями, характеристики и количество которых не превышают нормы, указанные в действующих Правилах ПК 1514-72.

Условную запись дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля следует производить по ГОСТ 7512–82. При отсутствии изображений дефектов на снимках в документации в графе «Обнаруженные дефекты» делается запись «Дефектов обнаружено». Расшифровка и оценка снимков контролируемых участков сварного соединения после исправления дефектных мест заваркой должна производиться в соответствии с Правилами контроля ПК 1514-72.

Конструктивный зазор, выявленный на радиографическом снимке, браковочным признаком не является, но наличие его должно быть зафиксировано в карте контроля. Кроме того, конструктивный зазор не должен мешать выявлению дефектов, расположенных в сварном соединении.

7.8. Радиографический контроль в условиях радиационного фона

Наличие радиационного фона при производстве радиографического контроля сварных соединений создаёт дополнительную фотографическую вуаль на радиографическом снимке, которая снижает контрастность изображения дефектов и ухудшает их выявляемость.

При радиографическом контроле в условиях радиационном фона следует использовать защитные кассеты, открытые с одной стороны потоку излучения от рабочего источника, позволяющие частично нейтрализовать влияние радиационного фона на радиографическую плёнку. Источник излучения для контроля сварных соединений в условиях радиационного фона следует выбирать по табл. 7.4 с учетом мощности экспозиционной дозы (МЭД) радиационного фона. Радиографические снимки, полученные в условиях радиационного фона, должны рассматриваться на негатоскопе повышенной яркости с регулируемой яркостью матового экрана в пределах $10^{-4} \dots 10^{-6}$ кд/м².

Таблица 7.13

		МЭД га	мма-излу	Размеры активной			
Изотоп, ГОСТ,	Тип	на ра	сстоянии	1 м	части источника, мм		
МРТУ	источника	Α/κγ	P/c	г.экв.R _a	Диаметр (фокус) Ф	Высота	
1	2	3	4	5	6	7	
Тулий-170 МРТУ 10-108-68	ТУ-3	3,1*10 ⁻⁸	1,2*10 ⁻⁴	0,515	9,0	6,5	
Иридий-192 ГОСТ 16003–76	ГИИ-Д-1 ГИИ-Д-2 ГИИ-Д-3 ГИИ-Д-4 ГИИ-Д-5 ГИИ-Д-6 ГИИ-Д-7	$3,9*10^{-8}$ $12,9*10^{-8}$ $3,87*10^{-7}$ $6,45*10^{-7}$ $1,29*10^{-6}$ $3,87*10^{-6}$ $6,45*10^{-6}$	$1,5*10^{-4} \\ 5,0*10^{-4} \\ 1,5*10^{-3} \\ 2,5*10^{-3} \\ 5*10^{-3} \\ 1,5*10^{-2} \\ 2,5*10^{-2} \\$	0,644 2,146 6,438 10,73 21,46 64,38 107,3	$\begin{array}{c} 0,5\pm 0,05\\ 1,0\pm 0,12\\ 1,5\pm 0,12\\ 2,0\pm 0,12\\ 3,0\pm 0,12\\ 4,0\pm 0,15\\ 6,0\pm 0,15\end{array}$	$\begin{array}{c} 0,5\pm 0,05\\ 1,0\pm 0,12\\ 1,5\pm 0,12\\ 2,0\pm 0,12\\ 3,0\pm 0,12\\ 4,0\pm 0,15\\ 6,0\pm 0,15\end{array}$	

Основные характеристики радиоактивных источников излучения

1	2	3	4	5	6	7
	ГИЦ-Д-1	3,1*10 ⁻⁸	$1,2*10^{-4}$	0,515	3,5	3,5
	ГИЦ-Д-2	$1,29*10^{-7}$	$5,0*10^{-4}$	2,146	6,0	6,0
Цезий-137	ГИЦ-Д-3	$3,10*10^{-7}$	$1,2*10^{-3}$	5,150	6,5	5,0
ГОСТ 16002–76	ГИЦ-Д-4	$1,29*10^{-6}$	$5,0*10^{-3}$	21,46	10,5	11,0
	ГИЦ-Д-5	$6,48*10^{-6}$	$2,5*10^{-2}$	107,3	18,5	17
	ГИЦ-Д-6	$1,29*10^{-5}$	$5*10^{-2}$	214,6	23,5	23,0
	ГИК-Д-1	$1,5*10^{-7}$	$5,8*10^{-4}$	2,490	2,5	2,5
	ГИК-Д-2	$3,1*10^{-6}$	$1,2*10^{-2}$	51,504	4,5	4,5
Кобальт-60	ГИК-Д-3	$1,3*10^{-5}$	$5,0*10^{-2}$	214,6	8,0	10,0
ГОСТ 16001–76	ГИК-Д-4	$3,1*10^{-5}$	$1,2*10^{-1}$	515,04	8.0	10,0
	ГИК-Д-5	$1,3*10^{-4}$	$5,0*10^{-1}$	2146	21,0	16,0
	ГИК-Д-6	$51,6*10^{-2}$	2,0	8584	21,0	25,0

Окончание табл. 7.13

Таблица 7.14

Зависимость внутренней (собственной) нерезкости мелкозернистой пленки от источников излучения

Истонные нолические	Внутренняя нерезкость N _в , мм					
Источник излучения	пленки без экрана	пленки с металлическим экраном				
Тулий-170	0,01	0,02				
Иридий-192	0,12	0,20				
Цезий-137	0,14	0,30				
Кобальт-60	0,19	0,40				

	×		Тулий	i-170	Ири	дий-192	Цe	зий-137	
Наружный диаметр трубы D _n , мм	Толщина стенки S, ми	Максимальная толщина L _{max} , мм	Экспозиция Т, г.*экв.* R _a *мин	Нерезкость N, мм	Экспозиция Т, г.*экв.* R _a *мин	Нерезкость N, мм	Экспозиция Т, г.*экв.* R _a *мин	Нерезкость N, мм	Чувствительность W мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	2,0 2,5	17,0 19,0	143 160	0,36 0,36	57 67	0,26÷0,32 0,26÷0,32	34 38	0,18÷0,93 0,18÷0,93	0,25 0,25
45	2,5 3,0 4,0	20,6 22,4 25,6	172 187 210	0,42 0,42 0,42	74 85 101	0,26÷0,33 0,26÷0,33 0,26÷0,33	43 47 55	0,20÷1,11 0,20÷1,11 0,20÷1,11	0,25 0,25 0,32

Прос	должение	табл.	7.1	4
------	----------	-------	-----	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2,0	21	175	0,54	80	0,26÷0,41	45	0,23÷1,42	0,25
57	3,0	25	206	0,54	97	0,26÷0,41	54	0,23÷1,42	0,25
57	4,0	29	236	0,54	122	0,26÷0,41	65	0,23÷1,42	0,32
	5,0	32	259	0,54	143	0,26÷0,41	72	0,23÷1,42	0,40
	3,0	30	240	0,74	130	0,26÷0,52	67	0,29÷1,93	0,32
	3,5	32	256	0,74	140	0,26÷0,52	72	0,29÷1,93	0,32
76	4,0	34	273	0,74	159	0,26÷0,52	78	0,29÷1,93	0,40
	5,0	37	300	0,74	185	0,26÷0,52	87	0,29÷1,93	0,40
	6,0	41	—	0,74	218	0,26÷0,52	98	0,29÷1,93	0,32
	3,0	32	256	0,88	140	0,26÷0,61	72	0,34÷2,30	0,32
	3,5	35,4	282	0,88	166	0,26÷0,61	81	0,34÷2,30	0,4
89	4,0	37	295	0,88	180	0,26÷0,61	85	0,34÷2,30	0,4
	5,0	41	_	0,88	217	0,26÷0,61	97	0,34÷2,30	0,5
	6,00	45	_	0,88	252	0,26÷0,61	109	0,34÷2,30	0,5
	4,0	40	_	1,09	214	0,26÷0,73	96	0,42÷2,85	0,5
100	5,0	45	—	1,09	260	0,26÷0,73	111	0,42÷2,85	0,5
108	6,0	50	_	1,09	310	0,26÷0,73	126	0,42÷2,85	0,5
	8,0	57	_	1,09	397	0,26÷0,73	150	0,42÷2,85	0,63
	4,0	46	_	1,39	261	0,26÷0,92	112	0,54÷3,61	0,50
	5,0	51	—	1,39	320	0,26÷0,92	128	0,54÷3,61	0,63
133	6,0	56	_	1,39	370	0,26÷0,92	146	0,54÷3,61	0,63
	8,0	63	_	1,39	492	0,26÷0,92	179	0,54÷3,61	0,63
	10,0	70	—	1,39	612	0,26÷0,92	206	0,54÷3,61	0,63
150	4,0	50	—	1,70	310	0,26÷1,3	126	0,66÷4,44	0,50
139	4,5	53	_	1,70	324	0,26÷1,13	135	0,66÷4,44	0,63
	6,0	61	_	1,70	448	0,26÷1,13	164	0,66÷4,44	0,63
	8,0	70	_	1,70	608	0,26÷1,13	205	0,66÷4,44	0,63
	10,0	77	_	1,70	760	0,26÷1,13	242	0,66÷4,44	0,63
	12,0	84	—	1,70	—	0,26÷1,13	280	0,66÷4,44	0,80
	4,0	57	_	2,52	395	0,27÷1,68	150	0,98÷6,59	0,63
	6,0	72	_	2,52	640	0,27÷1,68	214	0,98÷6,59	0,63
210	8,0	78	_	2,52	790	0,27÷1,68	246	0,98÷6,59	0,63
219	10,0	92	_	2,52	—	0,27÷1,68	382	0,98÷6,59	0,80
	12,0	101	—	2,52	—	0,27÷1,68	410	0,98÷6,59	0,80
	16,0	115	—	2,52	—	0,27÷1,68	592	0,98÷6,59	0,80
	6,0	80	—	3,38	—	0,44÷2,25	260	1,31÷8,83	0,80
	7,0	82	_	3,38	—	0,44÷2,25	274	1,31÷8,83	0,80
273	8,0	87	—	3,38	—	0,44÷2,25	304	1,31÷8,83	0,80
	10,0	103	—	3,38	—	0,44÷2,25	426	1,31÷8,83	0,80
	12.0	112		3 38	_	0.44 ± 2.25	540	1 31÷8 83	0.80

Окончание табл. 7.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
325	6,0 8,0	87 108	_	4,33 4,33	_	0,32÷2,89 0,32÷2,89	304 484	1,69÷11,31 1,69÷11,31	0,80 0,80
	10,0	112	_		—		540	1,69÷11,31	0,80

Примечание. Значения нерезкости приведены для размеров предельных типов источников излучения самого маломощного и самого мощного.

В основе радиографического контроля сварных соединений АЭС лежит следующая нормативно-техническая документация: ГОСТ 8.513–84; ГОСТ 12.2.007–75; ГОСТ 83–79; ГОСТ 195–77; ГОСТ 244–76; ГОСТ 3773–72; ГОСТ 4160–74; ГОСТ 5100–85; ГОСТ 5644–75; ГОСТ 6709–72; ГОСТ 7512–82; ГОСТ 8433–81; ГОСТ 9559–75; ГОСТ 10652–84; ГОСТ 15843–79; ГОСТ 16002–84; ГОСТ 16003–84; ГОСТ 17925–72; ГОСТ 18300–72; ГОСТ 18394–73; ГОСТ 19627–74; ГОСТ 20426–82; ГОСТ 23055–78; ГОСТ 24034–80; ГОСТ 25664–83; ГОСТ 26009–83; ПК 1514-724; ОСП-72/80; РД 50-360-82; НРБ-76; 1171-74; ПБТРВ-73; 1139-73; ПТЭ и ПТБ-75; СНиП П-33-75; СН 245-71; ПУЭ-76; 1858-78; 2191-8.

Для флуоресцирующих экранов величина собственной нерезкости изменяется в пределах от 0,3 до 0,7 мм, причем нижний предел нерезкости (0,3 мм) соответствует мелкозернистым экранам.

С учетом времени эксплуатации источника с момента последнего измерения его мощность найденное время экспозиции умножить на ко-эффициент ослабления МЭД источника во времени из табл. 7.15.

Таблица 7.15

Для источник	а Иридий 192	Для источника Кобальт-60			
Время после измерения МЭД, недели	Коэффициент ослабления МЭД К	Время после измерения МЭД, годы	Коэффициент ослабления МЭД К		
1	2	3	4		
0	1,00	0	1,00		
1	1,06	0,5	1,07		
2	1,14	1,0	1,14		
3	1,22	1,5	1,22		
4	1,30	2,0	1,30		
5	1,39	2,5	1,39		
6	1,48	3,0	1,49		
7	1,57	3,5	1,59		

Ослабление мощности экспозиционной дозы источников во времени

]	[2	2	3		4
8	3	1,0	1,68			1,70
Ģ)	1,	80	4,5		1,81
1	0	1,9	92	5,0		1,93
1	1	2,0	05	5,5		2,07
1	2	2,	18	6,0		2,21
1	3	2,33		6,5		2,36
1	4	2,48		7,0		2,52
1	5	2,66		7,5		2,69
1	6	2,3	84	8,0		2,87
1	7	3,03		8,5		3,07
1	8	3,22		9,0		3,28
1	9	3,4	45	9,5		3,50
2	0	3,0	67	10		3,74
ת	S	I	8		Кобальт-6	0
D_n	3	L_{max}	0	Т	N	W
57	2 5	21 32	100	10 71	0,41,2	0.2

Окончание табл. 7.15

7.9. Перечень рекомендуемых средств для радиографической толщинометрии технологических трубопроводов

Перечень рекомендуемых средств (гамма-дефектоскопов, рентгеновских аппаратов, принадлежностей) для радиографической тощинометрии технологических трубопроводов приведен в таб. 7.16.

Таолица /.16

Наименование средств	Источник гамма-излучения, рентгеновского илучения	Диапазон к онтролируемых диаметров трубопроводов, толщина стенки трубопровода, мм	Масса, кг	Цена комплекта / ориентировочно/ руб.	Поставщик, изготовитель
1	2	3	4	5	6
Гамма- дефектоскоп «Стапель-5М», затворного ти- па, перенос- ной	Иридий–192 ГИИ-Д-3	Д _н =14–159 S=/1,6–10/	7,0	1500 /без ТПК/	ВО «ИЗОТОП» 119146, Москва, Г-146, 1-я Фрун- зенская, За З-д «балтец» г. Нарва, Эстонской ССР

Окончание табл. 7.16

1	2	3	4	5	6
Гамма- дефектоскоп «Гаммарид-21» шлангового типа, пере- носной	Иридий-192 ГИИ-Д-1 ГИИ-Д-2 ГИИ-Д-3	Д _н =14–159 S=1,6–10	6,0	6400	То же
Гамма- дефектоскоп «Гаммарид-25» шлангового типа, пере- двиной, пере- носной	Цезий-137 ГИД-Д- Тулий-170 Иридий-192 ГИИ-Д-	$\begin{array}{c} \label{eq:2.1} \end{tabular} \begin{tabular}{lllllllllllllllllllllllllllllllllll$	12,0		
Импульсный рентгенов- ский аппарат «Мира-2Д»	Импульсная рентгенов- ская трубка	Д _н =14–38 S=1,6–3,0	6,5 /излуч. блок/	1800	НПО «Буревестник» 195272, Малоохотин- ский пр., 78. «Дельта», г. Таллин
Импульсный рентгенов- ский аппарат «МИРА-3Д»	Импульсная рентгенов- ская трубка	Д _н =14-76 S=1,6-6,0	18,0		НПО «Буревестник» 195272, Малоохотин- ский пр., 78. Предприятие «Дельта», г. Таллин
Рентгеновская установка	Рентгенов- ская трубка 0,7 БДМЗ-200	Д _н =14–108 S=1,6–6,0	112,0	2300	ВО Союзг- лавприбор. Москва, В-218, ул. Коржижа- новского, 16 Предприятие «Актюбрент- ген», 463000, г. Актюбинск

ГЛАВА 8. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ И ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

8.1. Общие положения

Требования Норм, согласно [12], необходимо соблюдать при контроле качества и приемке работ, выполняемых в процессе сооружения новых и реконструкции действующих: магистральных трубопроводов и ответвлений от них, область распространения которых регламентирована СНиП 2.05.06-85; трубопроводов компрессорных (КС) и нефтеперекачивающих (НПС) станций, станций подземного хранения газа (СПХГ), дожимных компрессорных станций (ДКС), газораспределительных станций (ГРС), узлов замера расхода газа (УЗРГ), пунктов редуцирования газа (ПРГ), область распространения которых регламентирована СНиП 2.05.06-85, в том числе: для транспортирования товарной продукции в пределах КС, НРС, СПХГ, ДКС, ГРС и УЗРГ; межцеховых трубопроводов; трубопроводов импульсного, топливного и пускового газа газоперекачивающих агрегатов; трубопроводов обвязки аппаратов нагнетателей, пылеуловителей, аппаратов воздушного охлаждения, холодильников и др.; устройств приема и пуска скребка; трубопроводных систем контрольно-измерительных приборов с главными и вспомогательными трубопроводами; промыслотрубопроводов; газопроводов-шлейфов, предназначенных вых лля транспортирования газа от скважин месторождений и СПХГ до установок комплексной подготовки газа (УКПГ), установок предварительной подготовки газа (УКПГ) и от КС СПХГ до скважин для закачки газа в пласт; газопроводов, газовых коллекторов неочищенного газа, межпромысловых коллекторов, конденсатопроводов, предназначенных для транспортирования газа и газового конденсата от УКПГ, УППГ до головных сооружений (ГС), ДКС, КС, СПХГ, газоперерабатывающих заводов (ГПЗ); выкидных трубопроводов от нефтяных скважин за исключением участков, расположенных на кустовых площадках скважин до замерных установок; нефтегазосборных трубопроводов для транспортирования продукции нефтяных скважин от замерных установок до пунктов первой ступени сепарации нефти; газопроводов для транспортирования нефтяного газа от установок сепарации нефти до установок подготовки газа или до потребителей; нефтепроводов для транспортирования газонасыщенной или разгазированной, обводненной или безводной нефти от пунктов сбора нефти и ДНС до центральных пунктов сбора; газопроводов для транспортирования газа к эксплуатационным скважинам при газлифтном способе добычи; газопроводов для подачи газа в продуктивные пласты с целью увеличения нефтеотдачи; трубопроводов систем заводнения нефтяных пластов и захоронения пластовых и сточных вод в глубокие поглощающие горизонты; трубопроводов пресной воды; ингибиторопроводов для подачи ингибитора к скважинам или другим объектам нефтяных и газовых месторождений; метанолопроводов; нефтепроводов для транспортирования товарной нефти от центральных пунктов сбора до сооружений магистрального транс порта нефти; газопроводов для транспортирования, газа от центральных пунктов сбора до сооружений магистрального транспорта газа.

Нормы [12] не распространяются на трубопроводы, прокладываемые на территории городов и других населенных пунктов, в морских акваториях, и районах с сейсмичностью свыше 8 баллов, а также на трубопроводы предназначенные для транспортирования газа, нефти, нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов, оказывающих коррозионные воздействия на металл труб и они разработаны с учетом требований: СниП 2.05.06-85 «Магистральные трубопроводы»; СниП III-42-80 «Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ»; СниП 3-01,01-85 «Организация строительного производства»; СниП 3.01.04-87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения».

8.2. Приемка, отбраковка и освидетельствование труб, деталей трубопроводов и запорной арматуры

Приемка труб, деталей и узлов трубопроводов, запорной и распределительной арматуры производится организацией – получателем или специализированной службой входного контроля в присутствии представителя организации получателя в процессе получения указанной продукции от заводов-изготовителей и других поставщиков по месту разгрузки продукции с транспортных средств или после транспортировки ее от мест разгрузки на площадки складирования.

Освидетельствование и отбраковку осуществляет комиссия, образуемая приказом по организации. Комиссия имеет право для решения отдельных вопросов привлекать к участию в работе экспертов и представителей других организаций. Трубы и другие элементы или узлы трубопроводов по истечении гарантийного срока 12 месяцев хранения в местах складирования на промежуточных базовых и притрассовых подлежат освидетельствованию с целью определения степени их пригодности для дальнейшего использования. Каждая партия труб должна иметь сертификат завода-изготовителя, в котором указывается номер заказа, технические условия или ГОСТ, по которым изготовлены трубы, размер труб и их число в партии, номера плавок, вошедших в партию, результаты гидравлических и механических испытаний, заводские номера труб и номер партии.

Все детали, узлы трубопроводов и элементы запорной (распределительной) арматуры должны иметь технические паспорта;

При приемке, разбраковке и освидетельствовании труб проверяют соответствие указанных в сертификатах (паспортах) показателей химического состава и механических свойств металла предусмотренным в соответствующих ТУ или ГОСТ; визуальным контролем: наличие маркировки и соответствие ее имеющимся сертификатам (паспортам); отсутствие недопустимых вмятин, задиров и других механических повреждений, металлургических дефектов и коррозии; отсутствие на торцах забоин, вмятин, наличие разделки под сварку; инструментальным контролем: толщину стенки по торцам; овальность по торцам; кривизну труб; косину реза торцов труб; отсутствие расслоений на концевых участках труб; размеры обнаруженных забоин, рисок, вмятин на теле и на торцах.

Трубы считаются пригодными при условии, что: они соответствуют требованиям технических условий и стандартов на поставку и имеют заводскую маркировку и сертификаты; отклонение диаметра корпуса труб на длине не менее 200 мм от торца не превышают для труб диаметром до 800 мм включительно предельных величин, регламентируемых соответствующими ГОСТами и ТУ, а для труб диаметром свыше 800 мм – ±2 мм; отклонения толщины стенки по торцам не превышает предельных значений, регламентируемых соответствующими ГОСТами и ТУ; овальность бесшовных труб не выводит их наружный диаметр за предельные отклонения, а сварных труб диаметром 426 мм и более не превышает 1 % номинального наружного диаметра (при этом овальность определятся как отношения разности величин наибольшего и наименьшего измеренных диаметров торца обследуемой трубы к номинальному диаметру); кривизна труб не превышает 1,5 мм на 1 м длины, а общая кривизна – не более 0,2 % длины трубы; косина реза торцов труб не превышает 2 мм; на концевых участков труб отсутствует расслоения любого размера, выходящие на кромку или поверхность трубы; глубина царапин, рисок и задиров на поверхности труб (деталей, арматуры) не превышает 0,2 мм; на теле и на торцах трубы отсутствуют вмятины; в местах, пораженных коррозией, толщина стенки трубы не выходит за пределы минусовых допусков.

Трубы могут подвергаться ремонту, если: глубина рисок, царапин и задиров на поверхности труб не превышает 5 % от толщины стенки; вмятины на концах труб имеют глубину не более 3 % от внешнего диаметра; глубины забоев и задиров фасок не более 5 мм; на концевых участках труб имеются расслоения, которые могут быть удалены обрезкой.

Ремонт труб производят в соответствии с требованиями «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Сварка» ВСН 006-89. Проведение ремонта и заключение о пригодности труб к дальнейшему использованию оформляется актом установленной формы. Трубы (детали, элементы арматуры) считаются непригодными для сооружения нефтегазопроводов, если они не отвечают требованиям указанным выше.

При измерении наружного диаметра труб, деталей трубопроводов и пр. диаметром до 57 мм включительно за величину диаметра принимают среднее арифметическое измерений диаметра в двух взаимно перпендикулярных направления. Измерения проводят штангенциркулем с погрешностью не более 1 мм. Для труб и пр. диаметром более 57 мм значение наружного диаметра D (мм) вычисляют по формуле (1):

$$D = \frac{\Pi}{3,142} - 2T, \tag{8.1}$$

где П – периметр (мм), измеренный рулеткой с точностью 0,5 мм; Т – толщина лент рулетки, мм.

Толщину стенки измеряют с торцов труб и деталей штангенциркулем не менее, чем в пяти равномерно распределенных по окружности точках с погрешностью не более 0,1 мм.

Трубы (детали, элементы арматуры), прошедшие освидетельствование, должны быть промаркированы.

Маркировка производится на расстоянии 100...1500 мм от торца несмываемой краской в следующем порядка: Порядковый номер трубы (детали, элементы арматуры); индекс категории, к которой отнесена труба (деталь, элементы арматуры) после освидетельствования; «П» – пригодные для использования в газонефтепроводном строительстве; «Р» – требующие ремонта для дальнейшего использования в газонефтепроводном строительстве; «У» – пригодные для использования в других отраслях народного хозяйства; «Б» – не пригодные к дальнейшему использованию.

8.3. Контроль качества сварных соединений трубопроводов

Для обеспечения требуемого уровня качества необходимо производить: проверку квалификации сварщиков; контроль исходных материалов труб и трубных заготовок, запорной и распределительной арматуры (входной контроль); систематический операционный (технологический) контроль, осуществляемый в процессе сборки и сварки; визуальный контроль (внешний осмотр) и обмер готовых сварных соединений, проверку сварных швов неразрушающими методами контроля; механические испытания сварных соединений, выполненных стыковой контактной сваркой оплавлением, сваркой вращающейся дугой и паяных соединений. Квалификация сварщиков. К прихватке и сварке стыков трубопроводов в случае применения дуговых методов допускаются сварщики, окончившие специализированные профессионально-технические училища; или курсы (школы), имеющие установленной формы удостоверения и аттестованные для сварки соответствующей группы труб по диаметру и (или) соответствующего спецсоединения (технологические трубопроводы диаметром менее 89 мм, захлесты, разнотолщинные элементы, прямые врезки, тройниковые соединения, заварка технологических отверстий). Аттестацию и проверку квалификации, сварщиков осуществляет специальный орган по аттестации сварщиков.

Сварочные материалы. Для проведения сварочных работ на строительстве магистральных и промысловых трубопроводов допускается применение электродов, флюсов, проволок, защитных газов только тех марок, которые регламентируются требованиями ВСН 006-89. Все поступающие на участок централизованного хранения и подготовки к использованию сварочные материалы подвергают количественному и качественному контролю. При определении качества сварочных материалов устанавливают: наличие сертификатов на каждую партию и марку мате риалов, а также соответствие маркировки и условного обозначения сварочных материалов в сертификате и на этикетке упаковки; состояние упаковки; состояние поверхности покрытия электродов; состояние поверхности сварочной проволоки; однородность цвет зерен флюса и т. д.

Операционный контроль. Операционный контроль осуществляют мастера и производители работ. При этом осуществляется проверка правильности и необходимой последовательности выполнения технологических операций по сборке и сварке в соответствии с требованиями ВСН 006-89 и действующих операционных технологических карт. При сборке соединений под сварку проверяют: чистоту полости труб и степень зачистки кромок и прилегающих к ним внутренней и наружной поверхностей; соблюдение допустимой разностенности свариваемых элементов (труб, труб с деталями трубопроводов и пр.); соблюдение допустимой величины смещения наружных кромок свариваемых элементов; величину технологических зазоров в стыках; длину и количество прихваток. Если требуется просушка свариваемых кромок или предварительный подогрев, производят контроль температуры подогрева.

При операционном контроле в процессе сварки осуществляют наблюдение за обеспечением строгого соблюдения режимов сварки (по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры, установленной на сварочных агрегатах, постах, машинах и т. п.), порядка наложения слоев и их количеством; применяемых материалов для сварки корневого и заполняющих слоев, времени перерывов между сваркой корневого шва и «горячим проходом» и других требований технологических карт. Визуальный контроль и обмер сварных соединений. Все (100 %) сварные соединения труб, труб с деталями трубопроводов, арматурой и т. д. после их очистки от шлака, грязи, брызг металла, снятия грата подвергают визуальному контролю и обмеру. При осмотре сварного соединения: проверяют наличие на каждом стыке клейма сварщика, выполнявшего сварку. Если сварку одного стыка выполняли несколько сварщиков, то на каждом стыке должно быть проставлено клеймо каждого сварщика в данной бригаде, или одно клеймо, присвоенное всей бригаде; проверяют наличие на одной из концов каждой плети ее по рядкового номера; убеждаются в отсутствии наружных трещин, не заплавленных кратеров и выходящих на поверхность пор.

По результатам обмера сварные соединения, выполненные дуговыми методами, должны удовлетворять следующим требованиям: усиление внешнего и внутреннего швов должно иметь высоту не менее 1,0 м и не более 3,0 мм и плавный переход к основному металлу; сварной шов облицовочного слоя должен перекрывать основной металл: при ручной сварке на 2,5...3,5 мм; при сварке порошковой проволокой на 1,5...3,5 мм; сварной шов облицовочного слоя, получаемого при автоматических методах сварки под слоем флюса, должен иметь ширину, указанную в табл. 8.1; подварочный слой, выполненный ручной сваркой, должен иметь ширину в пределах 8...10 мм; внутренний шов, получаемый при двусторонней автоматической сварке и при автоматической подварке, должен иметь ширину, не превышающую значений, приведенных в табл. 8.2.

Таблица	8.	1
---------	----	---

Матан арарин	Диаметр	Толщина стенки	Ширина облицовочного
метод сварки	трубы, мм	трубы, мм	слоя, мм, не более
		611	18±3
	720	11,515	20±3
	720	15,517	20±3
		17,522	20±4
	820	811	18±3
	820	11,515	$20 \pm +$
Двустороння		10,511	18±3
автоматическая		11,517	18±3
сварка под флюсом	10201220	15,521	22±4
		21,522	22±4
		22,526	24±4
		15,720	22±4
	1420	20,524	24±4
	1420	24,528	<u>30±4</u>
		28,532	32±4

Окончание табл. 8.1

Метод сварки	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Ширина облицовочного слоя, мм, не более
		68	14±4
0		8,512	20±4
односторонняя	7201420	12,516	24±4
автоматическая		16,520	26±4
сварка под флюсом		20,528	32±4
		28,532	34±4

Таблица 8.2

Толщина стенки, мм	Вид разделки кромок по ВСН 006-89	Глубина проплавления внутреннего слоя, мм	Ширина внутреннего шва, мм
6	а	4	15
9,511	а	6	15
11,115,2	б	7	21
15,318	б	9	26
18,121	В	10	26
19,720,5	Г	12	26
2132	Г	12	28

По результатам измерений, производимых на макрошлифе (рис. 8.1), сварное соединение должно отвечать следующим требованиям: Смещение осей наружного и внутреннего швов (с) от условной оси стыка не должно превышать 1 мм; Величина перекрытия наружного и внутреннего швов (а) должна быть не менее 2 мм при толщине стенки трубы до 12 мм и не менее 3 мм при толщине стенки 12 мм и более; Глубина проплавления внутреннего шва (h_в) должна быть не более указанной в табл. 8.2.

В случае отклонения геометрических параметров сварных швов от значений, регламентируемых в табл. 8.1 и 8.2, сварку необходимо остановить, отладить оборудование и скорректировать режимы сварки, а 199 стыков, предшествующих вырезанному, считают годными, если по результатам неразрушающегося контроля в них отсутствуют недопустимые дефекты.

Неразрушающий контроль. Сварные соединения трубопроводов, выполненные дуговыми методами сварки, которые по результатам визуального контроля и обмера отвечают требованиям [12], а также требованиям ВСН 006-89, подвергают неразрушающему контролю.

Заключение о качестве контроля соединений имеет право специалист аттестованный на 2-й уровень неразрушающего контроля в соответствии с положением «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля ПБ03 – 440 – 02».



Рис. 8.1. Схема определения геометрических параметров сварного шва по макрошлифу:

- *I ось первого (наружного) слоя шва; 2 ось внутреннего слоя шва;*
- 3 условная ось стыка; а перекрытие наружного и внутреннего слоев шва;

с – смещение осей наружных и внутреннего слоев шва от условной оси стыка;

h_в – глубина проплавления внутреннего слоя шва; B_в – ширина внутреннего шва

Переаттестация дефектоскопистов проводится в соответствии с современным положением о порядке аттестации на I, II, III уровень неразрушающего контроля.

Методы и объемы неразрушающего контроля определяются проектом и в зависимости от назначения и диаметра трубопровода, проектного давления транспортируемой по нему среды, а также категории трубопровода и (или) его участков могут быть выбраны по табл. 8.3.

Радиографический контроль. Общие требования к методу радиографического контроля сварных соединений трубопроводов с использованием рентгеновских аппаратов, источников радиоактивного излучения иридий-192, цезий-137, селен-75, тулий-170 и кобальт-60 и радиографической пленки установлены ГОСТ 7512–82. При радиографическом контроле применяют отечественные радиографические пленки типа РТ-5, РТ-4М, РТ-2, РТ-3, РНТМ-1, РТ1, РТ-СШ. Для контроля используют: рентгеновские аппараты непрерывного действия; импульсные рентгеновские аппараты; гамма-дефектоскопы; внутритрубные самоходные установки.

Допускается применение аппаратуры и оборудования других типов, в том числе зарубежного производства, при условии обеспечения необходимых режимов просвечивания и требуемого качества снимков.

ца 8.3	ений, цему	Контроль на герметичость	10															
юли	оедин шаюп	Магнитографический	6				e											
Та	о сварных сс цих неразруп контролю, %	ультразвуковой	8		ОСТАЛЬНО		остально											
	ичеств длежац ₁	не менее Радиографический	L	100	100	52	10	5					100	001				
	Кол по,	BCGLO	9	100	100	100	100	100					100	100				
		Категория т рубопровода и его участков, условия прокладки	5	В	Ι	II	III	IV	На наземных	и надземных	переходах;	на переходах через	болота 2 и 3 типов	и через железные	дороги и автомобиль-	ные дороги 1, 2	и 3 категорий	во всех районах
	Условный диаметр, Ду, мм До 1400 включительно																	
		Рабочее дав- ление Р, МПа	3							$\Pi \sim 10 \text{ erms}$								
		2								Магистральные трубопроводы								
		№ П/П	1								-							

бл. 8.3	10		100	I	Ι	I	100	100		I	I	Ι	I	I	Ι	Ι	I
e mai	6		I	Ι	I	Ι	Ι	Ι		I	e	Ι	e	I	e.	e.)e
пнәжиорои	8		I	Ι	Ι	100	I	Ι		I	остально	Ι	остально	Ι	остально	остально	остально
Π_{l}	L	100	10	100	100	10	10	10	100	100	25	100	25	100	25	10	5
	9	100	110	100	100 ИЛИ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	10
	5	В,1,2,3,4 в районах Западной Сибири и Крайнего Севера							B, I, II	B, I	II, III	B, I	II, III	В	Ι	II	III, IV
	7	10201420	йодонц	571420	571420		1448	йодонг									
	3			До 10 вклю- чительно					10 <p<32< td=""><td>4 / D/10</td><td>4~1~10</td><td></td><td>4/1/0.7</td><td></td><td>1.2<p≤2.5< td=""><td>и P<1.2</td><td></td></p≤2.5<></td></p<32<>	4 / D/10	4~1~10		4/1/0.7		1.2 <p≤2.5< td=""><td>и P<1.2</td><td></td></p≤2.5<>	и P<1.2	
	2			Трубопроводы НПС и НС: Для транспортирования товар- ной продукции по по.1.1 СНиП Ш-42-80	Не указанные в п1.1 СНиП 111_47-80		Любого назначения	Сварные соединения выполненные враструб	Промысловые трубопроводы:	а) газонноволны газонноволны	шлейфы, коллекторы неочи-	щенного газа, межпромысло-	вые коллекторы, газопроводы ПУГ тамбатиоволи пефтаного	попутного газа, газопроводы	газлифтных систем и подачи	газа в продуктивные пласты, тоубопольопы нестэбильного	трусопроводы постаотльного кондесата
	-			$\tilde{\mathbf{\omega}}$									\mathfrak{c}				

•	10											I	I	I	I	I	I	I	Ι	Ι	I	Ι		- 0	Ι		I
Ċ	6		e Se							ЭС		"	"	"	"	"	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι		10			Ι
c	×		остально	тоже						остально	тоже	22	22	22	25	"	остальное	"	22	22	27	100		Ι	100		I
τ	L	100	25	50	25	10	5	25	10	5	2	50	25	10	5	2	50	25	25	10	5	100		100	I		100
`	9	100	100	100	100	25	10	100	25	10	5	100	100	25	10	5	100	100	100	25	10	200	ИПИ	200	100	ИЦИ	100
l	5	B, I	II	В	Ι	II	III, IV	В	Ι	II	III, IV	Ι	II, III	Ι	II	III, IV	В	Ι	В	Ι	II						
	4		Jy≤/UU			001~4A 2000			1 /200	UUC/VH																	
	ŝ											n~10	r_10		P>10												
	2					о) нефтепроводы, выкидные труоо-	проводы, нефтепродуктопроводы,	нефтегазосоорные труоопроводы				в) трубопроводы заводнения нефтя-	ных пластов.		г) трубопроводы пресной воды	•	д) метанолопроводы, трубопроводы,	траснпортирующие вредные среды		е) ингибитопроводы		Сварные соединения захлестов, вва-	риваемых вставок и швы приварки	арматуры		Угловые сварные соединения	
,	—																						Ś			9	

Примечание к табл. 8.3:

- 1. В начальный период освоения технологии сварки до получения стабильного качества 1--% кольцевых сварных соединения контролируют радиографическим методом независимо от категории трубопроводов.
- 2. При неудовлетворительных результатах контроля хотя бы одного стыка трубопроводы, не подлежащего 100%-му контролю, следует проверить тем же методом контроля дополнительно 25 % стыков из числа тех, которые сварены с моменты предыдущей проверки.
- 3. Контролю не подвергают сварные соединения труб и арматуры, выполненные заводами-поставщиками.
- 4. Для сварных соединения трубопроводов, выполненных полуавтоматической или автоматической сваркой под слоем флюса на трубосварочных базах, допускается комплексный контроль, включающих ультразвуковой контроль в объеме 100 % и дополнительный выборочный радиографический контроль соединения, признанных по результатам ультразвукового контроля годными, в объеме не менее 15 % (но не менее одного стыка) от всех стыков, сваренных в течение одной смены.
- 5. Для трубопроводов по п.4 настоящей таблицы на трубосварочных базах с большой номенклатурой типоразмеров труб проектом должно быть предусмотрено увеличения объемов радиографического контроля поворотных сварных соединений до 100 %, при этом требования табл. 8.4 распространяются на сварные соединения, выполненные неповоротной сваркой.
- 6. При строительстве промысловых трубопроводов (по п.4 настоящей таблицы) в условиях сильно заболоченной местности (переходы через болота II и III типов) проектом должно быть предусмотрено увеличение объема контроля сварных соединений трубопроводов по пп.4, а-г настоящей таблицы до 100 %. В том числе радиографическим методом на участках категорий В и I – не менее25, III и IV – не менее 10 % (но не менее значений, установленных табл. 14.4).
- 7. Для трубопроводов по пп.4, в, г настоящей таблицы при давлениях менее 10 МПа объемы контроля снижаются вдвое.
- 8. Сварные соединения участков трубопроводов по п.4 настоящей таблицы на переходах через железные и автомобильные дороги I, II, и III категорий должны быть проконтролированы в объеме 100 % радиографическим методом.
- 9. При невозможности проведения дублирующего контроля сварных соединений захлестов, ввариваемых вставок и швов приварки арматуру ультразвуковым или магнитографическим методами допускается проведение контроля только радиографическим методом при условии, что для просвечивания используют высококонтрастные безэкранные радиографические пленки типа РТ-4М, РТ-5 (или аналогичные и по своим сенситометрическим характеристикам), а чувствительность контроля соответствует второму классу (ГОСТ 7512–82) при давлении в трубопроводе до 10 МПа включительно и первому при давление свыше 10 МПа.

Если неровности шва, брызги металла и другие внешние дефекты могут затруднить выявления внутренних дефектов в сварном соединении или повредить радиографическую пленку, то поверхность этого соединения должна быть зачищена с использованием средств механической обработки. В остальных случаях специальная подготовка поверхности сварного соединения не требуется.

Швы, подлежащие контролю, размечают на отдельные участки, длина которых зависит от формата применяемой радиографической пленки (кассет), а затем маркируют несмывающееся краской, обеспечивающей сохранность маркировки до сдачи трубопровода под изоляцию. Достаточна одна метка, которая соответствует началу мерительного пояса или рулонной пленки в следующих случаях: при использовании вспомогательных мерительных поясов со свинцовыми цифрами, обеспечивающими перенос изображения длины шва на снимки; при панорамном просвечивании на рулонную пленку с получением изображения контролируемого шва на одном снимке; На каждом участке шва, подвергаемом радиографическому контролю, закрепляют эталоны чувствительности, имитаторы (если это необходимо) и свинцовые знаки.

Для определения чувствительности радиографического контроля следует использовать проволочные, канавочные и пластинчатые эталоны чувствительности, форма и размеры которых установлены ГОСТ 7512–82. Допускается использовать канавочные и проволочные эталоны чувствительности, изготовленные по ГОСТ 7512–80.

Для маркировки радиограмм следует использовать маркировочные знаки в виде цифр и букв русского или латинского алфавитов, также дополнительные знаки в виде стрелок, тире и т. п., изготовленные из материала, обеспечивающего получение их четких изображений на радиографических снимках. Для удобства нахождения дефектных участков шва целесообразно использование мерительных поясов со свинцовыми знаками, обеспечивающих разметку сварного соединения.

Системой свинцовых маркировочных знаков обозначают: направление укладки кассет или рулонной пленки, соответствующее направлению, указанному стрелкой на стыке (для неповоротных стыков в нитке трубопровода – по часовой стрелке относительно направления хода продукта); шифр (характеристика) объекта; номер стыка; номер пленки; шифр (клеймо) сварщика, бригады; шифр дефектоскописта, осуществляющего просвечивание стыка. Изображение на снимке маркировочных знаков должно быть четким и не накладываться на изображение сварного шва.

При просвечивании сварных швов без усиления (или со снятых усилением) на их границах необходимо устанавливать свинцовые

стрелки или другие ограничители, помогающие определить расположение шва на радиографическом снимке.

Для измерения глубины дефектов методом визуального (или с помощью фотометров и денситометров) сравнения потемнений изображения дефектов с эталонными канавками или отверстиями следует использовать канавочные эталоны чувствительности или имитаторы, при этом необходимым условием является то, что высота усиления сварного шва должна быть не больше толщины эталона чувствительности или толщины имитатора.

Форма имитаторов может быть произвольной, глубину и ширину (диаметр) канавок и отверстий следует выбирать по табл. 8.4 (количество канавок и отверстий не ограничивается).Имитаторы должны иметь паспорта или сертификаты (на партию) со штампом предприятияизготовителя, в которых обязательно указывается материал, из которого они изготовлены, их толщина, глубины всех канавок (отверстий) и их ширина (диаметр отверстий).С целью более точного распознавания дефектов (типа шлаковых включений) допускается заполнение отверстий имитаторов жидким стеклом.

Таблица 8.4

Толщина имитатора h, мм	Глубина канавок и отверстий h _i , мм	Предельное отклонение глубины, мм	Ширина канавок (диаметр отверстий), мм
$h \leq 2$	$0,1 \le h_i \le 0,50$	-0,05	$1,0 \pm 0,1$
$2 \le h \le 4$	$0,5 \le h_i \le 2,70$	-0,10	$2,0 \pm 0,1$

Проволочные эталоны чувствительности следует устанавливать непосредственно на сварной шов с направлением проволок поперек шва. Канавочные эталоны и имитаторы необходимо помещать рядом со швом с направлением их вдоль швов. Пластинчатые эталоны должны быть размещены рядом со швом с направлением эталона вдоль шва или непосредственно на шве с направлением эталона вдоль шва или непосредственно на шве с направлением эталона поперек шва. При просвечивании кольцевых швов трубопроводов малого диаметра на эллипс допускается устанавливать канавочные и пластинчатые эталоны чувствительности и маркировочные знаки рядом со швом вдоль оси трубы, а не вдоль сварного шва.

При просвечивании трубопроводов с расшифровкой только прилегающих к пленке (к кассетам) участков сварного соединения эталоны чувствительности помещают между контролируемым изделием и кассетами

с пленкой. При просвечивание «на эллипс» эталоны чувствительности располагают между контролируемым изделием и источником излучения.

При фронтальном просвечивании за несколько экспозиций эталоны чувствительности устанавливают таким образом, что бы их изображение было расположено на более светлой части снимков на расстоянии 25...50 мм от их краев. панорамном просвечивании кольцевых швов трубопроводов за одну установку источника излучения изображение эталонов чувствительности может располагаться в любой части снимка по его длине. Аналогично эталонам чувствительности должны быть размещены имитаторы.

При панорамном просвечивании кольцевых швов трубопроводов на рулонную радиографическую пленку за одну установку источника излучения располагают не менее четырех эталонов чувствительности (а в случае необходимости и имитаторов) – по одному на каждую четверть длины окружности сварного соединения.

Кольцевые швы трубопроводов, переходов и трубных узлов (приварки тройников, отводов) просвечиваются по одной из схем в зависимости от геометрических размеров труб, типа и активности применяемого источника излучения. Схемы просвечивания представлены на рис. 8.2–8.5.



Рис. 8.2. Схема панорамного просвечивания изнутри трубы за одну установку источника излучения

Криволинейные швы тройников и отводов можно просвечивать по одной из схем, представленных на рис. 6–10, в зависимости от диаметров свариваемых патрубков, их соотношений и условий доступа к сварному шву.

Количество экспозиций и фокусное расстояние (f) для схем просвечивания, представленных на рис. 8.2–8.10, определяется по формулам, приведенным в табл. 8.5 и 8.6.



Рис. 8.3. Схема фронтального просвечивания через две стенки за три установки источника излучения



Рис. 8.4. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну или две установки источника излучения на плоскую кассету (схема просвечивания «на эллипс»)

Таблица 8.5

Схема просвечивания	Минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения f, мм
Рис. 2	$\frac{1}{2} \cdot d$
Рис. 4	$C \cdot (D - d \cdot \cos \frac{160^\circ}{N})$
Рис. 3, 7, 8, 9	$1.4 \cdot C \cdot (D-d)$
Рис. 5	$2 \cdot C \cdot D$
Рис. 10	$C \cdot (D - \sqrt{D^2 - l^2})$

где $C = \frac{\Phi}{\kappa}$ при $\frac{\Phi}{\kappa} \ge 2$ и C=2 при $\frac{\Phi}{\kappa} < 2$, D – наружный диаметр контролируемого сварного соединения, мм; d – внутренний диаметр контролируемого сварного соединения, мм; N – число экспозиций; l – длина снимка, мм; Ф – максимальный размер фокусного пятна источника излучения, мм; К – требуемая чувствительность радиографического контроля, мм.



Рис. 8.5. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну установку излучения без его смещения относительно сварного шва: a – для соединения труб; б – для соединения врезок



Рис. 8.6. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за одну установку источника излучения



Рис. 8.7. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за несколько установок источника излучения

Смещение источника излучения относительно плоскости сварного шва при контроле по схеме, представленной на рис. 4, составляет 0,35f-0,5f при просвечивании за одну экспозицию и $\approx 0,2f$ при просвечивании за две экспозиции (f – фокусное расстояние).



Рис. 8.8. Схема фронтально просвечивания криволинейных швов врезок малого диаметра за одну установку источника излучения



Рис. 8.9. Схема фронтального просвечивания криволинейных швов врезок большого диаметра за несколько установок источника излучения

При просвечивании по схемам, представленным на рис. 8.2, 8.3 и 8.5, угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва не должен превышать 5°. При просвечивании по схемам, представленным на рис. 8.3, 8.6–8.10, угол между направлением излучения и плоскостью контролируемого участка сварного шва в любой его точке не должен превышать 30°.

Выбор энергии рентгеновского излучения. Энергию рентгеновского излучения (напряжение на трубке), тип радиоактивного источника, тип радиографической пленки, схему зарядки кассет (с усиливающими экранами или без них), толщину защитных свинцовых экранов (от рассеянного излучения) и схему просвечивания выбирают в зависимости от геометрических размеров контролируемого изделия таким образом, чтобы чувствительность контроля не превышала половины размера по глубине минимального из недопустимых дефектов, но не более значений, приведенных в табл. 8.7.



Рис. 8.10. Схем просвечивания криволинейных швов врезок снаружи за несколько установок источника излучения

Чувствительность контроля К определяют (К¹ в мм или К^П в %) по изображению на снимке канавочного, проволочного или пластинчатого эталона по формулам:

при использовании канавочных или пластинчатых эталонов чувствительности

$$K^1 = h_{\min} \tag{8.2}$$

ИЛИ

$$\mathbf{K}^{\Pi} = \frac{\mathbf{h}_{\min}}{\mathbf{S}'} \cdot \mathbf{100}; \tag{8.3}$$

при использовании проволочных эталонов чувствительности

$$K^1 = d_{\min} \tag{8.4}$$

или

$$\mathbf{K}^{\Pi} = \frac{\mathbf{d}_{\min}}{\mathbf{S}} \cdot \mathbf{100},\tag{8.5}$$

где S – толщина контролируемого металла в месте установки эталона, мм; S' – толщина просвечиваемого металла в месте установки эталона, т. е. толщина контролируемого металла плюс толщина эталона (S'=S+h); h_{min} – глубина наименьшей видимой на снимке канавки канавочного эталона (толщина пластинчатого эталона, когда на снимке выявляется отверстие диаметром, равном удвоенной толщине этого эталона), мм; h – толщина эталона чувствительности, мм; d_{min} – диаметр наименьшей видимой на снимке проволоки проволочного эталона, мм.

Таблица 8.6

Схема просвечивания	Минимальное количество экспозиций (участков)
1	2
Рис. 2, 6	1
Рис. 4	$\frac{180^{\circ}}{arcsin\frac{0.8 \cdot d}{D}}$
Dwg 2 7 8 0	$\frac{180^{\circ}}{36.8^{\circ} + arosin}$ при $\frac{d}{D} \ge 0,75$
Рис. 3, 7, 8, 9	$\frac{180^{\circ}}{arcsin \frac{D(e-d)}{D} + arcsin \frac{D(e-D)}{e-f+D}}$ при $\frac{d}{D} < 0,75$
Рис. 5	2
Рис. 10	$\frac{180^{\circ}}{\operatorname{arcsin}\frac{0.8 \cdot l}{D}}$

Чувствительность контроля (чувствительность снимков) при просвечивании «на эллипс» за одну или две экспозиции определяется по отношению к удвоенной толщине стенки трубы:

a) при использовании канавочных или пластинчатых эталонов чувствительности

$$K^{1} = h_{\min}$$

$$138$$

$$(8.6)$$

ИЛИ

$$K^2 = \frac{h_{\min}}{2S+h} \cdot 100; \qquad (8.7)$$

б) при использовании проволочных эталонов чувствительности

$$\mathbf{K}^{1} = \mathbf{d}_{\min} \tag{8.8}$$

или

$$K^2 = \frac{d_{\min}}{2S} \cdot 100. \tag{8.9}$$

Таблица 8.7

Толщина контролируемого металла	Класс чувств	ительн	юсти
в месте установки эталона чувствительности, мм	1	2	3
До 5	0,10	0,10	0,20
Свыше 5 до 9 вкл.	0,20	0,20	0,30
9 до 12 "	0,20	0,30	0,40
12 до 20 "	0,30	0,40	0,50
20 до 30 "	0,40	0,50	0,60
30 до 40 "	0,50	0,60	0,75
40 до 50 "	0,60	0,75	1,00
50 до 70 "	0,75	1,00	1,25
70 до 100 "	1,00	1,25	1,50
100 до 120 "	1,25	1,50	2,00

Примечания:

- 1. При давлении в трубопроводе до 10 МПа включительно чувствительность контроля должна соответствовать третьему классу, при давлении свыше 10 МПа второму.
- Если на какой то конкретный объект разрабатывается специальная технология сварки и контроля сварных соединений, то в нормативно – технической документации (инструкции, руководстве и др.) должен быть оговорен класс чувствительности снимка (контроля).

Экспозицию (фактор экспозиции) поределяют по специальным номограммам.

На рис. 8.11, 8.12 приведены номограммы для пленки РТ-СШ. Для определения времени экспозиции при использовании других типов пленок полученные по номограммам результаты необходимы уточнить, принимая во внимание величины относительной чувствительности этих пленок.

Если фокусное расстояние отличается от приведенных на рис. 8.11, 8.12, то фактор экспозиции можно определять из следующей зависимости:

$$E_2 = E_1 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2, \tag{8.10}$$

где E_1 и E_2 – факторы экспозиции при фокусных расстояниях f_1 и f_2 соответственно; f_1 – фокусное расстояние по номограмме (см. рис. 8.11); f_1 – фокусное расстояние, необходимое при работе.



Рис. 8.11. Номограмма для определения времени экспозиции при просвечивании стали рентгеновским аппаратами непрерывного действия на пленку типа РТ-СШ (чувствительность 25 1/Р) при фокусном расстоянии 700 мм и при различных напряжениях на трубке рентгеновского аппарата



Рис. 8.12. Номограммы для определения экспозиции при просвечивании стали на рулонную радиографическую пленку РТ-СШ гамма – источниками: а – иридий-192; б – цезий-137 при равных фокусных расстояниях: 1 – f=500 мм; 2 – f=600 мм; 3 – f=700 мм

При использовании в качестве источника излучения изотопа иридий-192 через каждые 1...2 недели необходимо увеличивать время экспозиции делением его первоначального значения на величину поправочного коэффициента (значения коэффициента приведены в табл. 8.8).

Время (Т), недели	Значения коэффициента К	Время (Т), недели	Значения коэффициента К
1	2	3	4
0	1	11	0,486
1	0,937	12	0,455
2	0,877	13	0,426
3	0,821	14	0,399
4	0,769	15	0,374
5	0,720	16	0,350
6	0,685	17	0,328
7	0,632	18	0,307
8	0,592	19	0,288
9	0,554	20	0,269
10	0,519	21	0,252

Таблица 8.8

Суммарная разностенность толщин, просвечиваемых ха одну экспозицию, не должна превышать следующих величин (для оптических плотностей 1,5...3,0 единиц оптической плотности): 5,5 мм при напряжении на рентгеновской трубке 200 кВ; 7,0 мм при напряжении на рентгеновской трубке 260 кВ; 15 мм при использовании иридия-192; 15 мм при использовании цезия-137. При наличии оборудования для просмотра снимков, имеющих почернение до 4 е.о.п., суммарная разностенность не должна превышать: 7,5 мм при напряжении на трубке 200 кВ; 9,0 мм при напряжении на трубке 200 кВ;20,0 мм при использовании иридия-192; 20,0 мм при использовании цезия-137.

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять следующим требованиям: длина каждого снимка должна обеспечивать перекрытие изображения смежных участков сварного соединения на величину не менее 20 мм, а его ширина – получение изображения сварного шва и прилегающих к нему околошовных зон шириной не менее 20 мм с каждой; на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, следов электростатических разрядов и других повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку; должны быть видны изображения эталонов чувствительности и маркировочных знаков, ограничительных меток, имитаторов и мерительных поясов, если они использовались; оптическая плотность изображений основного металла контролируемого участка должна быть не менее 2 е.о.п.

При использовании высокочувствительных экранных радиографических пленок снимки должны иметь потемнение, находящееся в пределах 1 – е.о.п. (на участках с изображением основного металла). Разность оптических плотностей изображений канавочного эталона чувствительности и основного металла в месте установки эталона должны быть не менее 0,3 е.о.п. Размеры дефектов при расшифровке снимков следует округлять до ближайших значений из ряда чисел: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 2,7; 3,0.

При просвечивании «на эллипс» (см. рис. 8.4) размеры дефектов участка сварного соединения, расположенного со стороны источника излучения, перед их округлением должны быть умножены на коэффициент:

$$\alpha = \frac{\mathbf{f} + \mathbf{S}}{\mathbf{f} + \mathbf{S} + \mathbf{D}'} \tag{8.11}$$

где f – расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого участка сварного соединения, мм; S – толщина контролируемого участка сварного соединения, мм; D – диаметр трубы, мм.

Результаты расшифровки снимков с указанием их чувствительности и всех выявленных дефектов заносят в заключение установленной формы. Каждый дефект должен быть отмечен отдельно и иметь подробное описание в соответствии с критериями оценки качества сварных соединений, с указанием символа условного обозначения типа дефекта; размера дефекта или суммарной длины цепочки и скопления пор или шлаков в миллиметрах (с указанием преобладающего размера дефекта в группе); количества однотипных дефектов на снимке; глубин дефектов в миллиметрах или процентах от толщины металла свариваемых элементов трубопровода. Допускается вместо записи глубины дефектов в миллиметрах или процентах указывать с помощью знаков >, = или < величину дефекта по отношению к максимально допустимой для данного сварного соединения.

Заключение по результатам контроля следует давать отдельно по каждому отрезку снимка длиной 300 мм для рулонных снимков) и по каждому снимку (для форматных); после анализа всех отрезков или снимков составляют заключение о качестве сварного стыка в целом. В тех случаях, когда снимки имеют одинаковую чувствительность, а на изображении сварного шва отсутствуют дефекты, их можно группировать и записывать в заключении одной строкой. При проведении радиографического контроля на строительстве трубопроводов во избежание поражения электрическим током и опасного воздействия на обслуживающий персонал ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под действием излучения, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, установленные действующими нормативными документами. В работах с применением ионизирующего излучения должен осуществляться систематический дозиметрический контроль, который обеспечивает соблюдение норм радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала.

Контроль сварных соединения, выполненных стыковой контактной сваркой оплавлением. Сварные соединения, выполненные стыковой контактной сваркой оплавлением, подвергают контролю в следующих объемах: по зарегистрированным параметрам сварки – 100 %; внешним осмотром и обмером – 100 %; механическим испытаниям – 1 % – 0,22 %. Сварные соединения, признанные годными по результатам контроля параметров сварки, подвергают внешнему осмотру и обмеру. При этом сварные соединения считают годными, если: смещение кромок после сварки не превышает 25 % толщины стенки (и во всех случаях не более 3,0 мм). Допускаются местные смещения на длине до 20 % периметра стыка, величина которых не превышает 30 % толщины стенки (но не более 4,0 мм); усиление шва после снятия внутреннего и наружного грата по высоте не превышает 3,0 мм. При снятии грата не допускается уменьшение толщины стенки трубы. Сварные соединения труб диаметром от 57 до 89 мм подвергают механическим испытаниям на растяжение и сплющивание Сварные соединения труб диаметром от 108 до 1420 мм подвергают испытаниям на растяжение и изгиб. Испытания проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 6996-66 и СНиП Ш - 42 - 80 на образцах, вырезанных из сварных соединений.

При неудовлетворительных результатах механических испытаний необходимо: сварку прекратить – установить причину неудовлетворительности качества стыка; весь участок трубопровода, сваренный с момента последней проверки, монтажной организацией в присутствии представителей технадзора заказчика подвергнуть силовому воздействию на изгиб в соответствии с требованиями СНиП Ш – 45 – 80.

При неудовлетворительных результатах механических испытаний хотя бы одного контрольного стыка необходимо: сварку прекратить, установить причину получения неудовлетворительного качества сварного соединения; все стыки, сваренные с моменты последних механических испытаний, в присутствии представителя технадзора заказчика подвергнуть силовому воздействию на изгиб в соответствии с требованиями СНиП Ш – 42 – 80.

Ремонт сварных соединений. Сварные соединения, в которых по результатам контроля обнаружены недопустимые дефекты (признан-

ные «не годными») подлежат удалению или ремонту с последующим повторным контролем в соответствии с требованиями СНиП Ш – 42 – 80.

Измерения, проводимые: по определению параметров труб и сварочных материалов; при подготовке стыков под сварку; по определению и контролю параметров режимов сварки, выявлению и определению внешних и внутренних дефектов сварного соединения и др., необходимо выполнять с погрешностями, значения которых не превышают приведенные в табл. 8.9.

Таблица	8.	9
---------	----	---

№ Контролируемый		Пределы измерений		Суммарная погреш-	Средства
п/п	параметр	мини- мальный	макси- мальный	ность изме- рения, %	измерений
1	2	3	4	5	6
1	Дефекты поверхности стенки трубы, мм	0	5,0	10	Шаблоны, штан- ген-глубиномеры, линейки
2	Овальность трубы по любому сечению, %	0	1,0	5	Шаблоны, рейки нивелирные, ру- летки, линейки
3	Разнотолщинность стыкуемых труб, мм	0	3,0	10	Шаблон свароч- ный, штангенцир- куль, линейка
4	Косина торцов свариваемых труб, град	0	5,0	10	Шаблон свароч- ный, угломеры, транспортиры
5	Ширина шва, мм	5	50	4,0	Шаблон свароч- ный, штангенцир- куль, линейка
6	Высота усиления шва, мм	1,0	5,0	10	Шаблон свароч- ный, штангенглу- биномер
7	Смещение кромок после сварки, мм	0	3,0	10	Шаблон свароч- ный, линейка
8	Наружные дефекты шва (глубина), мм	0	1,0	10	Шаблон свароч- ный, штангенглу- биномер, щупы
9	Длина (протяжен- ность) дефекта, мм	0	150	5	Штангенциркуль, линейка
10	Глубина внутрен- него дефекта, мм	0	5,0	5	Визуально по снимкам
Окончание табл. 8.9

1	2	3	4	5	6
11	Напряжение на аноде, рентгенов- ской трубки, кВ	100	300	10	Киловольтметры
12	Предельно допу- стимая сменная (6 ч) доза облуче- ния, Р или бэр	0	0,2	5,0	Дозиметры

8.4. Характеристики радиографических пленок

Характеристика радиографических пленок представлена в табл. 8.10.

Тип пленки	Разрешающая способность, _{ММ⁻¹}	Относительная чувствительность	Коэффициент контрастности	Нанос серебра, _{г/м²}	Оптическая плотность вуали, е.о.п.
PT-5	140180	1	3,54,0	21	0,10
PT-4M	110140	2	3,5	25	0,15
PT-3, PHTM	80110	6	3,5	23,1	0,120,16
PT-1	6875	8	2,53,0	25	0,20
PT-2	7378	5	2,12,6	_	0,15
РТ-2 (с усиливающими экранами типа в)	6873	125	3,0	_	0,15
РТ-СШ (рулонная)	80110	67	3,0	2324	0,120,15
Структурикс (Агфа-Геверт, Бельгия):					
Д4	140180	1	4,0	21	0,1
Д4	110140	2	4,0	23,8	0,08
Д7	80110	67	3,0	_	0,18
Д10	6875	10	3,0	25,2	0,21
Д2	—	0,4	5,0	21,2	0,12
Индастрекс М (кодак, США)	Свыше 180	0,4	5,0	_	_

Таблица 8.10

Примечание. В таблице относительная чувствительность пленки РТ-5 принята за единицу.

8.5. Технические характеристики источников излучения

Технические характеристики рентгеновских аппаратов непрерывного действия даны в табл. 8.11.

т	6	0	1	1
T	аолица	ð.	T	T

Тип	Масса рен ⁻ аппар	ггеновского рата, кг	Диапазон регулирования	Максимальный анодный ток, мА	
аппарата	моноблок	Пульт управления	напряжения на трубке, кВ		
РУП-120-5-2	45	30	50120	5	
РАП-160-6П РАП-160-6Н	45	30	80160	6	
РУП-200-5-2	85	30	70200	5	
РАП-220-5П РАП-220-5Н	65	30	70220	5	

Технические характеристики импульсных рентгеновских аппаратов даны в табл. 8.12.

Тип импульсного рентгеновского аппарата	Напряжение на аноде, кВ	Потребляемая мощность, ВА	Частота следования импульсов, Гц	Срок службы трубки, импульс	Масса аппарата, кг	Толщина просвечиваемой стали
РИНА-1Д	100	250	1520	$2 \cdot 10^{5}$	7	20
РИНА-2Д	150	350	1015	$2 \cdot 10^{5}$	12	40
МИРА-1Д	160	300	2025	$5 \cdot 10^{6}$	10	5
МИРА-2Д	200	400	1015	$5 \cdot 10^{6}$	15	20
МИРА-3Д	600	600	45	$1 \cdot 10^{6}$	22	40
HOPA	200	400	526	5 (лет)	18	20

Таблица 8.12

8.6. Технические характеристики гамма-дефектоскопов

Технические характеристики гамма-дефектоскопов даны в табл. 8.13.

Тип гамма-дефектоскопа	Максимальная активность источника излучения, Кюри	Толщина просвечиваемой стали, мм	Масса радиационной головки, кг	Тип привода	Максимальное удаление источника от радиационной головки, м
Гаммарид	Jr 192-40,0 Cs 137-5,6	160	1213	Ручной	0,25
Гаммарид 192/120 переносной, шланговый (Гаммарид 25М)	Jr 192-120,0 Cs 137-5,6	180	1617	Ручной	12
Гаммарид 192/120М переносной (Гаммарид 27)	Jr 192-120,0 Cs 137-5,6	180	1617	Электромеханический, ручной	12
Гаммарид 170/400 переносной (Гаммарид 12М)	Jr 192-4,0 Tm 170-400,0 Se 75-4,0	140	8	Ручной	5
Гаммарид 60/40, передвижной, шланговый	<i>Co</i> 60-34,0	До 200	145	Электромеханический, ручной	12
Стапель 5М	<i>Jr</i> 192-12,0	160	89	Ручной	Ι
Магистраль 1	Jr 192-200,0 Cs 137-56,0	До 120	35	Электромеханический	0,25

* Магистраль 1 предназначена для комплектации внутритрубных самоходных установок типа АКП.

Таблица 8.13

ГЛАВА 9. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СОСУДОВ И АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

9.1. Общие положения

Рассматривается радиографический метод контроля сварных соединений сосудов и аппаратов, изготавливаемых в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утверждённых Госгортехнадзором РФ [9].

Радиографический контроль проводится с целью выявления в сварном соединении трещин, непроваров, пор, металлических и неметаллических включений. При невозможности визуального контроля сварного соединения радиографический контроль может применяться и для выявления внешних дефектов: вогнутости корня, превышения проплава, подреза, пережога, утяжины и т. д. При радиографическом контроле не обеспечивается выявление следующих дефектов: пор и включений с диаметром поперечного сечения менее удвоенной чувствительности контроля непроваров и трещин глубиной менее удвоенной чувствительности контроля; непроваров и трещин с раскрытием менее значений, приведённых в табл. 9.1; непроваров и трещин, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания; металлических и неметаллических включений с коэффициентом ослабления излучения, близким к коэффициенту ослабления основного металла сварного соединения; любых дефектов, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов толщин свариваемых элементов.

Таблица 9.1

Толщина	Минимальное раскрытие
контролируемого металла	непроваров и трещин
До 40	0,1
Св. 40 до 100 включ.	0,2
100150	0,3
150200	0,4
200250	0,5
250300	0,6
300350	0,7
350400	0,8

Раскрытие непроваров и трещин, выявляемых радиографическим контролем, мм

Контроль радиографическим методом может быть осуществлён при наличии двустороннего доступа к контролируемым участкам, обеспечивающего возможность установки детектора и источника излучения в соответствии с параметрами контроля, предусмотренными настоящим стандартом. Отношение толщины контролируемого сварного соединения к общей суммарной толщине металла в направлении просвечивания должно быть не менее 0,2 для всех видов сварных соединений. Гаммаграфический метод контроля следует осуществлять в случае невозможности или технической трудности применения рентгенографического контроля изделий в монтажных условиях.

Оборудование и материалы. Применение при контроле. Характеристики и область применения выпускаемых промышленностью рентгеновских аппаратов, бетатронов, линейных ускорителей, микротронов, гамма-дефектоскопов приведены в табл. 9.9–9.12. Допускается применение аналогичной отечественной и зарубежной аппаратуры. В качестве источников излучения при гаммаграфическом методе контроля сварных соединений применяются радиоактивные нуклиды: тулий-170, селен-75, иридий-192, цезий-187, кобальт-60. Характеристики источников приведены в табл. 9.1–9.2.

Таблица 9.2

Иоточник мотические	Толщина экранов, мм		
источник излучения	переднего	заднего	
Рентгеновский аппарат с напряжением	0.02	0.02	
на рентреновской трубке до 100 кВ	-,	0,02	
То же св. 100 до 300 кВ	0,05	0,09	
«» 300 кВ	0,09	0,09	
Тулий-170	0,09	0,09	
Селен-75	0,09	0,20	
Иридий-192	0.09	0,20	
Цезий-137	0,20	0,30	
Кобальт-60	0,30	0,50	
Ускоритель электронов	1.00	1.50	
с энергией излучения св.1 до 15 МэВ	1,00	1,30	
От 15 до 25	1,50	2,00	
От 25 до 35	2,50	3,00	

Толщина металлических усиливающих экранов

При проведении радиографического контроля сварных соединений должны использоваться радиографические технические плёнки типа РТ. Допускается применение других типов радиографических плёнок, обеспечивающих получение чувствительности контроля. Основные характеристи-

ки радиографических плёнок и сведения о них приведены в табл. 9.15. Перед применением каждой новой партии радиографической плёнки проверяется её годность. Для этого проявляется и фиксируется неэкспонированная плёнка. Кассеты для зарядки плёнки должны обеспечивать полную светонепроницаемость и плотный прижим усиливающих экранов к плёнке.

Для защиты от рассеянного излучения радиографическую плёнку со стороны, противоположной источнику излучения, следует экранировать свинцовыми экранами. В качестве усиливающих экранов при радиографическом контроле сварных соединений применяются металлические экраны. Толщина свинцовых усиливающих экранов, в зависимости от используемого источника излучения, выбирается по табл. 9.2. Допускается применение флуоресцентных усиливающих экранов, если при этом обеспечивается требуемая чувствительность контроля.

Для улучшения качества радиографических снимков следует применять свинцовые диафрагмы, устанавливаемые на выходное окно бленды с рентгеновской трубки. Толщина диафрагмы должна быть не менее 5 мм, ширина окна диафрагмы выбирается в соответствии с величиной просвечиваемого участка сварного соединения.

Маркировка радиографических снимков производится свинцовыми маркировочными знаками в соответствии с [6]. Для изготовления ограничительных знаков применяется свинцовая проволока диаметром от 1,5 до 5,0 мм. Для измерения оптической плотности радиографической плёнки следует применять денситометры типов СР-25МІ или ВФЭ-10, микрофотометры МФ-4, МФ-2, ИФО-460 или другие аналогичные приборы. Допускается производить проверку плотности плёнки путём визуального сравнения с сенситограммой ступенчатого образца.

Фотообработку радиографических плёнок следует производить в баках-танках, выполненных из инертных к фоторастворам материалов (нержавеющей стали, специальных пластмасс и т. д.). Для создания неактиничного освещения при фотообработке плёнки рекомендуется использовать лабораторный фонарь с электролампочкой мощностью 15...25 Вт, экранированный защитным тёмно-красным светофильтром или желтозелёным светофильтром. Для просмотров снимков при расшифровке результатов радиографического контроля применяются негатоскопы типов HC-2M, ОД-10H, HC-4 и другие. Рекомендуется применять негатоскопы с регулируемой яркостью и величиной освещённого поля.

9.2. Подготовка к проведению контроля

Радиографический контроль проводится после устранения обнаруженных при внешнем осмотре дефектов. Если допустимые по нормам для внешнего осмотра дефекты затрудняются расшифровку снимков и оценку сварного соединения, их необходимо устранить. Схема контролируемых участков сварных швов, согласованная со службой неразрушающих методов контроля, приводится в технологической документации на изделие (в технологических процессах, технологических паспортах и т. д.). При контроле швов сварных соединений изделий сложной формы на каждое изделие или партию однотипных изделий рекомендуется составлять технологическую карту. Разметку и маркировку сварных соединений следует выполнять способом, обеспечивающим сохранение разметки и маркировки участков до окончательной приёмки сварного соединения. На границах размеченных участков, а так же на границах направленного и основного металлов при контроле сварных швов без усиления необходимо устанавливать ограничительные метки.

Маркировочные знаки устанавливаются на контролируемом участке или непосредственно на кассете с плёнкой так, чтобы их изображение на снимке не накладывалось на изображение контролируемого сварного соединения. Маркировочные знаки должны обеспечивать возможность определения изделия и участка сварного соединения, к которому относится снимок, а так же нахождения записи в журнале контроля, относящейся к снимку. Между группами маркировочных знаков, содержащими различную информацию о контролируемом сварном соединении, при их размещении и закреплении следует делать интервалы, равные ширине маркировочного знака, или разделять группы знаков стрелками или тире. повторном контроле участка сварного соединения (после исправления) в конце группы маркировочных знаков ставятся индексы: П, 2П и т. д. Допускается осуществлять полную маркировку только одной радиограммы сварного соединения, маркировка остальных радиограмм может быть неполной и включать номера кассеты контролируемого сварного соединения. Полная маркировка впоследствии восстанавливается на сухом снимке.

Эталоны чувствительности следует устанавливать в центре контролируемого участка сварного соединения со стороны, обращенной к источнику излучения. Проволочные эталоны следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва. Канавочные эталоны следует устанавливать на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением эталона вдоль шва. При контроле кольцевых швов изделий малых диаметров допускается устанавливать канавочные эталоны чувствительности на расстоянии 5 мм от шва с направлением эталона перпендикулярно шву.

При невозможности установки чувствительности со стороны источника излучения, а так же при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две

стенки с расшифровкой только прилегающего к плёнке участка сварного соединения (схема рис. 9.2, г, д) и при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты. При панорамном просвечивании сварных соединений цилиндрических изделий с количеством плёнок более четырёх допускается установка одного эталона на каждую четверть длины окружности сварного соединения.

Если суммарная толщина канавочного эталона чувствительности и металла сварного соединения в месте установки эталона меньше максимальной контролируемой толщины сварного соединения и разность плотностей почернения их изображений на снимке более 1,0 единиц оптической плотности, то следует устанавливать эталон на прокладку, компенсирующую разность толщин. Прокладка изготавливается из того же металла или сплава, что и изделие. Зарядка кассет радиографической плёнкой с использованием различных типов экранов проводится по схемам в соответствии с [7].

9.3. Схемы просвечивания

Просвечивание сварных соединений производится, как правило, через одну стенку, за исключением тех случаев, когда это технически невозможно. Контроль стыковых, угловых и тавровых сварных соединений производится по схемам рис. 9.1. Швы стыковых сварных соединений просвечиваются с направлением центрального луча перпендикулярно шву (рис. 9.2, а). Швы угловых сварных соединений просвечиваются с направлением центрального луча по биссектрисе угла (рис. 9.2, б, в). Швы тавровых сварных соединений просвечиваются с направлением центрального луча согласно схемам рис. 9.2, г, д, е, ж. Если один край ограниченного с двух сторон таврового соединения отстоит от сварного шва на расстоянии, не превышающем 150 мм, просвечивание допускается производить с направлением излучения по образующей этого элемента в соответствии со схемой рис. 9.2 з при условии сохранения максимально допустимой величины геометрической нерезкости изображения дефектов на радиографическом снимке. Кольцевые сварные соединения цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует контролировать по схемам рис. 9.2. При контроле сварных соединений через одну стенку (рис. 9.2, а, б, в, и, к) направление излучения должно совпадать с плоскостью контролируемого сварного соединения.

При контроле сварных соединений через две стенки (рис. 9.2, *г*, *д*, *е*, *ж*) направление излучения следует выбирать таким образом, чтобы изображение противолежащих участков сварного соединения не накладывались

друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью контролируемого сварного соединения не должен превышать 30°. Схема рис. 9.2, *в* применяется в случае технической невозможности контроля под углом (например, при приварке фланца к штуцеру) изделий диаметром от 10 до 100 мм. Схема рис. 9.2, *г*, *д* применяются в случае технической невозможности контроля по схемам рис. 9.2, *a*, *s*, *u*, *к* для изделий диаметром более 100 мм. Схемы рис. 9.2, *e*, *ж* применяются для контроля изделий диаметром от 10 до 100 мм.

При возможности расположения источника излучения внутри контролируемого изделия кольцевые сварные соединения изделий диаметром до 2000 мм независимо от объёма контроля и диаметром более 2000 мм при 100%-м контроле просвечиваются по схеме рис. 9.2, *з*. Максимальное смещение источника излучения от оси контролируемого изделия не должно превышать 4 % диаметра. Схема рис. 9.2, *и* применяется в основном при использовании гамма-источников для контроля цилиндрических изделий диаметром от 100 до 500 мм. Схема рис. 9.2, *к* применяется при контроле изделий диаметром более 2000 мм.

Швы сварных соединений различных сопряжений цилиндрических пустотелых изделий, трубопроводов (соединений трубопроводов, штуцеров, тройников и т. п.) контролируются в зависимости от конструкции сварного соединения по схемам рис. 9.3. Схемы контроля могут быть и отличными от приведённых на рис. 9.1–9.3 при условии гарантированного выявления недопустимых дефектов и обеспечения необходимого объёма контроля.

Для всех видов сварных соединений и схем просвечивания угол между направлением излучения и нормалью к плёнке в центре снимка не должен превышать 45°, а расстояние между контролируемым сварным соединением и плёнкой должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм. Для уменьшения разности оптических плотностей различных участков снимков при контроле сварных соединений с большим перепадом толщин, а так же если контролируемое сварное соединение не обеспечивает защиту радиографической плёнки от прямого излучения, контроль сварных соединений следует проводить с применением компенсаторов.

Допускается использовать компенсаторы из любого материала, обеспечивающего требуемое ослабление излучения. Возможен в некоторых случаях контроль без компенсаторов со специальным подбором экспозиций или установлением нескольких зон контроля, перекрывающих сечение шва по необходимой оптической плотности участков шва, а также путём использования двух типов радиографических плёнок различной чувствительности к излучению, заряженных в одну кассету.

9.3.1. Схемы контроля сварных соединений



Рис. 9.1. Схемы контроля сварных стыковых, угловых и тавровых соединений: 1 – источник излучения; 2 – кассета







Рис. 9.2. Схема контроля кольцевых сварных швов цилиндрических изделий: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета



Рис. 9.3. Схема контроля сопряжений цилиндрических пустотелых изделий: 1 – источник излучений; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета

9.4. Чувствительность радиографического метода контроля

Для определения чувствительности радиографического метода контроля следует применять канавочные или проволочные эталоны чувствительности в соответствии [7]. Чувствительность контроля К (наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона или наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона) определяется в миллиметрах.

 $K = h_{\min}$, *мм* при использовании канавочного эталона;

 $K = d_{\min}$, *мм* при использовании проволочного эталона,

где h_{\min} – глубина видимой на снимке наименьшей канавки канавочного эталона, мм; d_{\min} – наименьший диаметр видимой на снимке проволоки проволочного эталона, мм.

В соответствии с требованиями технической документации на контролируемое изделие допускается определять чувствительность в процентах по формуле:

$$K = \frac{\kappa}{h \cdot s} \cdot 100 \%, \tag{9.1}$$

где h – толщина эталона чувствительности, мм; s – толщина изделия в месте установки эталона, мм.

Для сосудов в аппаратах, изготавливаемых по 1–7-му классу дефектности [4], класс чувствительности следует выбирать по табл. 15.3. При этом значения чувствительности не должны превышать: для сварных соединений 1-го класса дефектности значений, приведённых для 1-го класса чувствительности; для сварных соединений 2–4-го класса дефектности – значений, приведённых для 2-го класса чувствительности; для сварных соединений 5–7-го класса дефектности – значений, приведённых для 3-го класса чувствительности. В случае радиографического контроля через две стенки допустимая величина дефектов определяется по толщине одной стенки, чувствительность контроля определяется по суммарной толщине стенок.

Таблица 9.3

Толщина контролируемого металла	Класс ч	увствител	пьности
в месте установки эталона чувствительности	1-й	2-й	3-й
До 5	0,10	0,10	0,20
Св. 5 до 9 включ.	0,20	0,20	0,30
912	0,20	0,30	0,40
1220	0,30	0,40	0,50
2030	0,40	0,50	0,60
3040	0,50	0,60	0,75
4050	0,60	0,75	1,00
5070	0,75	1,00	1,25
70100	1,00	1,25	1,50
100140	1,25	1,50	2,00
140200	1,50	2,00	2,50
200300	2,00	2,50	_

Максимально допустимые значения чувствительности контроля, мм

Примечание. При использовании проволочных эталонов чувствительности значения 0,30; 0,60; 0,75;,1,50 мм заменяются значениями 0,32;0,63;0,60 и 1,60 мм.

9.5. Режимы и параметры контроля

При контроле соединений по схеме рис. 9.2, в (при панорамном просвечивании) должны соблюдаться соотношения:

$$\frac{d}{D} \ge 0.8; \ \Phi \le \frac{\kappa}{2(\mathcal{A} - d)},\tag{9.2}$$

где d – внутренний диаметр контролируемого сварного соединения, мм; D – наружный диаметр контролируемого сварного соединения, мм; Ф – максимальный размер фокусного пятна источника излучения, мм К – требуемая чувствительность контроля, мм.

Приведённое соотношение между внутренним и внешним диаметром контролируемого соединения может не соблюдаться, если размеры дефектов не определяются (например, когда дефекты не допускаются независимо от их размеров). При отсутствии источника излучения, удовлетворяющего требованиям рис. 9.2 допускается при контроле по схеме рис. 9.2, з использовать источники излучения с максимальным размером фокусного пятна, удовлетворяющим соотношению:

$$\Phi \le \frac{K \cdot d}{D \cdot d}.\tag{9.3}$$

Расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения необходимо выбирать таким, чтобы геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимке не превышала половины значения чувствительности контроля в миллиметрах, а относительное увеличение размеров изображений канавок (проволок) эталонов чувствительности, расположенных со стороны источника излучения по отношению к канавкам (проволокам) эталонов чувствительности, расположенных со стороны плёнки, не превышало 25 %. Минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения при контроле с расположением плёнки вплотную к изделию определяется по формулам 9.4.

При проведении контроля по схемам рис. 9.2, *и*, *к* минимальное расстояние от источника излучения до сварного соединения так же, как для схем рис. 9.1. Размеры участков сварных соединений, контролируемых за одну экспозицию, следует выбирать таким образом, чтобы уменьшение плотности почернения изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по отношению к плотности почернения в месте установки проволочного эталона чувствительности или по отношению к плотности почернения изображения канавочного эталона не превышало 1,0 единиц оптической плотности, а относительное искажение размеров изображений дефектов на краях снимка по отношению к его центру не превышало: для сварных соединений прямолинейных и близких к прямолинейным – 10 %; для сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий – 25 %. Длина участков, контролируемых за одну экспозицию, при контроле по схемам рис. 9.2, δ может выбираться любой в пределах, ограниченных отношением: L ≤ d.

Таблица 9.4

Номер чертежа	Минимальное расстояние f, мм
1	2ch
2a	$1, 1 \cdot c \cdot (D - d)$
26	c (D- $\sqrt{d^2} - l^2$)
2е, в, ж	2cD
2Γ	I,4c (D-d)
2д	$C (D-d \cdot \cos \frac{180^{\circ}}{N})$

Минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения

Примечание: с= Φ/K при $\Phi/K \ge 2$; с=2 при $\Phi/K < 2$: где f – минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения, мм; h – толщина сварного соединения, мм; l – длина участка, контролируемого за одну экспозицию, мм; N – число участков контроля.

Длина контролируемых за одну экспозицию участков при контроле по схемам рис. 9.1, 9.2, и, к не должна быть более 0,8f. При контроле по схемам рис. 9.2, и, д минимальное число снимков определяется опытным или графическим путём. Длина снимков должна обеспечивать перекрытие изображений смежных участков сварных соединений при длине контролируемого участка 100 мм не менее 20 % длины участка, при длине контролируемого участка свыше 100 мм – не менее 20 мм. Ширина снимка должна обеспечивать получение изображения околошовных зон: для стыковых сварных соединений шириной не менее 5 мм при толщине свариваемых кромок до 5 мм; не менее толщины свариваемых кромок при их толщине от 5 до 20 мм; не менее 20 мм при толщине свариваемых кромок свыше 20 мм; для угловых сварных соединений не менее величины наибольшего катета сварного шва, но не менее 5 мм. Допускается получение изображения околошовной зоны только с одной стороны сварного шва. Напряжения на рентгеновской трубке при проведении рентгенографического контроля не должно превышать значений, приведённых в табл. 9.5.

Область применения гаммаграфического метода контроля приведена в табл. 9.6.

Таблица 9.5

Толщина	просвечива	на основе	Напряжение	
железо	Титана	Алюминия	магния	на рентген. трубке, кВ, не более
_	—	4	11	40
—	1	5	14	50
1	2	12	22	60
2	5	29	46	80
3	8	45	66	100
6	14	56	92	120
12	29	60	150	150
20	45	97	160	200
23	63	102	166	250
32	70	128	233	300
40	90	180	270	400

Напряжение на рентгеновской трубке при проведении рентгенографического контроля

Таблица 9.6

Область применения гаммаграфического метода дефектоскопии при использовании гамма-дефектоскопов

Толщин	Радиоактивный			
Железа	Титана	Алюминия	Магния	источник
От 1 до 20	От 2 до 40	От 3 до 70	От 10 до 200	Tm 170
330	750	20200	30300	Sk 75
5100	10120	40350	70450	Jr 192
10120	20150	50350	100500	Cs 137
30200	60300	200500	300700	Co 60

Энергию ускоренных электронов следует выбирать в зависимости от толщины по табл. 9.7.

Ориентировочно определение экспозиции при радиографическом контроле рекомендуется производить по определённым методикам, с последующим уточнением опытным путём Время экспозиции на плёнки, отличные от PT-1, определяется с помощью коэффициента К, приведённых в табл. 9.8.

При контроле сварного соединения под углом к его поверхности экспозицию следует определять для толщины, рассчитанной по формуле:

$$\mathbf{h}_{\mathbf{y}} = \mathbf{h}/\cos \mathbf{y},\tag{9.4}$$

где h_y – толщина металла в направлении просвечивания, мм; h – толщина контролируемого металла, мм; y – угол между осью рабочего пучка и перпендикуляром к поверхности сварного соединения, град.

Таблица 9.7

Толщина проси	вечиваемого сплан	за, мм, на основе	Энергия ускоренных
Железа	Титана	алюминия	электронов, МэВ
От 50 до 100	От 90 до 190	От 150 до 310	6
70160	130350	220570	9
100130	190430	330740	18
130250	250490	480920	25

Область применения радиографического метода контроля при использовании бетатронов

Таблица 9.8

Коэффициент перехода по времени экспозиции	
от плёнки РТ-1 и другим плёнкам	

			Тип пл	іёнки		
Бариант зарядки пленки	PT-1	PT-2	PHTM-1	РТ-СШ	PT-4M	PT-5
Без усиливающих экранов	1,00	1,70	2,00	2,50	5,00	8,4
С металлическими						
усиливающими экранами	0,50	0,80	1,00	1,25	2,50	4,2
при напряжении 100 кВ						
С люминесцентными экранами	0.50	0.060_	1.00_	1 25_	2 5	12
при напряжении 80 кВ	-0.22		-0.43	-0.50	$^{2,3-}$	-1.8
и времени просвечивания 100 с	-0,22	-0,015	-0,45	-0,50	-1,1	-1,0

9.6. Требования к снимкам, расшифровка снимков, оценка качества сварных швов, хранение радиографических снимков

Расшифровке подлежат радиографические снимки, полностью высушенные, не имеющие на поверхности царапин, загрязнений, пятен, отпечатков пальцев, подтёков, белого налёта, следов электроразрядов и других дефектов, затрудняющих расшифровку снимков. На радиографическом снимке должны быть чётко видны изображения эталонов чувствительности, маркировочных и ограничительных знаков и сварного соединения. В случае невыполнения этих условий производиться повторное просвечивание изделия. Плотность почернения изображений на снимке контролируемого участка шва, околошовной зоны, канавочных эталонов чувствительности должна быть не менее 1,5 единиц оптической плотности.

Расшифровка снимков, не имеющих изображений эталонов чувствительности, допускается при: панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий при одновременном экспонировании более четырёх плёнок. В этих случаях, независимо от общего числа плёнок, допускается устанавливать по одному эталону чувствительности на каждую четверть длины окружности сварного соединения; невозможности применения эталонов чувствительности для контроля отдельных типов сварных соединений. В этих случаях допускается производить проверку чувствительности на образцах-эмитаторах при обработке режимов контроля.

Если контроль проводится с расположением плёнки вплотную к контролируемому участку, размеры дефектов при расшифровке сним-ков следует округлить до ближайших значений из ряда 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0. или ближайших целых значений в миллиметрах для дефектов с размерами более 3,0 мм. При контроле с расположением плёнки на расстоянии Н от контролируемого участка измеренные размеры изображений дефектов перед их округлением должны быть умножены на коэффициент: L=f·h/f+h+H. При измерении размеров изображения дефектов до 1,5 мм следует применять измерительную лупу в соответствии ГОСТ 35706–88 с 2...5 кратным увеличением, свыше 1,5 мм – прозрачную измерительную линейку или шаблон.

Протяженность дефекта в направлении излучения ориентировочно определяется сравнением плотности изображения дефекта с плотностью почернения соответствующей канавки канавочного эталона чувствительности при условии, радиационная толщина в месте установки эталона чувствительности и области расположения дефектов одинаковая. Оценка качества сварных соединений по радиографическим снимкам должна производиться в соответствии с требованиями стандартов, технических условий, требований чертежа или другой руководящей технической документации. На кольцевых сварных соединениях протяженность швов определяется длиной наружной поверхности свариваемых элементов.

Поры или включения, расположенные на прямой линии, с расстоянием между ними более их максимальной ширины или диаметра рассматриваются как отдельные дефекты. Скоплением называется три или более расположенных беспорядочно дефектов с расстоянием между любыми двумя близлежащими дефектами более одного, но не более трех максимальных размеров этих дефектов. При отсутствии изображений дефектов на снимке, а также в случае обнаружения дефектов, допустимых по техническим требованиям на изделии, в заключении и в журнале регистрации результатов контроля в графе «Соответствие требования НТД» следует записывать «Да». При обнаружении недопустимых по техническим требованиям на изделие дефектов следует указывать обнаруженные дефекты и написать слово «Нет».

9.7. Основные характеристики рентгеновских аппаратов

9.7.1. Основные технические характеристики рентгеновских аппаратов непрерывного действия табл. 9.9.

	Масса рентген. излучателя, кг	6	45,0	35,0	88,0	70,0	9,5	40,0	35,0	55,0
010	Размеры рентгеновск мм ,япэтьгуцеи	8	$300 \times 250 \times 540$	300×805	270×450×750	300×1250	135×500	270×880	270×900	195×340×720
ионный код	o∕q	7	0,23	$5, 8 \cdot 10^{-5}$	0,25	Ι	3,18	0,15	0,84	1,00
Радиаці выл	Ул/ку.	9	$6, 0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	Ι	$8,2.10^{-4}$	$3,9.10^{-5}$	$2,2{\cdot}10^{-4}$	$2, 6.10^{-4}$
	Размер Фокусного татна, мм	5	2×2	$1,2 \times 3,5$	2×2,5	3×3	$1,5 \times 1,5$	5	$0,3 \times 1,4$	4×4
	Максимальный Ам , хот йідндонА	4	5	9	5	5	L	10	7	10
'йі	диапазон напряжени К _Я	3	50120	50160	70200	100300	20150	35150	35150	70250
	Тип рентгеновской трубке	5	0,4511M2-120	0,75IIK2-160	0,75IIM3-200	1EIIK3-300	15IIB18-150	1,5BIIB7-150	0,3BIIB6-150	2,5511M4-250 (4511M8-250)
	Тип аппарата		Переностные РУП-120-5-1	РАП-160-6П	PVII-200-5-2	РАП-300-5Н	Передвижные:	PAII-150-7	PyII-150/300-D	

								-	Экончание 1	паюл. 9.9
	1	2		3	4	5	6	7	8	6
Стационар. РАП	ные: [-150/300-01	0.3BIIB6-	150 35	5150	5	0.3×1.4	$2.2 \cdot 10^{-4}$	0.84	270×900	35.0
	-02; -03)	1 BIIB15-	100 10)100	10	1,5×1,5	$1, 4 \cdot 10^{-4}$	0,53	90×450	8,0
PAÙ	1-150/300-01	1,5BIIB7-	150 35	5150	10	, S	$3,9.10^{-5}$	0,15	270×800	40
	-02; -03)	1,2-3BIIM5	-300 10	0300	4и10	1,5 и 4	$6,0.10^{-4}$	2,33 5	60×312×31	2 75
		1,5BIIB2-	400 25	0400	5	5	$5, 2 \cdot 10^{-4}$	2,00	550×980	I
Py	′П-400-5-1	1,5BIIB3-	400 25	0400	5	5	I		инод ынесел на 590 мм	- H
Примечание: 1. Под фок. кость, пе 2. Радиацис 3. Модель 1 лучателя 9.7.2. О	усным пятном пс рпендикулярную онный выход при РАП-150/300 с иг ми 0,3БПВ6 и 1,2 сновные техни	дразумевается оси рабочего пу ведён для рассто дексом 01 в на 3БПМ5-300; с и ческие характ	эффектин лчка рент яяния 0,5 аменован ндексом еристик	зное фоку теновскоі м от окна ии укомп 03 – трем ки импул	сное пятно излучен о излучено пектована илектована илектована пектована излучато псеных р	но- проен ния трубі вской тр а четырь елями IE ентгенс	сция излуча си. убки. мя излучате лТВ15-100, вСКИХ апт	нощего уча алями; с ин, 0,5БПВ6-15 іаратов та	стка мишени дексом 02 – 0 и 1,5БПВ7 блица 9.10 Табл	т на плос- двуми из- -150.
Тип	Тип рентгеновской	Эффективная	Радиац вы	ионный ход	Диамет Фокусно	rp Mo pro norp	ощность оебляемая	Размері рентген	I Macca	рентген.
annapara	трубке	энергия, кэв	Кл/ кг·с	P/c	пятна, м	AM OT	сети, мм	излучател	H MM	areny, kr
МИРА-1Д	ИМА6-Д	80	$1,0.10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$	23		0,3	75×298		1,5
МИРА-2Д	ИМА2-150Д	120	$2,0.10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-10}$	3		0,4	460×120×	230	6,0

ი ო 163

							Оконч	ание та	бл. 9.10
Тип	Тип ренттеновской	Эффективная	радиаци выхе	онный од о	Диаметр Фокусного	Мощность потребляемая	Размеры рентгент.	Macca p	ентген.
amapara	трубке	ансрі ия, пар	Кл/кг.с	P/c	пятна, мм	от сети, мм	излучателя мм	ushy tan	CUN, KIC
МИРА-3Д	1 ИМА-320Д	160	$3,1.10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	3	0,4	$160 \times 290 \times 580$	11	0,
HOPA	ИМА%-320Д	200	$1,0.10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$	I	0,3	470×120×265	8,	5
Примечание 1. Радиаці 2. Угол ра	к табл. 9.10: ионный выход приі іствора пучка излуч	зедён для расст нения аппарата	гояния 0,5 м 1 НОРА-180	1 от окна] °.	рентгеновско	й трубки.			
9.8. Осно	вные техниче	ские харак	теристик	си бетат	гронов				
								Табли	ца 9.11
E	Пределы	Мощносл	фС , dī	фектив-	Размеры п	х н н	Pa3Mepbi	2	lacca
I ипы бета-	Регулирован. энергии	ЭКСПОЗИЦИОІ ДОЗЫ	т торини торини торина Т	НОС	Оолучені на расст.	ия Iloтрео I м мощности	блока	0	лока
троннов	ускоренных электронов, КэВ	KJI/KF'C	P/c III	okychoe rho, mm	от мишен мм	и, кВт	ММ		чателя, кг
Перен	осные и передвия	KHble:							
MHB-4	До 4	$4,3.10^{-6}$ 1,6'	$7 \cdot 10^{-2}$ (0,2×3	1	2,0	370×580×27	0.	45
IIME-6M	2, 3, 4, 5, 6	$1,3.10^{-6}$ 5,0	$) \cdot 10^{-3}$	Ι	180×24() 1,8	400×540		100
МИВ-6	36	$1,2.10^{-5}$ 4,7	$7 \cdot 10^{-2}$	Ι	Ι	3,5	500×400×40	0	100
Γ -18/6	618	7,8.10 ⁻⁵ 3,0	$) \cdot 10^{-1}$ ($0,1\times 3$	Ι	8,0	500×600×75	0	500
				Стацион	арные:				
Б-30	330	$6,5.10^{-4}$	2,5	1×1	Ι	30,0	$1200 \times 1700 \times 1$	500 (000
B-25/10	1025	$1,6.10^{-4}$ (0,6	1×3	I	10,0	$1200 \times 1200 \times 1200 \times 12$	200	500
B-35 \8	1235	$1, 1 \cdot 10^{-3}$	4,2	1×1	200×20() 35,0	1510×1570×1	050 5	000

Таблица 9.12

וא, אר וסאג האנו	излучателя, Масса би излучател	- 230	00×1500 2000	00×1500 1500	- 2500	
Dazv	блока из. м		1200×15	1100×11		
смая тВт,	поэqтоП вощность	I	15	20	20	06
Эона ,онтri	мм фокусное и ММ	ø 1,5	ø 2,0	1*2	ø 3,0	σ 2 U
, ээапу	ток в имп Ам	T	100	50	50	60
'әяғұл	а хот .дэqЭ Ахм	0,35	50,0	50,0	30,050,0	15 00
ость (ионой ы	P/c	0,3	34,0	17,0	134,0	0.0LC
Мощн экспозиц дозі	Kл/кг·с	$8,3.10^{-5}$	$8,8{\cdot}10^{-3}$	$4,4{\cdot}10^{-3}$	$3,4{\cdot}10^{-2}$	$7 0.10^{-2}$
ая хіан ЯеМ ,8	электронов ускоренг Энерги	7,3	10,0	8,012,0	20,0	30.0
	Тип микротрона	Малогабаритный	МД-10	РМД-10T	MT-20	MT-30

9.10. Основные характеристики гамма – дефектоскопов

9.10.1. Основные технические характеристики гамма – дефектоскопов.

Таблица 9.13

Тип дефектоскопа	Конструктивное исполнение	Привод	Максимальное удаление источника от радиационной головки, м	Масс радиационной головки, кг	Толщина просвечиваемого металла (по стали), мм
Гаммарид-192/40Т	переносной	ручной	0,25	13	560
Гаммарид-192/4	переносной шланговый	ручной	5,00	9	540

9.9. Основные технические характеристики микротронов

Мощность экспозиционной дозы	Активность источника	Тип	Іолная Гамма	основных	Энергия	Период	Радио-
Таблица 9.14							
копии.	мма – дефектос	rembix b la	иков, применя	іктивных источн	ристики радиоа	.2. Характе	9.10
660	8	8	0,0	ручной	переносной	-5M	Стапель-
140	8	8	0,0	ручной	переносной	цд-170/400	Гаммари
30200	145	0(- 12,0	ручной и электро- механический	передвижной шланговый	д-60/40	Гаммари
580	17	5	0,2	ручной	переносной	цд-192/120	Гаммари
580	17	0(. 12,0	ручной и электро- механический	передвижной	д-192-120Э	Гаммари
580	16	0(12,0	ручной	то же	цд-192/120	Гаммари
Толщина просвечиваемого металла (по стали), мм	Масс радиационной головки, кг	альное сточника (ионной ки, м	Максима удаление и от радиац головк	Привод	Конструктивное исполнение	Гип стоскопа	дефек
Окончание табл. 9.13							

1	66	

			r
цность 10нной дозы гоянии 1 м	P/c	$1,2.10^{-4}$	$4, 7 \cdot 10^{-4}$
Мог экспозиці на расст	Кл/кг·с	3,1·10 ⁻⁸	$1,2{\cdot}10^{-7}$
ность ника	Ки	432	8,6
Активнисточн	Бк	$1, 6 \cdot 10^{13}$	$3, 2 \cdot 10^{11}$
Тип источника		ИГИ-Ту-3	ИГИ-Се-5
Полная Гамма постоянная,	A'NJ'M / KI 'C'DK	0,0516	0,3770
Энергия основных фотонов, МэВ		0,053 (К _и Ү _β) 0,084; тормозное излучение с эффективной энергией 0,3	0,077; 0,136; 0,265; 0,401
Период полураспада		129 дн.	118,5дн
Радио- нуклид		Tm-170	Se-75

							Окончание	г табл. 9.14
Радио- нуклид	Период полураспада	Энергия основных фотонов, МэВ	Полная Гамма постоянная,	Тип тсточника	Активни	ость Ика	Мош экспозици на расст	(ность онной дозы оянии 1 м
	1	ſ	A'N'I'M / KI''C'DK		Бк	Ки	Кл/кг.с	P/c
				1-ДИИЛ	$4, 4 \cdot 10^{10}$	1,2	$3,9{\cdot}10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
				ГИИД-2	$1, 4 \cdot 10^{11}$	3,9	$1, 3 \cdot 10^{-7}$	$5,0.10^{-4}$
L* 100		0,296; 0,316;	0 0030	ГИИД-3	$4, 3 \cdot 10^{11}$	11,6	$3,9{\cdot}10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
761-IC	/4,7 ДН.	0,468; 0,604	0660,0	ГИИД-4	$7,2.10^{11}$	19,4	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
				ГИИД-5	$1, 4 \cdot 10^{12}$	38,7	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5,0{\cdot}10^{-3}$
				ГИИД-6	$4, 3 \cdot 10^{12}$	116,1	$3,9.10^{-6}$	$1,5{\cdot}10^{-2}$
Cc 127		122 0	0067.0	1-Ш-ДИТ	$6, 4 \cdot 10^{10}$	1,74	$3,9.10^{-8}$	$1,5{\cdot}10^{-4}$
CS-10/	.1 2,00	0,001	0000,0	ГИД-Ц-2	$2,7{\cdot}10^{11}$	7,2	$1, 6 \cdot 10^{-7}$	$6,2{\cdot}10^{-4}$
Co-60	5,7 r.	1, 17; 1, 33	2,4950	ГИК-2-6	$1,2.10^{12}$	33,4	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2{\cdot}10^{-2}$

5.
σ.
5
á
E
0F
θH
Ĕ
И
K
Ie
И
-Ð
pa
OL O
Ц
aJ
q
КИ
И
5
Ю
<u></u>
K
pa
Ха
G
ĹИ
S
Че
ИС
Ë
Me
õ
LИ
HC
G
ŏ
eн
ŢŢ
H
~

Таблица 9.15

,	Среднии	зепна		8		$1,70.10^{-6}$	$0,77.10^{-6}$	$0,25.10^{-6}$
ая плотность вуали,	лее, ед. опт. пл.	к концу	гарантийного срока	7		0,30	0,30	0,20
Оптическ	не бо	иdп	выпуска	9		0,20	0,20	0,12
итрастность,	не менее ед. опт. пл.	к концу	гарантийного срока	5		3,0	2,5	3,5
KO		He M	иdп	выпуске	4		3,0	3,2
ствительность	Чувствительность при S=0.85+S ₀ ; не менее p=1	к концу	гарантийного срока	3		55	20	6
Чув		идп	выпуске	2		70	25	13
	Марка	плёнки		1	Безэкранные:	PT-6M	PT-1(PT-1M)	1-MTH4

167

8	$0,55.10^{-6}$	$0,25.10^{-6}$	$0,25.10^{-6}$	$0,25.10^{-6}$		$1,70.10^{-6}$	$1,53.10^{-6}$	$1,38.10^{-6}$	$1,16.10^{-6}$
L	0,30	0,20	0,20	0,20		0,28	0,30	0,30	0,30
9	0,15	0,10	0,10	0,10		0,20	0,20	0,20	0,20
5	2,5	3,0	4,0	4,0		I	I	2,5	I
4	3,0	3,5	4,8	4,8		3,5	3,0	3,0	2,8
ς	8	3,5	2	2		1000	450	300	280
0	10	5	3	c,		1400	650	450	400
1	PT-CIII	PT-4M	PT-C3, PT-C3V	РТ-5(РТ-5Д)	Экранные:	PT-6	PM-8	PT-2	PM-1 (PM-1T)

Окончание табл. 9.15

9.11. Определение экспозиции при радиографическом контроле

Определение экспозиции при контроле рентгеновским аппаратом непрерывного действия.

При использовании в качестве источника излучения рентгеновского аппарата непрерывного действия экспозиция определяется как произведение анодного тока трубки рентгеновского аппарвта в миллиметрах (J) на величину времени экспозиции в минутах (t) по формуле:

Jt=90æ
$$\frac{(f+h+H)^2}{S_{0.85}}$$
, (9.5)

где æ – коэффициент, определяемый в зависимости от толщины просвечиваемого металла и напряжения на рентгеновской трубке по монограммам рис. 4 (для стали); f – расстояние от источника излучения до изделия, м; h – толщина изделия, м; H – расстояние от плёнки до поверхности изделия, обращенной к пленке, м; $S_{0,85}$ – чувствительность используемой для контроля радиографической плёнки.

Пример. Дано: наружной диаметр изделия – 400 мм; внутренний диаметр изделия – 360 мм; толщина изделия – 20 мм; материал – сталь; рентгеновский аппарат – РУП-160/300-10 с трубкой 2, Д5БПМЧ-250; радиографическая плёнка РТ-1 с металлическим усиливающими экранами; схема просвечивания – по рис. 9.2, *а*; чувствительность контроля – по 2-му классу; расстояние от плёнки до изделия – 10 мм.

Определить время экспозиции при токе 5 мА.

Решение: по формуле табл. 9.4 для рис. 9.2, *а* определяется минимальное расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого сварного соединения: $f = 1, 1 \cdot c \cdot (D-d)$,

где
$$c = \frac{\Phi}{K}$$
 при $\frac{\Phi}{K} \ge 2$ и $c = 2$ при $\frac{\Phi}{K} < 2$.

Размер фокусного пятна Ф для трубки Д5БПМЧ-250 (табл. 9.9) равен 4 мм.

Требуемая чувствительность контроля К по 2-му классу для изделия толщиной 20 мм (из табл. 9.3) равна 0,4 мм.

$$\frac{\Phi}{K} = \frac{4}{0,4} = 10 > 2$$
, тогда $c = \frac{\Phi}{K}$.
 $f = 1, 1 \cdot \frac{\Phi}{K} \cdot (D - d) = 1, 1 \cdot 10 \cdot 40 = 440$ мм

Принимаем f = 0,7 м

 $S_{0.85}$ для РТ-1 без усиливающих экранов равна 25 Р⁻¹ (табл. 9.15). Для U-160 кВ по номограмме рис. 9.4 определяется æ, равная 8.

$$Jt = 90 \cdot 8 \frac{(0,73)^2}{25} = 15 \text{мA} \cdot \text{мин.}$$

Время экспозиции равно 3 мин.

Коэффициент перехода для плёнки РТ-1 с металлическими усиливающими экранами равен 0,5 (табл. 9.8).

$$t = \frac{t_0 \cdot k}{k_0},\tag{9.6}$$

где t_0 – время экспозиции, определённое по формуле (5) для заданной плёнки и заданного варианта зарядки кассет; k_0 – коэффициент перехода для заданной плёнки и варианта зарядки кассет, т. е. для условий, в которых определялось t_0 (табл. 9.8); t – время экспозиции на другую плёнку или другой вариант зарядки кассет; k – коэффициент перехода для плёнки и варианта зарядки кассет, для которых определяется t.

Время экспозиции на плёнку РТ-1 с металлическими усиливающими экрамани равно 1,5 мин.

Время экспозиции при гаммаграфическом контроле можно определить и по формуле:

$$t = t_0 \left(\frac{f+h+H}{f_0}\right)^2 \frac{P_0}{P} \mathfrak{A}, \text{ мин}$$
(9.7)

где t_0 – время экспозиции, необходимое для получения заданной оптической плотности рентгеновской плёнки при нулевой толщине поглотителя, определяемое для данного типа плёнки и источника излучения опытным путём, мин; f_0 – фокусное расстояние при определении t_0 , мм; f – расстояние от источника излучения до поверхности сварного соединения при радиографическом контроле, мм; h – толщина сварного соединения, мм; P_0 , P – мощность экспозиционной дозы излучения на расстоянии 1 м от источника в момент определения t_0 и при проведении контроля соответственно Кл/кгс; æ – коэффициент, определяемый в зависимости от материала, просвечиваемой толщины, источника излучения на рис. 9.4.

Определение экспозиции при контроле импульсным рентгеновским аппаратом. При использовании в качестве источника излучения импульсного рентгеновского аппарата время экспозиции на плёнку РТ-1 с металлическими усиливающими экранами при фокусном расстоянии, равном 30 см, определяется по номограмме рис. 9.5. При контроле с другим фокусным расстоянием расчётное время экспозиции выбирается по формуле:

$$t_p = t_k \cdot \frac{F^2}{900},$$
 (9.8)

где t_p – расчётное время экспозиции, мин; t_k – время экспозиции, найденное по номограмме, мин; F – фокусное расстояние, выбираемое при съёмке, см. F = f + h.



Напряжение на рентгеновской трубке, кВ

Puc. 9.4

При определении времени экспозиции на радиографическую плёнку другого типа рекомендуется пользоваться коэффициентами перехода, приведёнными в табл. 9.8.

Пример.

Дано: толщина изделия – 10 мм; радиографическая плёнка – РТ-2 с металлическими усиливающими экранами; рентгеновский аппарат – МИРА-2Д; фокусное расстояние – 40 см.

Номограмма для определения экспозиций просвечивания стали излучением импульсных рентгеновских аппаратов



Puc. 9.5.

I – МИРА-1Д; 2 – МИРА-2Д; 3 – МИРА-3Д на плёнке РТ-1 (—) и РТ-5 (---) с оловянисто-свинцовыми экранами толщиной 0,05 мм (F=30 см; оптическая плотность потемнения 1,8...2,0)

Определить время экспозиции.

Решение. Время экспозиции для просвечивания толщины 10 мм аппаратом МИРА-2Д на плёнку РТ-1 с металлическими усиливающими экранами при фокусном расстоянии 30 см составляет 2,7 мин.

При фокусном расстоянии 40 см время экспозиции на плёнку РТ-1

равно:
$$t_p = 2,7 \cdot \frac{40^2}{900} = 4,8$$
 мин.

Время экспозиции на плёнку РТ-2 с металлическими усиливающими экранами равно: $t = \frac{t_0 \cdot k}{k_0} = \frac{4,8 \cdot 0,8}{0,5} = 8$ мин.

Номограмма для определения коэффициента æ при рентгенографическом контроле стали.

ГЛАВА 10. ПРИНЦИПЫ РАДИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

10.1. Принципы рентгенографического контроля [124]

Рентгенографический контроль импульсными аппаратами, в целом, аналогичен контролю, выполняющемуся с помощью других классов источников рентгеновского излучения. Вместе с тем, имеется и ряд харакособенностей, обусловленных спецификой терных ЭТОГО рода устройств. Стандартная технология получения рентгенографического изображения включает в себя наличие источника рентгеновского излучения (рентгеновского аппарата) с одной стороны контролируемого объекта и детектора излучения с другой его стороны. Проникающая способность излучения, зависящая от его энергии (или длины волны), должна быть такова, чтобы достаточное количество рентгеновских квантов дошло до детектора, и было им зарегистрировано. В качестве детектора в промышленной рентгенографии практически повсеместно используется радиографическая пленка, заключенная в светонепроницаемую кассету или конверт, прозрачные для рентгеновского излучения.

Формирование рентгеновского изображения на пленке подчиняется всем законам геометрической оптики, т. е. происходит полностью аналогично образованию тени в видимом свете. Таким образом, резкость изображения объекта на пленке непосредственно зависит от размера источника излучения и расстояний от него до пленки и от пленки до объекта. Поэтому, для получения максимально резкого изображения, кассету с пленкой располагают как можно ближе к контролируемому объекту. Контролируемый объект и пленка облучаются или экспонируются в течение определенного времени экспозиции, после чего пленка изымается и подвергается фотообработке. Фотообработка включает в себя этапы проявки, фиксации, промывки и сушки. Обработанная пленка (рентгенограмма) помещается затем на подсвечиваемый экран – так называемый негатоскоп, для просмотра. Различия в интенсивностях рентгеновского пучка прошедшего сквозь различные участки образца, наблюдаются на рентгенограмме в виде различия степени почернения или, иначе говоря, оптической плотности разных участков пленки.

Оптическая плотность почернения пленки измеряется в так называемых единицах оптической плотности, представляющих собой логарифм отношения интенсивностей падающего и прошедшего сквозь пленку света. Т. е., например, оптическая плотность 3 означает, что данная пленка ослабит падающий свет в 1000 раз (log 1000 = 3). На глаз такая пленка выглядит очень черной и требует для просмотра сильной лампы или негатоскопа.

Контрастность является одной из важнейших характеристик качества изображения и представляет собой разность оптических плотностей участков пленки, содержащего и не содержащего дефект. Чем больший контраст между деталями изображения на рентгенограмме, тем лучше качество изображения и контрастная чувствительность, которая полностью характеризует выявляемость дефектов в направлении просвечивания. Вместе с тем, разрешающая способность характеризует выявляемость дефектов в перпендикулярном направлении.

Другим важнейшим фактором, влияющим на контрастную чувствительность и разрешающую способность, является нерезкость изображения. Источниками нерезкости являются несколько причин. Важнейшие из них – геометрическая незеркость U_r (рис. 10.1), являющаяся, в сущности, областью полутени от дефекта из-за конечного размера фокусного пятна рентгеновской трубки.



Рис. 10.1. Схема образования геометрической нерезкости

Геометрическая нерезкость U_r определяется по формуле (10.1):

$$U_r = \frac{\Phi \cdot d}{F - d},\tag{10.1}$$

где Φ – размер фокусного пятна трубки, т. е. области на ее аноде, из которой выходит излучение; F – фокусное расстояние, от фокусного пятна до пленки; d – контролируемая толщина. Другая важнейшая составляющая нерезкости – собственная или внутренняя нерезкость, обусловленная зернистой структурой бромистого серебра в пленке и люминесцирующего кристалла во флуоресцентном экране.

В то время как излучение рентгеновских аппаратов с постоянным или пульсирующим напряжением на рентгеновской трубке представляет собой непрерывный поток рентгеновских фотонов, в той или иной степени лишь слегка промодулированный формой тока и напряжения на трубке, излучение импульсных рентгеновских аппаратов имеет вид сгустков или пачек рентгеновских фотонов, с огромной плотностью фотонов в пачке. Это обусловлено тем, что, как указано в гл. II, вся накопленная энергия выделяется в виде излучения в течение 10...20 нс (10^{-8} с), так как в таком импульсе излучается порядка 10^{10} рентгеновских фотонов, то плотность потока составляет порядка 10^{18} фотонов/с.

Время накопления энергии для следующего импульса достаточно велико, порядка 0,1 с, поэтому суммарная или интегральная доза излучения за какое-то время достаточно мала. Более того, она в несколько десятков раз меньше, чем у непрерывно излучающих аппаратов при том же напряжении. Таким образом, картина излучения импульсных рентгеновских аппаратов имеет вид, показанный на рис. 10.2.

Благодаря тому, что рентгеновская пленка имеет свойство накапливать изменения, происходящие в ней под действием излучения, результат его воздействия не зависит от того, попадает ли излучение на пленку в виде непрерывного потока фотонов или импульсов, несущих сразу большое их количество. В первом случае плотность потемнения пленки линейно растет во времени, тогда как в последнем это изменение происходит «ступеньками».

Для непрерывно излучающих аппаратов справедлива формула (10.2):

$$D = P \cdot t, \tag{10.2}$$

где *D* – доза излучения, накопленная за время *t*; *P* – мощность дозы излучения. Для импульсных рентгеновских аппаратов:

$$D = D_1 \cdot N, \tag{10.3}$$

где D_1 – доза, полученная пленкой за один импульс, N – число импульсов излучения за время t,

$$N = f \cdot t, \tag{10.4}$$

где *f* – частота следования импульсов. В итоге



Рис. 10.2. Временная диаграмма импульсов излучения

Таким образом, из сравнения (16.10) и (16.13) следует, что величина $D_1 \cdot f$ является средней мощностью дозы излучения для импульсных аппаратов. Другая существенная особенность рассматриваемых аппаратов заключается в спектре их излучения, т. е. относительном содержании в составе излучения фотонов тех или иных энергий или длин волн. Вследствие того, что излучение в импульсных аппаратах происходит при разряде источника высокого напряжения через рентгеновскую трубку, спектр излучения отличается от «классического», соответствующего постоянному напряжению на трубке и имеет вид:

$$f(\lambda) = \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\lambda^4},$$
(10.6)

Максимум этого спектра, т. е. эффективная длина волны излучения:

$$\lambda_M = 2 \cdot \lambda_0, \tag{10.7}$$

или соответственно эффективная энергия:

$$E_{\rho\phi\phi} = \frac{E_0}{2}, \qquad (10.8)$$

где E_0 – энергия, численно равная амплитуде приложенного к трубке напряжения.

Для аппаратов с постоянным напряжением

$$E_{3\phi\phi} = 2/3 E_0, \tag{10.9}$$

Спектр излучения импульсных аппаратов и аппаратов с постоянным напряжением показаны на рис. 10.3. Наглядно видно, что спектр импульсного аппарата сдвинут в сторону больших длин волн, т. е. меньших энергий, иначе говоря, соответствует меньшей «жесткости» излучения.



Рис. 10.3. Спектры рентгеновского излучения

Практическим следствием большой протяженности спектра, т. е. наличию в нем фотонов с энергиями как близкими к приложенному

напряжению, так и с гораздо меньшими, является возможность контроля более широкого диапазона толщин и плотностей материала при одном напряжении на трубке. Существенной особенностью импульсных рентгеновских аппаратов является отсутствие регулировки тока и напряжения. Поэтому, решение задачи контроля заданных толщин и материалов должно начинаться с подбора аппарата с соответствующим напряжением срабатывания разрядника-обострителя. Отсутствие регулировки тока перекрывается выбором экспозиции, т. е. числа импульсов излучения, которое заменяет регулировку мА с в аппаратах с непрерывным излучением.

При определении условий рентгенографирования, т. е. при выборе пленок, экранов, фокусных расстояний и т. д. следует иметь в виду, что средняя мощность излучения импульсных аппаратов невелика и поэтому следует стараться (насколько это позволяют требования к выявляемости дефектов и качеству снимков в каждом конкретном случае) выбирать: съемку с флуоресцентными или флуорометаллическими экранами; съемку на пленку с наибольшей возможной чувствительностью. Применение высококонтрастных пленок оправдано лишь при контроле незначительных толщин или легких материалов; съемку при минимально допустимых фокусных расстояниях, поскольку экспозиция возрастает как квадрат фокусного расстояния;

Применение методов съемки, позволяет сократить просвечиваемую толщину и/или фокусное расстояние. Например, панорамное просвечивание предпочтительнее направленного, т. к. просвечивается только одна стенка вместо двух и с фокусного расстояния равного радиусу вместо диаметра. Выполнение этих рекомендаций не только повышает эффективность использования аппарата, но и экономит его ограниченный ресурс. Применение флуоресцентных экранов желательно, т. к. существенно (в десятки раз) уменьшает необходимую экспозицию. Наибольшее усиление из выпускаемых в настоящее время имеют экраны серии ВП, но они, в то же время, имеют и наибольший размер зерна, т. е. обеспечивают только удовлетворительную контрастную чувствительность. Применение флуорометалиических экранов в любом случае желательно, т. к. они обеспечивают достаточно высокое качество контроля при экспозициях не превышающих нескольких минут.

Металлические усиливающие экраны могут использоваться с соответствующими типами пленок. Следует иметь в виду, что толщины применяемых свинцовых экранов должна быть в пределах 20...50 мкм. В этом случае их коэффициент усиления, т. е. сокращение экспозиции при их применении составляет 1,2...1,5. Применение свинцовых экранов с толщиной 100 мкм и более категорически недопустимо, т. к. их фильтрующее (ослабляющее) действие превысит эффект усиления и вместо сокращения экспозиции приведет к ее увеличению. Выбор фокусного расстояния. Выбор фокусного расстояния при просвечивании диктуется следующими соображениями. С уменьшением фокусного расстояния возрастает геометрическая нерезкость ухудшающая выявляемость дефектов и качество снимка (формула 10.1). С другой стороны, чрезмерное увеличение фокусного расстояния неоправданно увеличивает экспозицию и ухудшает производительность контроля.

Существует оптимальная область фокусных расстояний, в которой чувствительность контроля уже не зависит от фокусного расстояния. Исходя из условий ограничения геометрической нерезкости и геометрического увеличения размеров дефектов, можно указать нижний предел фокусных расстояний:

$$F = \begin{cases} 5d, npu \ K \ge \Phi/2 \\ d \ (1+2\Phi/K), npu \ K \le \Phi/2 \end{cases}$$
(10.10)

где K – требуемая абсолютная чувствительность контроля, мм; Φ – диаметр фокусного пятна трубки, d – толщина контролируемого материала.

Указанный критерий соответствует требованиям ГОСТ 7512–82 для контроля сварных соединений. Учитывая размеры фокуса импульсных рентгеновских трубок, можно из $D_1 - D_0 = \gamma \log P_1/P_0$ сделать вывод, что фокусное расстояние следует выбирать из соотношений

$$F_{min} = \begin{cases} 5d, K \ge 1 \text{ MM} \\ 5d / K, K \le 1 \text{ MM} \end{cases}$$
(10.11)

Например, заданная контролируемая толщина стали d = 10 мм, требуемая чувствительность контроля K = 0,25 мм.

Подставляя в (10.11) получаем – $F_{min} = 200$ мм. Выбирая реальное фокусное расстояние вдвое больше минимально необходимого, получаем F = 400 мм.

Практически, диапазон фокусных расстояний лежит в пределах 300...500 мм. Следует лишь еще раз подчеркнуть, что выбор указанного фокусного расстояния вовсе не гарантирует получение требуемой чувствительности контроля (которая зависит еще от множества других факторов), а лишь гарантирует, что геометрические факторы не будут лимитирующими. Длина контролируемого за одну экспозицию участка при этом ограничивается двумя факторами: угол между направлением падающего пучка излучения и нормалью к пленке нигде не должен превышать 45° (т. е. длина участка контроля заведомо не может быть больше 2F); уменьшение плотности потемнения к краю снимка не должна превышать 1,0 ед. оптической плотности. Выбор схем контроля. Выбор схемы просвечивания должен производиться исходя из конкретной геометрии контролируемого изделия. Рекомендуемые схемы просвечивания сварных соединений указаны в [7]. Небольшие габариты и вес импульсных рентгеновских аппаратов, а также широкая диаграмма направленности их излучения, позволяют располагать их различным образом, наиболее удобным для решения задачи контроля того или иного объекта.

На рис. 10.4 показаны наиболее типичные схемы просвечивания, применительно к самой массовой задаче контроля сварных стыков трубопроводов.



Рис. 10.4. Типовые схемы установки аппарата (на схемах 1–3 пленка размещена внутри трубы)

Просвечивание может производиться через 1 стенку (схемы 1–3 и 5) или через 2 стенки (схема 4). Контроль осуществляется либо участками (схемы 1–4), либо целиком за одну экспозицию (схема 5). Аппарат может быть расположен на трубе (схема 1), рядом с ней (схемы 2–4), либо внутри нее (схема 5). Следует только иметь в виду, что при просвечивании «боковым» пучком (т. е. участком диаграммы направленно-
сти, расположенным под углом 90° к центральному пучку, выходящему вдоль продольной оси аппарата) по схемам 1, 3, 5 экспозиция должна быть увеличена в два раза для аппаратов АРИНА-05-2М и АРИНА-3 и в три раза для аппарата АРИНА-1.

Контроль через две стенки (схема 4) следует производить, сместив аппарат относительно плоскости сварного шва (во избежание наложения изображений противоположных стенок друг на друга на снимке), и повернув его таким образом, чтобы центральный пучок был направлен на центр трубы. Угол этого поворота α можно определить из соотношения:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot l}{D}, \qquad (10.12)$$

где *l* – ширина изображения шва, околошовной зоны и эталонов на снимке; *D* – диаметр трубы.

Практически, величина угла поворота составляет 5...10°. В любом случае, угол не должен превышать 45°. Таким образом можно рекомендовать производить контроль труб диаметром до 100 мм. Наиболее желательной является геометрия панорамного просвечивания (схема 5). Ее главные достоинства – высокая производительность – съемка всего шва требует одной экспозиции при половинной толщине просвечиваемого материала и половинном фокусном расстоянии (по сравнению с просвечиванием через две стенки), и лучшее качество – чувствительность выше при меньшей толщине просвечивания. Необходимо лишь правильно выбрать экспозицию с учетом ранее упомянутого фактора увеличения экспозиции под прямым углом. При панорамном методе контроля кольцевых швов удобно использовать рулонную пленку Структурикс D7 или D8, а также отечественную – РТСШ. Крепление такой пленки осуществляется жгутом или лентой. При использовании форматной пленки рекомендуется применение кассетных поясов с карманами для кассет 10×48 и маркировочных знаков. Эталоны чувствительности при панорамном контроле и контроле через две стенки устанавливаются непосредственно под пленку.

Выбор экспозиции контроля. Существенным моментом в рентгенографическом контроле является выбор экспозиции. Как и в практике контроля аппаратами непрерывного действия, решение этой задачи в рентгенографии импульсными аппаратами облегчается использованием номограмм экспозиции. Эти номограммы экспозиции выглядят существенно проще, так как не содержат переменного параметра – напряжения на трубке. Экспозиция вместо мА с при этом исчисляется непосредственно в импульсах. Исчисление экспозиции в единицах времени, разумеется, также возможно. Однако, как видно из формулы (10.5), при этом появляется фактор частоты следования импульсов f, которая в известных пределах варьируется от аппарата к аппарату, а кроме того, существенно зависит от напряжения питающей сети. Указание же экспозиции в импульсах от этих недостатков свободно.

Номограммы экспозиции по стали для трех аппаратов серии АРИНА приведены на рис. 10.5–10.6. Фокусное расстояние для всех номограмм – 300 мм. Приведены номограммы для комбинаций: высокочувствительная пленка (РТ-1) – флуоресцентный экран (ВП-2); средне – чувствительная пленка – Структурикс D8 – флуорометаллический экран RCF; контрастная пленка Структурикс D7 – свинцовая фольга (27 мкм).



Номограмма экспозиций

Рис. 10.5. Номограмма экспозиций аппарата АРИНА – 05–2М

График номограмм представляет собой прямые в полулогарифмическом масштабе (вместо экспозиции по оси ординат отложен ее десятичный логарифм). Это является следствием экспоненциального закона ослабления рентгеновского излучения. Плотность потемнения снимков 1,5...1,8 ед. оптической плотности. Фокусное расстояние 300 мм.

1. Применение пленки и/или экрана, отличных от представленных на номограммах.

В этом случае экспозицию легко пересчитать, зная чувствительность для обоих случаев (искомого и представленного на монограмме)

$$N_X = N_H \cdot \frac{K_H}{K_X},\tag{10.13}$$

где N_X и N_H – экспозиции для искомой и номограммной комбинации экран-пленка, K_X и K_H – чувствительности (абсолютные в P⁻¹ или относительные) искомой и номограммной комбинации, соответственно. Для определения чувствительности следует пользоваться табл. 10.1–10.3. Сравнительные характеристики безэкранных рентгеноских пленок представлены в табл. 10.1.



Рис. 10.6. Номограмма экспозиций аппарата АРИНА – 1

Таблица 10.1

a		~	
(n_{0})	\mathbf{v} ana \mathbf{v} monucmu \mathbf{v} u	h_{0}	noum source wir naour
Сриблинслопою	лириктеристики	υεзэкриппои	ρεπιιζεποθεκάλ πλεποκ
1		1	1

Тин нионич		Чувствительность		Коэффициент
тип пленки	Фирма (страна)	P^{-1}	отн. ед.	контрастности
PT – 5	АО «Тасма» (Россия)	23	—	44,5
PT - 4M	_ // _	34	—	33,5
PT – 6M	_ // _	5070	_	3
PT – 1	_ // _	2025	—	2,53,0
PT – 2	_ // _	3040	_	2,5
Структурикс D2	Агфа-Геверт (Бельгия)	1,21,5	0,100,12	5,86,0

Тин насти	Фунала (отполно)	Чувствительность		Коэффициент
тип пленки	Фирма (страна)	P ⁻¹	отн. ед.	контрастности
Структурикс D3	_ // _	22,5	0,20,25	5,05,5
Структурикс D4	_ // _	34	0,30,4	5,05,4
Структурикс D5	_ // _	57	0,60,7	5,05,4
Структурикс D7	_ // _	1012	1	4,95,4
Структурикс D8	_ // _	1518	1,5	4,34,8
Структурикс D6R	_ // _	1820	1,82,0	4,2
100	Фуджи (Япония)	1012	1	—
150	_ // _	15	1,5	—
Индукс R5	Фома Богемия (Чехия)	67	0,7	_

Окончание табл. 10.1

Таблица 10.2

Сравнительные характеристики экранных рентгеновских пленок

Тип пленки	Фирма (страна)	Чувствительность, Р ⁻¹	Средний градиент	Примечание
PT – 2	Россия		22,5	С экраном ВП-1
PM – 1	_ // _	300450		_ // _
PM – 6	_ // _	300400	2,0	_ // _
РЕТИНА	ΦΡΓ	500600	22,5	С экраном ВП-1
КРОНЕКС – 4	Дюпон (США)	400500	22,5	_ // _
Структурикс D8	Агфа-Геверт (Бельгия)	50100	5,0	С экраном RCF
Структурикс D6R	-//-	30100	6,0	_//_

Таблица 10.3

Тип экрана	Люминофор	Коэффициент усиления	Фирма (страна)
ЭУ – В1	CaWO ₄	30	Россия
ЭУ-В2	_ // _	40	_ // _
ЭУ – ВЗ	_ // _	50	_ // _
BΠ – 1	_ // _	80100	_ // _
ВП – 2	_ // _	130160	_ // _
ЭУ – И1	$Y_2O_2S - Tb$	50	<i>_ // _</i>
RCF	_	530	Agfa-Gevert (Бельгия)
Kyokko SMP – 308	_	_	Dai Nippon Tokyo

Характеристики флуоресцентных и флуорометаллических усиливающих экранов

Пример 1. Определить экспозицию для контроля стали толщиной 7,5 мм с фокусного расстояния 300 мм на пленку Структурикс D8 со свинцовой фольгой.

Решение:

По номограмме определяем экспозицию для указанной толщины и фокусного расстояния для пленки Структурикс D7 – 1000 имп.

По табл. 10.1 находим, что относительная чувствительность пленки Структурикс D8 со свинцовой фольгой составляет 1,5. По формуле (16.21) находим

$$Nx = 1000 / 1,5 = 700$$
имп.

2. Если плотность снимка должна быть скорректирована в ту или иную сторону, следует пользоваться формулой:

$$N_X = N_H \cdot 10^{\Delta D/\gamma}, \qquad (10.14)$$

где ΔD – желаемое изменение плотности снимка; γ – средний градиент или коэффициент контрастности пленки, указанный на ее упаковке или определенный по табл. (10.1), (10.2).

Пример 2. Необходимая плотность потемнения снимка в условиях предыдущего примера D = 2,5.

Решение: Плотность снимков для номограмм $D_H = 1,5$, т. е. $\Delta D = 1,0$. По табл. (16.1) находим, что для пленки Структурикс D7 коэффициент $\gamma = 5$. Отсюда,

$$N_X = 1000 \cdot 10^{-1,0/5} = 1000 \cdot 1,6 = 1600$$
 имп.

 Если фокусное расстояние при съемке отлично от использованного при построении номограммы, пересчет может быть произведен по формуле

$$N_{X} = N_{H} \cdot (\frac{F_{X}}{F_{H}})^{2}, \qquad (10.15)$$

где F_X и F_H – новое и номограммное фокусные расстояния, соответственно.

Пример 3. В условиях примера 1 фокусное расстояние при съемке составляет 600 мм.

Решение:

По номограмме определяем, что экспозиция при фокусном расстоянии 300 мм составляла 1000 имп. Подставляя в (16.23) получаем:

$$N_X = 1000 \cdot (500/300)^2 = 3000$$
 имп.

4. При изменении толщины контролируемой стали пересчет осуществляется по формуле:

$$N_X = N_H \exp\left(\mu \,\Delta d\right),\tag{10.16}$$

где Δd – увеличение (уменьшение) толщины, см; μ – коэффициент ослабления, см⁻¹.

При практическом использовании этого алгоритма полезно иметь в виду, что увеличение толщины стали на 5 мм требует увеличения экспозиции в 2...2,5 раза (в зависимости от напряжения срабатывания разрядника-обострителя и типа аппарата), а увеличение толщины стали на 10 мм требует увеличения экспозиции в 4...5 раз.

5. При просвечивании материалов, отличных от стали, экспозиция может быть пересчитана на величину разницы в коэффициентах ослабления μ контролируемого материала и стали. Для этого следует пользоваться табл. 10.4.

Т	аблица 1	$\left \right $).4	
	1			

Материал	Фактор экспозиции	Толщина эквивалентная 10 мм стали, мм
Алюминий	0,110,12	8090
Бетон	0,100,11	90100
Вольфрам	20	0,5
Медь	1,31,5	78
Молибден	2,53	34
Свинец	15	0,7
Полиэтилен	0,04	250
Титан	0.70.75	1315

По приведенной таблице можно определить, какую экспозицию следует выбрать для данного материала, либо какую толщину материала можно просветить за ту же экспозицию, что и 10 мм стали.

Пример 4. В условиях примера 1 определить экспозицию при просвечивании 7,5 мм алюминия.

Решение: По номограмме для 7,5 мм стали, экспозиция составляла 1000 имп. Для 7,5 мм алюминия экспозиция будет

Пример 5. Какую толщину алюминия можно просветить за экспозицию 1000 импульсов в условиях примера 1.

Решение: По табл. 10.4 находим толщину, эквивалентную 10 мм стали – 80 мм. В результате составления пропорции находим

$$(7,5/10) \cdot 80 = 60$$
 мм.

Для рентгенографирования изделий достаточно сложного или вовсе неизвестного состава определение экспозиции должно производиться экспериментальным путем. Как правило, одного – двух «пристрелочных» снимков вполне достаточно. Для облегчения решения задачи определения экспозиции можно использовать следующую методику. С помощью любого типа интегрального дозиметра (т. е. измерителя дозы, а не мощности дозы), например, типов КИД – 2, ДК – 02 или их аналогов, следует замерить дозу за объектом (в месте расположения пленки) за определенное число импульсов. Необходимое для просвечивания на пленку с чувствительностью K (P⁻¹) число импульсов приближенно рассчитывается затем по формуле:

$$N = \frac{2000n}{K \cdot I},$$
 (10.17)

где *I* – замеренное значение экспозиционной дозы в мР за *n* импульсов.

Указанное уточнение экспозиции полезно еще и потому, что доза в импульсе различается от аппарата к аппарату. При рентгенографировании аппаратами АРИНА-05-2М и АРИНА-3, использующими рентгеновскую трубку ИМА-5-320 с игольчатым анодом, следует иметь в виду следующее обстоятельство. Игольчатый анод создает на рентгенограмме определенную «тень» (рис. 10.7).



Рис. 10.7. Структура пучка для игольчатой трубки ИМА 5-320 Д

Это приводит к появлению центрального пятна с более высокой плотностью потемнения. В тех случаях, когда наличие такого пятна нежелательно, для получения равномерной засветки снимка достаточно повернуть аппарат на угол 5...6° от его продольной оси. Следует обратить внимание на то, что трубки с игольчатым анодом имеют достаточно своеобразную форму фокусного пятна. При направленном просвечивании она имеет форму кольца (рис. 10.7), а при панорамном – трапеции.



Рис. 10.8. Меры по ограничению пучка излучений

Для получения снимка достаточно высокого качества немаловажное значение имеют меры по борьбе с влиянием рассеянного излучения. Дело в том, что помимо поглощения в материале контролируемого объекта, часть рентгеновских фотонов рассеивается, в том числе и на близлежащих объектах, в результате чего и рассеянные фотоны могут попасть на пленку, они не несут никакой информации о внутреннем строении контролируемого объекта, и при этом почти равномерно повышают плотность снимка, его контрастность и, следовательно, выявляемость дефектов, уменьшается. Конкретный вклад рассеянного излучения зависит от многих факторов и может превышать вклад фотонов, прошедших сквозь объект. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы как можно сильнее уменьшить долю рассеянного излучения. С этой целью следует ограничить пучок излучения и, тем самым, уменьшить облучение как части объекта вне зоны контроля, так и близлежащих предметов, в особенности стен и пола помещения, земли и т. д. Это достигается путем применения диафрагм, масок или коллиматоров (рис. 10.8), как правило, из свинца толщиной 1 мм и более.

Диафрагма представляет собой круговое или щелевое отверстие в свинце, сквозь которое выпускается пучок излучения. Маска представляет собой свинцовый лист, которым закрывают неконтролируемую часть изделия. Коллиматор представляет собой цилиндрический или конический тубус, ограничивающий пучок излучения.

Кроме того, очень полезно закрывать пленку со стороны, противоположной объекту от обратно рассеянного излучения. Для этого на кассету сзади накладывается лист свинца толщиной 0,5...1,0 мм или более. Иногда такую свинцовую фольгу устанавливают непосредственно в кассету позади пленки или заднего флуоресцентного экрана. Прежде чем производить анализ рентгенограмм с целью определения дефектов в контролируемом изделии, следует убедиться в том, что снимок лишен собственных дефектов, вызванных ошибками съемки или фотообработки. Чтобы отделить эти дефекты от истинных, содержащихся в самом изделии, целесообразно сравнить обе стороны рентгенограммы.

Рентгеновское изображение с обеих ее сторон полностью идентично, тогда как целый ряд дефектов самой пленки расположен только с одной ее стороны. Ряд часто встречающихся дефектов съемки или обработки приведен в табл. 10.5.

Дефекты снимков	Возможная причина
1. Недостаточная контрас	гность
а) при нормальной плот-	• переэкспонирование, компенсированное недо-
ности	проявлением;
	 плохо размешанный или неправильно состав- ленный проявитель;
	• длительное проявление в слишком холодном
	проявителе.
б) при низкой плотности	• недостаточная проявка;
	• истощенный проявитель;
	• плохо размешанный или неправильно состав-
	ленный проявитель.
2. Чрезмерный контраст,	• недоэкспонирование, компенсированное пере-
отсутствие полутонов	проявкой;
	 плохо перемешанный или неправильно состав- ленный проявитель.

Таблица 1	0.5
-----------	-----

Дефекты снимков	Возможная причина
3. Недостаточная	• недоэкспонирование;
плотность	• недопроявка;
	• истощенный проявитель;
	• плохо перемешанный проявитель.
4. Чрезмерная плотность	• переэкспонирование;
	 перепроявка или повышенная температура про- явителя;
	• неправильно составленный проявитель.
5. Отсутствие четкости	• слишком малое фокусное расстояние;
-	• излучатель или объект не был неподвижен;
	• расстояние от объекта до пленки слишком велико;
	• слишком большой фокус трубки;
	• плохой контакт между пленкой и экранами;
	• экраны с плохим разрешением.
6. Вуаль	• недостаточная светозащита кассеты или под-
-	светка в фотолаборатории;
	• воздействие неактиничного фонаря – слишком
	долго или слишком близко;
	• пленка подверглась облучению;
	• велико рассеянное излучение;
	• истек срок хранения пленки или она хранилась
	в неподходящих условиях ;
	• сильное недоэкспонирование, компенсирован-
	ное перепроявкой;
	• истощенный или плохо разведенный проявитель;
	• загрязнение проявителя;
	• кассета подверглась воздействию тепла.
7. Желтый налет	• истощенный фиксаж;
	• недостаточная промежуточная промывка.
8. Дихроическая вуаль	 проявитель загрязнен фиксажем;
(зеленовато-желтая	• недостаточная промежуточная промывка;
в отраженном свете,	• слипание пленок в фиксаже;
розовая – в проходящем)	• перепроявление в истощенном проявителе.
9. Пятнистая вуаль	 просроченная или неудовлетворительно хра- нившаяся пленка (в сыром помещении).
10. Беловатый налет	• вода, использованная при приготовлении про-
	явителя или фиксажа или при промывке черес-
	чур жесткая;
	• недостаточная промежуточная промывка:
	недостаточная промежуточная промывка;не полностью растворилось проявляющее веще-

Окончание табл. 10.5

Дефекты снимков	Возможная причина
11. Светлые пятна	• прилипание пленок друг к другу или стенкам
	ванны при проявке;
	• плохое состояние экранов;
	• следы пузырьков воздуха при проявлении из-за
	плохого перемешивания;
	• брызги фиксажа на пленке до проявки;
	• плохая промежуточная промывка.
12. Светлые линии	• следы механического воздействия острого пред-
или штрихи	мета или излома пленки до экспонирования.
13. Отпечатки пальцев	• до экспонирования пленку трогали пальцами, ис-
	пачканными жиром, фиксажем, кислотой и т. д.
14. Темные пятна	• капли проявителя или воды попали на пленку
	до проявки;
	• следы электрического разряда в виде «елочки»
	от статического электричества, возникшего
	от трения листов между собой;
	• следы механических повреждений эмульсии по-
	сле экспонирования;
	• результат неравномерной сушки.
15. Темные линии	• царапины на эмульсии после экспонирования;
или штрихи	• механические повреждения острым предметом.

Выводы: так как спектр излучения импульсных аппаратов существенно растянут в области больших длин волн по сравнению с аппаратами непрерывного действия, то это обеспечивает возможность контроля с помощью одного типа аппарата (при одном напряжении на рентгеновской трубке) широкого диапазона толщин просвечиваемого материала.

Так, например, аппарат АРИНА-05-2М может использоваться для контроля стальных изделий толщиной как 2...3 мм, так и изделий толщиной 30...40 мм. Малая средняя мощность излучения импульсных аппаратов требует по возможности применения высокочувствительных рентгеновских пленок и усиливающих экранов. Наилучшая комбинация при этом пленки типа РТ-1, РТ-2 и экраны типа ВП-2. В случае если применение таких пленок и экранов запрещено правилами контроля, нужно постараться использовать пленку Структурикс D8 и экраны RCF.

В крайнем случае, при невозможности использования и той и другой комбинаций, необходимо применять пленку типа Структурикс D7 со свинцовыми усиливающими экранами. Применение же пленок типа Структурикс D4, D5 с аппаратами АРИНА вообще нецелесообразно, так как данные пленки, относясь к классу высококонтрастных, обладают очень низкой чувствительностью.

Высокая контрастность рентгеновской пленки – это всегда ее низкая чувствительность и длительная экспозиция просвечивания, и, наоборот, высокая чувствительность пленки – это низкая контрастность – малая экспозиция, большая просвечиваемая толщина, но худшее качество снимка. Путем оптимального компромисса можно обеспечить длительный ресурс работы аппаратов и минимальную стоимость снимка. Малые размеры фокусного пятна импульсных аппаратов и широкая диаграмма их излучения позволяют работать при сравнительно малых фокусных расстояниях без ухудшения качества снимков (оно не превышает 300...500 мм). Это обстоятельство, в сочетании с высокопроизводительными схемами контроля, в частности, панорамным методом, обеспечивает длительный ресурс работы прибора.

ГЛАВА 11. РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ

11.1. Принципы работы рентгеновского аппарата [119, 130–134]

Рентгеновским аппаратом называют совокупность технических средств, предназначенных для получения и использования рентгеновского излучения. В общем случае рентгеновский аппарат состоит из трех основных частей: рентгеновского излучателя, включающего рентгеновскую трубку, являющуюся высоковольтным электровакуумным прибором, заключенную в защитный кожух; рентгеновского питающего устройства, включающего в свой состав высоковольтный генератор и пульт управления; устройства для применения рентгеновского излучения, служащего для приведения в рабочее положение излучателя [12, 22–24].

Разнообразие конструкций, высокие удельные нагрузки и жесткие условия работы современных промышленных изделий требуют применения соответствующих методов и средств контроля как в процессе их производства, так и при эксплуатации В настоящее время в промышленности для рентгеновского просвечивания материалов, деталей и изделий широко используют аппараты с напряжением 10...400 кВ [6]. Появление новых материалов и конструкций заставляет расширить этот диапазон напряжений. Так, работа с алюминиево-магниевыми сплавами, высокопрочными пластмассами, материалами очень малых толщин (менее 0,5 мм) требует применения рентгеновских аппаратов с напряжением менее 10 кВ. И, наоборот, с появлением крупногабаритных конструкций, толстостенных деталей из специальных сталей и сплавов, включающих значительные добавки тяжелых элементов, появилась необходимость в высоковольтных аппаратах с напряжением свыше 400 кВ, надежных в эксплуатации, с плавной регулировкой напряжения на рентгеновской трубке.

В общем виде рентгеновский аппарат состоит из пульта управления, высоковольтного генератора и рентгеновской трубки в защитном кожухе. В комплект рентгеновского аппарата входят также соединительные кабели. В пульт управления обычно входят автотрансформатор, регуляторы напряжения и тока, измерительные приборы, сигнальная система и система управления. Высоковольтный генератор состоит из высоковольтного трансформатора, трансформатора накала трубки и выпрямителя.

Рассмотрим принципиальную схему простейшего рентгеновского аппарата (рис. 11.1). Питающее напряжение (127, 220 или 380 В) через предохранители $\Pi p1$ и $\Pi p2$ и выключатель сети *BC* поступает на автотрансформатор *AT*. Так как напряжение в сети, как правило, непостоянно (в пределах нескольких вольт), для его выравнивания в цепь автотрансформатора включен корректор грубой регулировки напряжения RT1, позволяющий изменять на несколько вольт напряжение на автотрансформаторе при каждом переключении. Плавная регулировка напряжения производится с помощью реостата R1. Включенный в цепь автотрансформатора вольтметр позволяет контролировать установленное на автотрансформаторе напряжение. Автотрансформатор одновременно служит для регулировки напряжения на рентгеновской трубке PT. для этой цели используют корректор грубой регулировки напряжения $K\Gamma2$. Снимаемое с автотрансформатора напряжение через контакты K1 и K2, реле P поступает на первичную обмотку высоковольтного трансформатора BB Tp. Вторичная обмотка высоковольтного трансформатора RB Tp. Вторичная обмотка высоковольтного трансформатора состоит из двух секций, соединенных последовательно через миллиамперметр mA. Один из выводов миллиамперметра заземлен, что дает возможность установить его непосредственно на пульт управления. Внешние концы высоковольтной обмотки соединены с анодом и катодом рентгеновской трубки.



Рис. 11.1. Принципиальная схема простейшего рентгеновского аппарата

Во вторичной обмотке возникает переменное высокое напряжение, однако ток через рентгеновскую трубку проходит лишь в течение тех полупериодов, когда на анод рентгеновской трубки подано положительное напряжение. Следовательно, генерирование рентгеновского излучения происходит импульсами. Частота этих импульсов равна частоте напряжения сети. В более сложных рентгеновских аппаратах применяют специальные электрические схемы, выпрямляющие напряжение и позволяющие генерировать рентгеновское излучение непрерывно.

Нить накала рентгеновской трубки подключена к вторичной обмотке трансформатора накала *ТрН*. Первичная обмотка трансформатора накала подключена одним концом непосредственно к сети, а другим – через предохранитель *ПрЗ* к переключателю режимов *ПР*.

Переключатель режимов имеет пять положений. В положении 3 цепь накала разомкнута. В положении 5 в цепь накала включается реостат R2. позволяющий плавно изменять ток накала и ток через рентгеновскую трубку. В положении / в цепь накала включается реостат R3, с которого снимаются два фиксированных значения напряжения, и переключатель тока ΠT подключает одно из них в первичную обмотку трансформатора накала. Установка переключателя режимов в положение 2 или 4 замыкает цепь накала. Вследствие этого нить накала рентгеновской трубки разогревается до включения высокого напряжения, для подготовки к включению высокого напряжения переключатель режимов переводится в положение 5. Включение высокого напряжения осуществляется выключателем BB.

При замыкании цепи электромагнитного реле P замыкаются контакты Kl. K2 ~ u ~ K3 при этом в первичную обмотку высоковольтного трансформатора подается напряжение. Включение высокого напряжения можно произвести и переключателем режимов, для этого его надо перевести в положение /. При атом катушка электромагнитного реле P подключается к автотрансформатору через контакты реле времени PB. По истечении установленной на реле времени длительности экспозиции цепь реле Pразмыкается и высокое напряжение выключается. При включении аппарата в сеть зажигается зеленая сигнальная лампа Л1, подключенная к автотрансформатору. При включении высокого напряжения зажигается красная лампа ./72, которая включается через контакт K3.

Выходная мощность рентгеновской трубки определяется эффективным напряжением на ней. которое меньше максимального напряжения. В настоящее время находят применение рентгеновские аппараты, в которых на рентгеновскую трубку подается сглаженное выпрямленное напряжение. В схемах со сглаживанием эффективное напряжение близко или равно максимальному, поэтому такие аппараты имеют максимальную выходную мощность. Применение схемы сглаживания позволяет повысить производительность контроля и получить рентгеновское излучение стабильной интенсивности и с постоянным энергетическим спектром.

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты по напряжению или энергии излучения можно условно разделить на следующие группы: с максимальным напряжением до 100 кВ – для просвечивания изделий из пластмасс, легких сплавов и стали небольшой толщины (0,1...5 мм); с максимальным напряжением 100...400 кВ – для просвечивания изделий из стали в тяжелых сплавов средней толщины (5...130 *мм*); с напряжением 1 и 2 *MB* – для изделий из стали и тяжелых сплавов большой толщины (до 200 *мм* по стали).

Для получения рентгеновского излучения с энергией от 3 до 10 *МэВ* и выше применяют индукционные ускорители электронов – бетатроны.

11.2. Импульсные рентгеновские аппараты [119]

Новым направлением в разработке рентгеновских аппаратов является создание импульсных рентгеновских установок. Физическая основа получения импульсного рентгеновского излучения состоит в следующем. Под действием высокого напряжения в специальной рентгеновской трубке с холодным катодом возникает автоэлектронный ток. В результате этого происходит разогрев и «взрыв» естественных микроострий катода, сопровождающийся образованием облака плазмы, которое движется к аноду трубки с постоянной скоростью. С переднего фронта плазмы отсасывается электронный поток, и, таким образом, все высокое напряжение оказывается приложенным между передним фронтом движущейся плазмы и анодом. В процессе роста анодного тока генерируется рентгеновское излучение. При этом электронным потоком поверхности анода передается мощность, достигающая в импульсе значений порядка 10⁸ и 10¹⁰ ватт. Вследствие этого происходит бурное испарение материала анода, его ионизация и движение анодного факела плазмы заполняет весь межэлектрический промежуток и происходит переход к электрической дуге. Чтобы избежать пробоя рентгеновской трубки, длительность высокого напряжения должна быть менее 1 мкс. Следовательно, трубка должна иметь минимальный межэлектродный зазор, а высоковольтный источник должен обеспечивать крутые фронты импульсов напряжения.

Импульсные рентгеновские аппараты портативны и обладают малой массой, электрическая мощность этих установок небольшая и интенсивность рентгеновского излучения в сотни раз меньше, чем у переносных аппаратов.

11.3. Принцип действия, характеристики и конструктивные особенность импульсных рентгеновских аппаратов

В основе работы импульсного аппарата, как, лежит принцип накопления энергии за сравнительно долгий промежуток времени и последующей ее реализации за более короткий промежуток. Все аппараты, например, серии АРИНА, выполнены по одной принципиальной схеме (рис. 11.2).

При замыкании ключа К предварительно заряженный накопительный конденсатор С1 разряжается через первичную обмотку импульсного трансформатора Тр. При этом во вторичной его обмотке возникает импульс высокого напряжения длительностью порядка 10⁻⁶ с, заряжающий выходную емкость C2 до напряжения 100...200 кВ в зависимости от типа аппарата.



Рис. 11.2. Эквивалентная электрическая схема annapama: C1 – накопитель конденсатор, К – ключ (первичный коммутант), Tp – импульсный трансформатор, C2 – разрядная ёмкость, P – разрядник-обостритель, T – рентгеновская трубка

Разрядник-обостритель Р преобразует энергию, накопленную в емкости С2, в импульс высокого напряжения длительностью 10^{-8} с, который прикладывается к электродам рентгеновской трубки Т.

В аппаратах АРИНА используется не обычная рентгеновская трубка с накальным катодом, а так называемая трубка с взрывной электронной эмиссией. В качестве катода в такой трубке используется вольфрамовая фольга толщиной несколько микрометров.

Под действием импульса высокого напряжения очень короткой длительности (который обеспечивается разрядником-обострителем) кромка вольфрамового катода взрывается, образуется облако плазмы, которая является источником электронов. Далее процесс ускорения электронов и возбуждения рентгеновского излучения протекает так же, как и в классических рентгеновских трубках с накальным катодом.

Таким образом, вместо термоэмиссии – плазменная эмиссия, вместо накаливаемого катода – холодный катод. При этом необходимым и главным условием образования электронной плазмы является короткий импульс высокого напряжения. Рентгенновская трубка В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются 2 типа импульсных рентгеновских трубок. Игольчатая трубки типа ИМА 5-320Д, которая применяется в аппаратах АРИНА-05-2М и АРИНА-3 с максимальным напряжением 320 Кв. В аппарате АРИН А-1 используется трубка прострельного типа ИМ А 2-150Д максимальным напряжением 150 кВ.

Эти рентгеновские трубки имеют существенно меньшие габариты по сравнению с классическими накальными трубками. Объясняется это

тем, что при столь коротких воздействиях высокого напряжения (10⁻⁸ с) длина стеклянного изолятора сокращается в несколько раз по сравнению с изоляторами в трубках с постоянным напряжением. Длина же изолятора и определяет геометрические размеры любой трубки. Условное обозначение накальных рентгенновских трубок. Условное обозначение рентгеновских трубок состоит из следующих элементов:

Первый элемент – округленное число, обозначающее предельную мощность трубки, выраженную в киловаттах; при наличии двух фокусов на разную мощность указывают два числа, разделенные тире. Второй элемент – буква Р или Б обозначает род защиты и условия использования трубки (буква Р – трубка с полной защитой от неиспользуемой части излучения, Б – трубка с неполной защитой или без защиты, предназначенная для работы в защищенном кожухе). Отсутствие букв второго элемента указывает на то, что трубка не имеет защиты при эксплуатации (работает без защитного кожуха). Третий элемент – буква Д, Т, П, С или Х – указывает основную область применения данного типа трубок (Д – для диагностики, Т – для терапии, П – для просвечивания материалов, С – для структурного анализа, Х – для спектрального анализа; в трубках с буквой Д первый элемент условного обозначения – предельная секундная мощность, а в трубках с буквой Т, П, С или Х – предельная продолжительная мощность). Четвертый элемент – буква В, К, или М указывает род охлаждения анода трубки В – водяное охлаждение, К – воздушное охлаждение анодного радиатора (естественное и принудительное), М – масляное охлаждение (естественное и принудительное)]. Отсутствие букв четвертого элемента указывает, что трубки специального охлаждающего приспособления не имеют. Пятый элемент – число, указывающее порядковый номер типа (модели) трубки. Шестой элемент (после тире) - число, определяющее номинальное напряжение анода в киловаттах, или (только для трубок структурного и спектрального анализа) буквы, обозначающие химический состав материала зеркала анода (например, Fe, Cu и т. д.).

Пример условного обозначения рентгеновской трубки с неполной защитой для просвечивания материалов (промышленная дефектоскопия), с принудительным масляным охлаждением с помощью циркулярного устройства для работы в масле в защитном кожухе при напряжении анода до 300 кВ, двухфокусной с предельными продолжительными мощностями 1, 2 и 3 кВт, порядковый номер модель – пятый: рентгеновская трубка 1,2-3БПМ5-300. Разрядник – обостритель Основным элементом высоковольтного блока, определяющей срок службы аппарата является разрядник-обостритель. Он вырабатывает чрезвычайно короткий импульс высокого напряжения,обеспечивающий образование электронной плазмы в районе катдарентгеновской трубки [14].

На рис. 11.3 изображен разрез разрядника-обострителя Р-43, который используется в аппаратах АРИНА-1 и АРИНА-05-2М.



Рис. 11.3. Конструкция разрядника-обострителя: 1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – электроды

Он состоит из стального цилиндрического корпуса 1, керамического изолятора 2 в виде усеченного конуса и двух электродов из тугоплавкого металла 3, один из них припаян к крышке корпуса, другой – к изолятору. Рабочий объем разрядника заполнен техническим водородом или азотом под давлением 30...40 атмосфер. Благодаря столь высокому давлению, при пробое межэлектродного зазора электрический импульс с выхода импульсного трансформатора сокращается по длительности примерно в 100 раз, что и обеспечивает взрыв микроострий катода рентгеновской трубки.

Напряжение срабатывания разрядника-обострителя является рабочим напряжением рентгеновской трубки Поэтому для данного конкретного разрядника оно всегда одно и то же и не может регулироваться.

Амплитуда импульса тока в описываемых аппаратах составляет 500...1000 А при длительности 10...20 нс, а частота следования импульсов составляет 5...20 Гц в зависимости от марки аппарата. Нетрудно вычислить, что средний ток через рентгеновскую трубку при этом находится в пределах 0,1...0,5 мА. Величина среднего тока зависит от амплитуды импульса, его длительности и частоты следования импульсов. В отличие от классических накальных трубок, в трубках с взрывным катодом средний ток, так же как и высокое напряжение, не регулируется и определяется только частотой следования импульсов излучения.

Напряжение срабатывания разрядников – обострителей типа Р-43 находятся в интервале 140...170 кВ. Выбирая разрядник с той или иной величиной напряжения срабатывания в каждом конкретном случае можно наиболее полно соблюсти требования ГОСТ 20426–82 [3] с точки зре-

ния соответствия контролируемой толщины изделия рабочему напряжению трубки. Рабочее напряжение рентгеновской трубки, как уже отмечалось, точно равняется величине напряжения срабатывания разрядника.

В аппарате АРИНА-3 применяется разрядник-обостритель типа Р-49, конструкция которого аналогична конструкции разрядника Р-43, только интервал напряжения срабатывания его лежит в пределах 190...240 кВ. Следовательно, и рентгеновская трубка в аппарате АРИНА-3 работает при более высоких напряжениях по сравнению с аппаратом АРИНА-05-2М. Реальное рабочее напряжение трубки всегда определяется величиной напряжения срабатывания разрядника – обострителя.

Так в аппаратах АРИНА-05-2М и АРИНА-3 используется трубка ИМА 5-320 Д с максимальным напряжением 320 кВ. Рабочее же напряжение ее в аппарате АРИНА-05-2М составляет 160...170 кВ, а в аппарате АРИНА-3 – 200...240 кВ.

Импульсный трансформатор К нему предъявлены следующие требования: Длительность фронта импульса высокого напряжения на его выходе не должна превышать 1 - 2 мкс. При большей ее величине возможен пробой изолятора разрядника-обострителя. Трансформатор должен обладать высоким коэффициентом связи для получения необходимого выходного напряжения при сравнительно небольшом входном напряжении. Трансформатор должен иметь минимальные габариты и массу при высокой электрической прочности. На рис. 11.4 представлена конструкция рентгенновского высоковольтного блока.

Импульсный трансформатор 1, разрядник-обостритель 2 и рентгеновская трубка 3, последовательно соединяясь друг с другом, образуют как бы единый внутренний электрод коаксиала, наружным электродом которого является корпус высоковольтного блока 4.



Рис. 11.4. Конструкция высоковольтного блока: 1 – импульсный трансформатор; 2 – разрядник-обостритель; 3 – рентгеновская трубка; 4 – корпус

Общие сведеия о конструкции рентгенновских аппараиов. Конструкция, показанная на рис. 11.4, обеспечивает минимальные габариты и высокий КПД, как высоковольтного блока, так и всего аппарата в целом. Внутренний объем высоковольтного блока вакуумирован и залит трансформаторным маслом с электрической прочностью порядка 30 кВ/мм.

Помимо элементов, входящих в высоковольтный блок (импульсный трансформатор, разрядник-обостритель, рентгеновская трубка), она содержит ключ К и первичный накопительный конденсатор С.

В качестве ключа в аппаратах АРИНА используется двухэлектродный разрядник, конструктивно похожий на разрядник-обостритель, но заполненный газом при сравнительно низком давлении (не больше нескольких атмосфер). Вследствие этого напряжение срабатывания его составляет 8...10 кВ.

11.4. Современные отечественные рентгеновские аппараты типа рап

Аппараты такого типа состоят из трех блоков (рис. 11.5): излучателя с навесным вентиляторным блоком, блока питания и пульта управления. При работе блоки соединяются между собой электрическими кабелями.



Рис. 11.5. Блок-схема установки

Рентгеновский излучатель (рис. 11.6) состоит из рентгеновской трубки и защитного кожуха, заполненного изолирующей средой (трансформаторное масло).

Трубка состоит из вакуумного полого баллона, изготовленного из стекла и металлокерамики. Трубка со стеклянным баллоном очень чувствительны к тепловым и механическим изменениям. Вакуум в высоковольтной трубке составляет 10⁻⁴ Па. Баллон с металлокерамической трубкой представляет собой металлический цилиндр, закрытый с обеих сторон керамическими дисками.



Рис. 11.6. Рентгеновская трубка: 1 – стеклянный или металлокерамический баллон; 2 – катод; 3 – нить накала; 4 – фокусирующие пластины; 5 – мишень анода

Катодный узел включает в себя вольфрамовую нить накала, закрученную по спирали и фокусирующую систему. Катодный узел создает такое поле, при котором электроны, выходящие из катода, движутся в виде узкого электрического пучка с частотой 50 Гц и током от 1 до 10 А. Ток трубки лежит в диапазоне от 10 мкА до 20 мкА.

Анод изготавливают из материала, обладающего высокой теплопроводностью. Мишень – из вольфрама. Ее располагают плотно в медном аноде.

Поток энергии фотонного пучка:

$$\Phi = k \cdot \mathbf{Z} \cdot U^2 \cdot I_a, \tag{11.1}$$

где Z – атомный номер материала на мишени, U – анодное напряжение, I_a – анодный ток в трубке; k – константа.

В рентгеновских трубках напряжением до 60 кВ только 0,1 % энергии электронного пучка преобразуется в энергию рентгеновских лучей. При напряжении 100 кВ к.п.д. трубки увеличивается до 1 %. При 2 МэВ он достигает 10 %, а при 15 МэВ – более 50 %. Действительное фокусное пятно рентгеновской трубки – участок поверхности мишени, на котором преимущественно тормозится пучок электронов. Если нить накала сделана в виде цилиндрической спирали, то действительное фокусное пятно трубки будет иметь форму прямоугольника. Для получения круглого фокусного пятна вольфрамовую проволоку нити накала свивают в плоскую архимедову спираль. Эффективное фокусное пятно рентгеновской трубки – проекция действительного фокусного пятна в направлении оси рабочего пучка на плоскость, перпендикулярную этой оси. При одинаковых размерах эффективного фокусного пятна прямолинейной и круглой формы площадь линейного может быть значительно больше круглого действительного фокусного пятна.

Мощность рентгеновской трубки – мощность, воспринимаемая анодом рентгеновской трубки. Мощность, приходящая на единицу площади действительного фокусного пятна, для медного анода с мишенью из вольфрама может быть принята равной при длительной непрерывной работе трубки 40...60 и 150...200 Вт/мм² при работе в течение 1 с. Тепло, выделяемое на мишени пучком электронов, должно непрерывно отводиться, иначе может произойти перегрев анода и выход рентгеновской трубки из строя. Для трубок маломощных, либо предназначенных для работы в режиме повторно – кратковременных нагрузок, например диагностические трубки, применяют естественное воздушное или масляное охлаждение с радиатором или без него. В некоторых конструкциях рентгеновского излучателя используют принудительное воздушное охлаждение с помощью радиатора. Радиатор плотно надевается на массивный медный стержень, впаянный в тело анода. Теплоотдача радиаторов в масле более интенсивная, чем на воздухе. Охлаждение анодов мощных современных трубок производится проточной водой или маслом при его принудительной циркуляции. В последнем случае циркулирующее масло охлаждается в свою очередь проточной водой для того, чтобы температура входящего в трубку масла не превышала +60 °С.

По способу охлаждения анода рентгеновские трубки подразделяются на трубки: а) с естественным охлаждением (лучеиспусканием) в диагностических рентгеновских аппаратах с вращающимся анодом, в импульсных рентгеновских аппаратах или с естественным охлаждением радиатора анода; б) с охлаждением радиатора анода путем принудительной циркуляции изолирующей среды моноблока элегаза в аппаратах РАП–160-6H(П), РАП-300-5H(П) и масла в аппаратах РУП-120-5-2 и РУП-200-5-2]; в) с принудительным охлаждением проточной водой (в аппаратах РУП-60-20-1М, РУП-100-10, РУП-150-10, РУП-400-5-1) или маслом с помощью циркулярного устройства в замкнутых системах, которое охлаждается через змеевик проточной водой (в аппаратах РУП-150/300-01).

Блок питания. Условно элементы блока питания можно разделить на две группы: силовую часть, формирующую высоковольтные импульсы и обеспечивающую преобразование относительно большой электрической мощности, и управляющую часть, определяющую в итоге характер преобразования этой мощности. В силовую часть входят: бестрансформаторный управляемый выпрямитель, LC-фильтр, транзисторный и тиристорный ключи, которые коммутируют выходное напряжение фильтра на первичную обмотку импульсного трансформатора, а также коммутационная и защитная аппаратура. Все управляющие функции обеспечивает встроенная в блоке питания микроЭВМ. Пульт управления (на примере аппарата серии РАП). Для обеспечения безопасной работы оператора в полевых условиях аппарат снабжен легким пультом управления и кабелем.

Пульт управления содержит однокристальную ЭВМ, жидкокристаллический дисплей с подсветкой, светодиод индикации излучения, клавиатуру, тумблер аварийного отключения, зуммер и стабилизатор питания + 5 В. Для увеличения помехоустойчивости связь между ЭВМ блока питания и ЭВМ пульта управления осуществляется с помощью оптопар. Для кратковременной нагрузки до 50 кВт, при малых размерах оптического фокуса до 0,3 мм.

11.5. Устройство и работа импульсных рентгеновских Аппаратов

11.5.1. Принцип работы рентгеновского аппарата «АРИНА-02»

Пульт управления рентгеновского аппарата «АРИНА-02» питающийся как от сети, так и от аккумуляторной батареи А2 (рис. 11.7.1), содержит транзисторный преобразователь напряжения.

Принцип работы преобразователя состоит в периодическом накоплении энергии аккумуляторного источника питания в магнитном поле сердечника трансформатора и преобразования её в высокое напряжение при быстром прерывании тока первичного тока силовым транзисторным ключом. Сердечник трансформатора со вторичными обмотками представляет собой генератор тока, от которого происходит периодический подзаряд накопительных конденсаторов рентгеновского блока. Силовой ключ, прерывающий ток первичной обмотки трансформатора, представляет блокинг-генератор на транзисторах V8, V9, работающий в режиме автоколебаний с обратной связью по току. Конструктивно трансформатор ТЗ и выпрямители V11, V12 находятся в залитом трансформаторным маслом герметическом блоке, что обеспечивает высокую надежность изоляции и хороший теплоотвод. С выхода пульта управления высокое напряжение через высоковольтный кабель поступает в блок рентгеновский АЗ и заряжает его накопительные конденсаторы С1...СЗ до напряжения срабатывания коммутирующего разрядника VI. После его срабатывания они разряжаются через первичную обмотку импульсного трансформатора Т. При достижении на его вторичной обмотке напряжения срабатывания разрядника-обострителя V2 последний коммутирует высокое напряжение на рентгеновскую трубку V3.

Амплитуда напряжения рентгеновской трубки составляет (140/170) кВ и определяется напряжением срабатывания разрядника-обострителя. Длительность рентгеновского импульса определяется временем разряда питающей ёмкости через рентгеновскую трубку и составляет 10⁻⁸ с. После окончания рентгеновского импульса процесс заряда повторяется вновь. Частота следования рентгеновских импульсов составляет 8...9 Гц и зависит от величины напряжения питания. Поэтому, при работе от частично разряженной аккумуляторной батареи время экспозиции следует соответствующим образом увеличить.

Конструктивно импульсный трансформатор, разрядник-обостритель и рентгеновская трубка объединены в высоковольтный блок, залитый трансформаторным маслом. Для компенсации его теплового расширения высоковольтный блок снабжён сильфоном. Герметичное крепление рентгеновской трубки осуществляется специальной гайкой. Наружную поверхность рентгеновской трубки от механических повреждений предохраняет защитный колпачок.

В аппарате используется рентгеновская трубка с взрывной эмиссией электронов, не требующая накала и прогрева для подготовки к работе. Напряжение на трубке и ток в ней не регулируются.



Рис. 11.7.1. Принципиальная схема рентгеновских аппаратов АРИНА – 01 и АРИНА – 02:

А1 – блок питания аппарата АРИНА – 01;

A2 – блок питания аппарата АРИНА-02; А3 – высоковольтный рентгеновский блок, имеющий общую конструктивную структуру для обоих аппаратов

В табл. 11.1 представлены основные параметры выпускаемых рентгеновских аппаратов серии «АРИНА».

Таблица 11.1

АРИНА-05-2М АРИНА-1 Параметр АРИНА-3 АРИНА-4 АРИНА-5 Диапазон 150...170 250 160 220 100...160 анодного напряжения, кВ Размер фокусного Ø 2 Ø 2,5...3 Ø 2 Ø 2 Ø 2 пятна, мм Максимальня толшина 40 50 40 40 40 просвечивания стали, мм 420×180×120 Габариты: Излучатель 100×220×430 100×220×460 120×140×550 Пульт 90×240×260 90×240×260 120×320×330 управления Масса блока, кг: • моноблок 6.5 12 • излучатель 5,5 6,5 7,5 • пульт 4,5 5 4,5 управления

Параметры рентгеновских аппаратов серии АРИНА

11.5.2. Принцип работы рентгеновского аппарата «МИРА-2Д»

Пульт управления рентгеновского аппарата «МИРА–2Д» питающийся от сети A1 (рис. 11.7.2), включает в себя повышающий силовой трансформатор T1 и диодно-емкостный удвоитель напряжения Cl, C2, V3...V6. Принцип действия аппарата основан на явлении вспышки рентгеновского излучения в двухэлектродной рентгеновской трубке с холодным катодом под действием короткого импульса высокого напряжения, формируемого с помощью малогабаритного высоковольтного генератора. Основные технические преимущества: Аппарат «МИРА-2Д» по ряду технических параметров превосходит рентгеновские дефектоскопы как непрерывного так и импульсного действия. Аппарат отличается чрезвычайно малыми габаритами и весом. Мощность, потребляемая аппаратом, незначительная. Высокая частота следования вспышек резко сокращает экспозицию при просвечивании. Для работы с аппаратом не требуется никаких подготовительных и настроечных операций, а для производства снимка достаточно 1 минуты. Принцип действия заключается в следующем. Под действием короткого импульса высокого напряжения, формируемого с помощью разрядникаобострителя V9 и катушки индуктивности L, возникает вспышка рентгеновского излучения в двухэлектродной трубке с холодным катодом V10.

Напряжение на разрядник-обостритель V9 поступает со вторичной обмотки импульсного трансформатора T2 в момент разряда накопительных конденсаторов C4-C6 через его первичную обмотку и первичный разрядник V8. Заряжаются конденсаторы C4-C6 с помощью несимметричной схемы удвоения напряжения C1, C2, V2-V7 и зарядного трансформатора T1, повышающего напряжение питающей сети до 5 кВ. Схемой удвоения это напряжение увеличивается до 8...9 кВ, после чего происходит пробой разрядника V8. В результате во вторичной обмотке трансформатора T2 возникает импульс отрицательной полярности длительностью порядка 2...3 мкс с амплитудой 200 кВ. Разрядник-обостритель V9 преобразует этот импульс длительностью равной 10...8 с, который подается на катод рентгеновской трубки.



Рис. 11.7.2. Принципиальная схема рентгеновских аппаратов МИРА–2Д:

11.5.3. Принцип работы рентгеновского аппарата «ПИОН»

Аппарат состоит из двух основных частей: рентгеновского блока, являющегося источником рентгеновского излучения, и портативного ручного пульта управления с кабелем длиной 15 м, который позволяет оператору находиться в безопасной зоне. Рентгеновский излучатель аппарата «ПИОН» конструктивно аналогичен рентгеновскому излучателю «МИРА–2Д». На рис. 11.8 представлена структурная схема рентгеновского аппарата «ПИОН». На рис. 11.9 представлен рентгеновский блок. Рентгеновский блок состоит из высоковольтного блока, включающего в себя рентгеновскую трубку с взрывной электронной эмиссией, разрядник-обостритель и импульсный трансформатор. Все элементы высоковольтного блока находятся в трансформаторном масле.



Рис. 11.8. Структурная схема рентгеновского аппарата «ПИОН»: 1 – аккумуляторные батареи; 2 – преобразователь напряжения; пульт управления; 4 – низковольтный (8...10 кВ) коммутатор; 5 – высоковольтный трансформатор; 6 – обостритель; 7 – рентгеновская трубка; 8 – схема сигнализации

Отличие состоит в высоковольтном блоке-формирователе предварительного высокого напряжения, который создает напряжение порядка 10...12 кВ рентгеновского излучателя. В основе блокана ВХОД формирователя имеется генератор выполненный на транзисторах Т1 и Т2 (КТ809). Генерирующие коллекторные индуктивности L1 и L2 входят в первый трансформатор (TP1), а L3 и L4 в TP2.Индуктивность L5 предназначена для создания положительной обратной связи. Генерируемое напряжение порядка 24 В повышается до 5...6 кВ на обмотках L6 и L7. Создаваемое напряжение на каждой обмотке L6 и L7 выпрямляется диодными мостами Д1 и Д2. Выпрямленное напряжение суммируется последовательным включением мостов Д1 и Д2. Суммарное напряжение поступает на вход рентгеновского излучателя. Реле 1Р предназначено для создания генерации и подсоединения эмитторов T1 иT2 к общему выводу (-) минус. Экспозиция дозы создается с помощью кнопки «Пуск» и секундомера. При нажатии пуска срабатывает реле 1Р, контакты 1К1 и 1К2 замыкаются, эмитторы транзисторов T1 и T2 подсоединяются к общему выводу (-). Тумблер «Вкл» предназначен для подготовки генератора к работе. На вторичной обмотке возникает импульс отрицательной полярности, на фронте которого происходит пробой разрядника-обострителя. В результате чего на катоде рентгеновской трубки возникает пик напряжения длительностью порядка наносекунд, что приводит к плазменному взрыву в трубке, сопровождающемуся вспышкой рентгеновского излучения. Частота следования рентгеновских вспышек составляет 5...6 Гц. В зависимости от толщины просвечиваемого материала время экспозиции задаётся секундомером при помощи пульта управления. На рисунке представлена структурная схема рентгеновского аппарата «ПИОН» на рис. 11.9 конструкция высоковольтного блока, на рис. 11.10 его принципиальная схема.







Рис. 11.10. Принципиальная схема рентгеновского аппарата «ПИОН»

11.6. Принцип работы частотно-ипульсного рентгеновского аппарата серии РАП

Для решения задач, поставленных в радиационном контроле, оптимальным является применение мощных портативных моноблочных аппаратов па рентгеновских трубках с накальным катодом. Масса и габариты двух основных блоков таких аппаратов – моноблока (излучателя) и силового пульта питания и управления – позволяют достаточно легко переносить их и устанавливать моноблок в необходимую позицию с помощью легких штативов или кронштейнов.

Типичные размеры фокусных пятен серийных рентгеновских трубок с накальным катодом, используемых в портативных аппаратах, составляют 1...2 мм, что обеспечивает разрешающую способность, вполне достаточную для большинства задач неразрушающего рентгеновского контроля. Импульсная схема силового питания рентгеновской трубки: па электроды трубки с главного трансформатора подаются силовые высоковольтные импульсы длительностью 100...400 мкс и частотой до 1 кГц. Форма импульсов приближена к прямоугольной с длительностью фронтов 20...25 %. Такая схема позволила решить ряд противоречивых задач.

Работа трансформатора в импульсном режиме в отличие от полуволновой схемы дает возможность получать ЭДС до 20 В/виток и, следовательно, конструировать обмотки с относительно малым количеством витков, а также использовать сердечники небольшого сечения. Кроме этого, полное перемагничивание сердечника трансформатора позволяет еще существеннее уменьшить сечение. В результате получается очень компактный высоковольтный трансформатор.

Габариты моноблока с масляной изоляцией аппарата РАП220-5 составляют 220×380×400 мм при массе 29,5 кг, а например, у моноблока аппарата «Smart 225» на 225 кВ (Yxlon) с газоном изоляцией эти параметры соответственно 790×ø295 мм и 27,8 кг. Блок питания и управления у РАП220-5 почти вдвое легче, чем у «Smart 225» (6,3 кг против 11,3 кг). При этом в моноблоке РАП 220-5, как и в других моноблоках этой серии, предусмотрено прямое повышение напряжения на главном трансформаторе и отсутствуют применяемые в моноблоках со схемой умножения напряжения полупроводниковые элементы, чувствительные к радиации.

Режим питания рентгеновской трубки весьма благоприятен для долговечности. На трубку подаются высоковольтные импульсы, имеющие скважность 6...8. Во время паузы сердечник трансформатора перемагничивается. Амплитуда импульса перемагничивания составляет 20...25 % рабочей амплитуды, поэтому трубка длительное время «отдыхает» – рассасываются вылетающие с анода вторичные электроны и ио-

ны газа, которые могут выделяться из элементов конструкции трубки. В результате фактический срок службы трубки возрастает. Так, на ряде предприятий трубки отработали более 10 000 ч вместо гарантийных по паспорту 500 ч. Это привело к решению отказаться от конструкции, позволяющей потребителю самостоятельно менять трубку, в пользу более надежной конструкции. Кроме того, замена трубки изготовителей гарантирует качество заливаемого масла, что не всегда возможно при самостоятельной замене масла потребителем.

В качестве изолирующей среды было выбрано масло, а не элегаз, поскольку рентгеновские моноблоки заполняются элегазом под давлением около 0,5 МПа т. е. обращаться с таким аппаратом помимо прочих ограничений надо по правилам работы с сосудами под давлением. В реальной жизни при работе, например, на стапелях или в поле при попытке закрепить моноблок возле детали сложной конфигурации его нередко роняют, что недопустимо при работе с сосудами под давлением.

Простота конструкции аппаратов обеспечивает очень высокую надежность их работы.

В табл. 11.2 представлены основные параметры выпускаемых частотно-импульсных аппаратов серии РАП.

Каждый тип аппарата имеет широкий диапазон регулировки анодного напряжения и тока, что позволяет одним аппаратом контролировать различные по плотности материалы и в большом диапазоне толщин. Регулирование анодного напряжения на трубке осуществляется за счет изменения напряжения питания ключевого преобразователя. Для получения регулируемого постоянного напряжения в аппарате используется широтно-импульсный модулятор. Регулирование анодного тока в аппарате может производиться за счет изменения частоты следования высоковольтных импульсов или изменением напряжения накала катода рентгеновской трубки.

Излучатель содержит рентгеновскую трубку, высоковольтный импульсный трансформатор, схему рекуперации реактивной энергии, накапливаемой к концу импульса в трансформаторе, высоковольтный трансформатор накала, ограничитель напряжения измерительной цепи тока трубки при ее пробоях, датчик температуры, а также электродвигатель с крыльчаткой для прокачки масла.

Полное напряжение на рентгеновской трубке складывается из двух примерно одинаковых по форме импульсных напряжений, формируемых анодной и катодной катушками. Эти катушки расположены на разных кернах одного магнитопровода и содержат первичные обмотки, обмотки рекуперации, измерительные обмотки и высоковольтные обмотки.

2
Ща
бли
Ta

Технические характеристики частотно импульсных аппаратов серии РАП

Jan anna mura	muncharian		num vionoordanie	upunco cepun		
Параметр	РАП 90-5	РАП 100-10	РАП 100П-10	РАП 160-5	РАП 220-5	РАП 300-5
	3090	10100	10100	40160	50220	70300
диапазон анодного напряжения, кр	через 1кВ	через 1 кВ	через 1 кВ	через 1 кВ	через 1 кВ	через 1 кВ
	0,25	0, 310	0,510	0, 45	0,35	$0,7\ldots 5$
дианазон анодного тока, мы	через 0,1 мА	через 0,1 мА	через 0,1 мА	через 0,1 мА	через 0,1 мА	через 0,1 мА
Максимальная мощность, кВт	0,36	1,0	1,0	0,6	1,1	1,2
			Трапеция:			
Desired desirence manuel	C 1 × C 1	1 1~1 1	BBICOTA-1,26	$1 \gamma < 1 \gamma$		2 C~2 C
	7,1~2,1	1,4^1,4	средняя	1,2~1,4	<i>4</i> ,0^4,0	し、ユベリ、ユ
			линия-40			
Просвечивающая способность						
для стали (FFD = 700 мм; D7(Pb);	4	8	8	19	35	50
$D = 2,0; t_{3kc} = 5 MUH.), MM$						
Диапазон толщин для стали,						
при которых относительная	х С	o r	0 (3 70	A 37	5 55
чувствительность лучше 2 % (при	<i>د</i> ک	۶···۰	07	070	++	<i></i>
FFD = 700 MM; D7(Pb); D = 2,0), MM						
Длинна соединительных кабелей, м:						
Блок питания – моноблок	7	7	7	7	7	7
Блок питания – пульт управления	2050	2050	2050	2050	2050	2050
Масса блока,кг:						
• моноблок	4,7	10,3	10,3	16	30	40
• блок питания	5,4	7,6	7,6	6,3	7,6	7,6
• пульт управления	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Срок годности аппарата, год	1		1	1	1	1

После формирования прямой волны за счет ЭДС самоиндукции трансформатора напряжение на всех его обмотках меняет свой знак. Когда напряжение на обмотке рекуперации станет равным напряжению на фильтровой емкости управляемого выпрямителя, начнется передача реактивной энергии трансформатора обратно в источник питания. В течение всего процесса передачи энергии, напряжение во всех обмотках поддерживается постоянным, таким образом, формируется обратная волна напряжения. Соотношение амплитуд прямой и обратной волны определяется числами витков первичной обмотки и обмотки рекуперации. Они выбраны так, что обратная волна существенно меньше прямой, что облегчает режим работы рентгеновской трубки.

Датчик температуры расположен вблизи от анода в потоке масла, отводимом от анода трубки. Схема термозащиты настроена таким образом, что, если температура масла превысит 60 °C, подача высоковольтных импульсов на трубку прекращается. Возможность повторного включения аппарата восстанавливается после того, как температура снизится до 40 °C.

МикроЭВМ выполняет следующие основные функции: реализует выбранный режим работы; обеспечивает плавный подъем высокого напряжения до установленного уровня дает возможность регулировать и стабилизировать высокое напряжение и анодный ток в широких пределах; подает управляющие импульсы требуемой длительности, фазы и частоты на формирователи запуска силовых элементов; прекращает работу блока первичного напряжения и ключей, если импульсный ток трубки, высокое напряжение и ток силового транзистора превысят максимально-допустимые значения; прекращает работу силовой части если напряжение накала выйдет за заданные пределы или напряжение на фильтровой емкости превысит 250 В. отключает силовую часть, если температура масла в излучателе станет больше + 60 °C и дает разрешение на включение, когда она снизится до + 40 °C;

Универсальные для всех типов аппаратов графики экспозиции для стали приведены на рис. 11.11.

Поскольку частота импульсов составляет несколько сот герц, то аппараты хорошо работают в составе рентгенотелевизионных интроскопов, практически нисколько не уступая аппаратам постоянного потенциала.

В сканирующих системах с детекторными линейками импульсный характер излучения с интенсивностью в импульсе в 6...8 раз выше средней, что обусловливает более легкое временное выделение полезного сигнала и повышение отношения сигнал/шум.

Простота конструкции, отсутствие дорогостоящих комплектующих, кроме рентгеновской трубки, позволяют снизить цену частотноимпульсных аппаратов. Аппараты серии РАП на 20...30 % дешевле других типов отечественных аппаратов и стоят в 1,8...2 раза меньше импортных с аналогичными параметрами.



Рис. 11.11. График экспозиции для стали для всех аппаратов РАП бо В (оредняя пиния)



Рис. 11.12 Импульс высокого напряжения с контрольного гнезда Ua блока питания. РАП-160: Ua=120 кB, Ia=2 мА

Легкие аппараты на относительно низкие напряжения широко используются спецслужбами, а также техническими службами аэропортов. Основными потребителями аппаратов с напряжениями 220 кВ и выше являются машиностроительные предприятия. Аппараты с диапазоном напряжений 10...100 кВ применяются для экспертизы картин и других художественных ценностей. Аппарат может работать без вентеляторного блока, но при этом значительно возрастают перерывы между рабочими циклами.

11.7. Рентгеновские аппараты зарубежных фирм

Ведущие зарубежные фирмы в области электроаппарата и электроприборостроения Siemens, Seifert (ФРГ), Picker (США), Pantak и Philips Electrical (Англия), Toshiba (Япония) за последние годы расширяют производство рентгеновской аппаратуры для промышленного просвечивания как по объему производства, так и по количеству новых типов аппаратуры, обеспечивающей возможность высококачественного и высокопроизводительного рентгеновского контроля самых разнообразных материалов и изделий.
ГЛАВА 12. НАЦИОНАЛЬНЫЕ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ. МЕТРОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

12.1. Задачи стандартизации

Стандартизация и метрология в неразрушающем контроле. Система нормативных документов по неразрушающему контролю [14, 61–71]. Состояние и развитие неразрушающих методов контроля качества продукции является одним из важнейших факторов выпуска конкурентоспособной продукции с заведомо необходимыми характеристиками качества и надёжности. Особенно актуальным это становится при внедрении наукоёмких технологических процессов или в период, когда требуется увеличение срока безопасной эксплуатации машин, механизмов и материалов. Ввиду того, что средства неразрушающего контроля, как правило, являются многофункциональными и многопараметровыми, применение их требует решение трёх основных задач, чтобы обеспечить требуемую достоверность, точность, единообразие и, как следствие, получение наибольшего эффекта от их использования.

Этими задачами являются: разработка минимального, но достаточного количества нормативной документации по неразрушающему контролю, учитывающий его состояние и развитие. Наличие современных средств неразрушающего контроля, имеющих необходимые технические и метрологические характеристики, позволяющие выделять, обрабатывать и регистрировать полезный информативный сигнал о качественных характеристиках контролируемой продукции или материала. Компетентность операторов (дефектоскопистов), определяющих вид, метод контроля, разрабатывающих технологические карты контроля и делающих окончательное заключение о дефектности продукции, изделий и сроках их пригодности к дальнейшей эксплуатации.

В прошлом в СССР уделялось большое внимание наличию нормативной документации (на уровне государственных и отраслевых стандартов) на методы и средства контроля по видам, согласно ГОСТ 18353–79 (в котором указываются принципы и методы определения корреляционных связей между контролируемыми характеристиками качества информативными сигналами проникающего поля или вещества заложенного в основу контроля). Этими вопросами занимались ведущие академические и отраслевые институты такие как: ИФМ АН СССР, ИПФ АН БССР, сварки им. Патона, ВНИИНК, ЦНИИТМАШ, ВИАМ, ВНИИФТРИ, ВНИИЖТ, НИИСП Госстроя СССР, УкрНИИ-мет, НИИН Минприбора, НИАТ ГОИ им. Вавилова и многие другие. Централизация управления развитием экономики, существование и реализация «Комплексных межотраслевых программ развития неразрушающего контроля» позволили выработать стройную систему государственных стандартов в области контроля качества продукции и материалов с использованием неразрушающих методов. Такие документы могут служить основой для разработки ведомственных инструкций, руководящих документов, указаний, методик, технологических карт контроля или стандартов предприятия разрабатываемых технологами или дефектоскопистами 2 и 3 уровня. Существование таких документов служит надёжной основной взаимопризнания результатов неразрушающего контроля, проведённого предприятиями различной ведомственной подчинённости.

К такому принципу построения и классификации подошли в настоящее время и экономически развитые страны мира. Делая анализ разработанных и действующих НТД в области неразрушающего контроля можно заметить, что в основном они разработаны более 15...20 лет назад и требует пересмотра, а именно: они должны быть национальными; учитывать современное состояние электроники и информатики; иметь единый подход к терминологии; учитывать современный принцип подготовки дефектоскопистов; иметь единый подход в части требований к стандартным образцам, применяемых в дефектоскопии, должны быть состыкованы с нормативными документами ведущих экономически развитых стран; должны быть ориентированы на развитие отечественного приборостроения.

12.2. Национальные стандарты

Наиболее важные из национальных стандартов в области неразрушающего радиационного контроля представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

ГОСТ 24034-80	Контроль неразрушающий радиационный. Термины
100124034-00	и определения
FOCT 20426 82	Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии
1 0C1 20420-62	радиационные. Область применения
ГОСТ 7512–82	Контроль неразрушающий. Сварные соединения.
	Радиографический метод
ГОСТ 23055–78	Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением.
	Классификация сварных соединений по результатам
	радиографического контроля

Стандарты России

ГОСТ 15843–79	Принадлежности для промышленной радиографии. Основные параметры
ГОСТ 25541–82	Электрорадиография. Термины и определения
ГОСТ 28277–89	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Электрорадиографический метод. Общие требования
ГОСТ 18061–90	Толщиномеры радиоизотопные. Общие технические условия
ГОСТ 16950-81	Техника радиационно-защитная, термины и определения
ГОСТ 220914–86	Приборы рентгеновские. Методы измерения напряжения рентгеновской трубки
ГОСТ 220919–86	Приборы рентгеновские. Методы измерения размеров эффективного фокусного пятна
ГОСТ 23764–79	Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия
ГОСТ 25 И 3-86	Контроль неразрушающий. Аппараты рентгеновские для промышленной дефектоскопии. Общие технические условия
ГОСТ 27947–88	Контроль неразрушающий. Рентгенотелевизионный метод. Общие требования
ГОСТ 29052–91	Контроль неразрушающий. Дефектоскопы рентгенотелевизионные с РЭОПами и электрорентгенографические. Общие технические требования
ГОСТ 20337–74	Приборы рентгеновские. Термины и определения
ГОСТ 25113–86*	Аппараты рентгеновские для промышленной дефектоскопии
ГОСТ 2601-84*	Сварка металлов
ГОСТ 18061–90	Толщиномеры радиоизотопные
ГОСТ 8.452–82	Приборы рентгенорадиометрические
ГОСТ 26114-84*	Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц
ГОСТ 3242–79	Соединения сварные (методы контроля качества)
ГОСТ 14098–91	Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций
ГОСТ 26114–84	Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц. Основные параметры и общие технические требования
ГОСТ 29025–91	Дефектоскопы рентгенотелевизионные с рентгеновскими электронно-оптическими преобразователями электрорентгенографические
ГОСТ 25935–83	Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров

Классификация нормативных документов по средствам неразрушающего контроля также представлена ниже: Виды неразрушающего радиационного контроля представлена в ГОСТ 18353–79. По назначению приборов НК, РК подразделяется на дефектоскопы, структуроскопы, толщиномеры, толщиномеры покрытий, плотномеры, уровнемеры, преобразователи, стандартные образцы.

По параметрам и техническим характеристикам НТД представлены в виде: Дефектоскопы: ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия; ГОСТ 25113-86. К.Н. Аппараты рентгеновские для промышленной дефектоскопии. Общие технические условия; ГОСТ 29025-91. К.Н. Дефектоскопы рентгентелевизионные с рентгеновскими электронно-оптическими преобразователями и электрорентгенографические. Общие технические требования; ГОСТ 26114-84. К.Н. Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц. Основные параметры и общие технические требования; ГОСТ 16759-79. Гамма-дефектоскопы. Термины и определения. Общие технические требования. Основные параметры; ГОСТ 14336-87. Приборы радиоизотопные. Термины и определения. Правила построения наименований. Толщиномеры: ГОСТ 18061-90. Толщиномеры радиоизотопные для листовых ленточных материалов. Общие технические требования. Толщиномеры покрытий: ГОСТ 25555-77. Толщиномеры радиоизотопные металлических и неметаллических покрытий. Общие технические требования; ГОСТ 25556-77. Толщиномеры радиоизотопные металлических и неметаллических покрытий. Типы и основные параметры. Плотномеры: ГОСТ 22319-77. Плотномеры радиоизотопные бетонов и грунтов переносные. Общие технические требования; ГОСТ 20180-91. Плотномеры радиоизотопные жидких сред и пульп. Общие технические условия. Уровнемеры: ГОСТ 21794-90; ГОСТ 19718-74. Уровнемеры радиоизотопные измерительные. Типы и основные параметры. Преобразователи: ГОСТы 16001-16004-70; ГОСТ 22987-78. Устройства сканирующие для радиоизотопных толщиномеров. Типы, основные параметры и размеры; ДСТУ 3232-95; ГСИ. СО. Основные положения. Порядок разработки, аттестации, утверждения, регистрации и применения. Стандартные образцы: ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Радиографический метод.

По методам приемки и испытаний НТД представлены в виде:

Дефектоскопы: ГОСТы 22091.0–22091.10–84; Тпр.79-83 Тпр.109-85. Толщиномеры: ГОСТ 18170–83. Толщиномеры покрытий: Тпр.94-83.

По методам и средствам поверки НТД представлены в виде:

Дефектоскопы: МИ 821-85. Толщиномеры: ГОСТ 8.112–74. Толщиномеры покрытий: МИ 942-85; МИ 57-75. Стандартные образцы: МИ 564-84; МИ 1926-88; МИ 861-85.

12.3. Международные, региональные и национальные (сша) организации по стандартизации неразрушающего контроля

Рассмотрим информацию об организациях, стандарты которых имеют самое широкое распространение в мире по неразрушающему контролю и приняты целым рядом предприятий развитых стран мира.

Международная организация по стандартизации (ISO) является мировой федерацией национальных организаций по стандартизации. Около 100 стран, по одной организации от каждой страны, представлены в ISO. Эта неправительственная организация была создана в 1947 г. с целью развития стандартизации и соответствующей деятельности во всем мире. В качестве названия «ISO» взяты первые три буквы греческого слова ISOS, означающего «равный». Техническая работа ISO осуществляется 2700 техническими комитетами, подкомитетами и рабочими группами. Главная ответственность за управление работой комитета ложится на одну из национальных организаций по стандартизации – AFNOR (Франция), ANSI (США), BSI (Великобритания), DIN (Германия) и т. д.

Стандарты ISO учитывают точки зрения всех заинтересованных сторон, содержат решения, удовлетворяющие как изготовителей продукции, так и ее потребителей, а их использование основано на доброй воле покупателей и продавцов продукции.

Стандарты, разработанные в рамках технического комитета ISO TC 135 «Неразрушающий контроль», распространяются: на термины; на методы контроля; на технические характеристики оборудования НК и вспомогательной аппаратуры; в этих стандартах не рассматривается: качество изделий (стандартизацией качества занимаются другие комитеты ISO); технические характеристики электрического оборудования НК (за это несет ответственность Международная электротехническая организация МЭК). ТС 135 несет ответственность за 32 стандарта, включая проекты стандартов (DIS).

ISO в своей работе по неразрушающему контролю взаимодействует с Международным институтом сварки (IIW) и Европейским комитетом по стандартизации (CEN).

Международный институт сварки (UW) был основан в 1948 г. с целью развития международного сотрудничества по сварке. Институт способствует развитию сварочных процессов, обмену научнотехнической информацией по исследованиям в области сварки и оказывает помощь ISO в разработке международных стандартов по сварке.

Комиссия, этого института решает проблемы качества сварки, в том числе и с использованием методов неразрушающего контроля.

Участие в работе этой комиссии позволяет специалистам получить быстрый доступ к разработке стандартов по контролю качества сварки до того, как ISO разошлет проект стандарта группам советников в различных странах.

Европейский комитет по стандартизации (CEN). Членами CEN являются национальные организации по стандартизации Бельгии, Дании, Германии, Финляндии, Франции, Греции, Ирландии, Исландии, Италии, Люксембурга, Нидерландов, Норвегии, Австрии, Португалии, Швеции, Швейцарии, Испании и Великобритании.

Американские общества по испытаниям материалов {ASTM) и инженеров-механиков (ASME). Нормы ASTM, разработанные в комитете E-7, – с упором на регламентацию методов контроля и интерпретацию его результатов, и нормы ASME (части V и VIII) – с упором на качество производства сосудов высокого давления и сварочных работ, широко используются в мире как изготовителями продукции, так и покупателями.

Стандарты, созданные в комитете Е-7, включены в том 3.03 «Неразрушающий контроль» – ежегодный сборник стандартов ASTM. В настоящее время этот том содержит 129 стандартов.

12.3.1. Предметный указатель стандартов ISO и CEN

Таблица 12.2

Предмет	Стандарты ISO	Проекты ISO	Стандарты ЕN	Проекты pr EN
Терминология	ISO 5576		EN 1330-3	
Основные положения	ISO 5579		EN 444	
Пленка	ISO 11699 ISO 7004 ISO 5655	CD 7004	EN 584-1/2	
Качество изображения	ISO 2504	CD 2504	EN 462-1 ч5	
Излучатели	ISO 5580		EN 25580	
Рентгеновские трубки				EN 12543 EN 12544
Гамма-источники	ISO 3999-1			EN 12579
Контроль сварных соединений	ISO 12096 ISO 1106	DIS 17636 CD 2437 DIS 17635	EN 1435 EN 12062	
Приемка сварных соединений		NP	EN 12517	
Литье	ISO 4993 ISO 9915			prEN 12681

Предметный указатель стандартов ISO и CEN

Окончание табл. 12.2

Предмет	Стандарты ISO	Проекты ISO	Стандарты ЕN	Проекты pr EN
Нейтронная	ISO 11537			
радиография	ISO 12721			
Радиоскопия				EN 13068
Компьютерная томография		DIS 15708-1/2		
Сертификация персонала	ISO 9712	DIS9712	EN 473	

12.3.2. Стандарты и проекты ISO по радиографии

Таблица 12.3

Стандарты и проекты ISO по радиографии

	ISO/TC 17 Сталь	
ISO 4993	Стальное литье – Радиографический контроль	
ISO 11/8/	Стальные трубы высокого давления – Квалификация	
150 11404	и сертификация персонала НК	
	Погружаемые стальные трубы высокого давления	
ISO 12096	с электродуговыми швами – Радиографический контроль	
	сварного шва для поиска дефектов	
	ISO/TC 42 Фотография	
ISO 5655	Фотография – Размеры пленки – Промышленная радиография	
	Фотография – Промышленная радиографическая пленка –	
ISO 7004	Определение скорости ISO и среднего градиента	
	при рентгеновском и гамма-облучении	
FDIS 7004	Фотография – Промышленная радиографическая пленка –	
	Определение скорости ISO, среднего градиента ISO	
FDIS /004	и градиентов ISO G2 и G4 при рентгеновском	
	и гамма-облучении (Замена ISO 7004:1987)	
ISO/TC 44 Сварка и процессы соединения		
	Рекомендуемая процедура радиографического контроля	
ISO 1106-1	сплавных сварных соединений – Часгь 1: Сплавные сварные	
	стыки в стальных листах толщиной до 50 мм	
150 1106 2	То же – Часть 2: Сплавные сварные стыки в стальных листах	
150 1100-2	толщиной от 50 до 200 мм	
150 1106 2	То же – Часть 3: Сплавные сварные периферические	
150 1100-5	соединения в стальных трубах с толщиной стенки до 50 мм	
	Радиография и обзор требований к пленкам –	
ISO 2504	Использование рекомендуемых образцов индикаторов	
	качества изображения (IQI)	

DIS 17636	НК сварных швов – Радиографический контроль сварных соелинений (EN 1435)
NPO	То же – Уровни браковки (EN 12517)
DIS 17635	НК сварных швов – Общие положения для металлических материалов (EN 12062)
ISO 2437	Рекомендуемая процедура рентгеновского контроля сплавных сварных соединений алюминия и его сплавов и магния и его сплавов толщиной от 5 до 50 мм (Замена ISO 2437:1972)
	ISO/TC 79 Легкие металлы и их сплавы
ISO 9915	Литье алюминиевых сплавов – Радиография
	ISO/TC 85 Ядерная энергия
ISO 3999-1	Радиационная защита: Аппараты для промышленной гамма-радиографии – Часть 1: Конструкционные характеристики и средства
ISO 3999-2	То же – Часть 2: Самодвижущиеся внутритрубные аппараты
ISO 3999-3	То же – Часть 3: Использование под водой
	ISO/TC 135 HK. SC 5 Радиационные методы
ISO 5576	НК – Промышленная рентгеновская и гамма-радиология – Терминология (идентичен EN 1330-3)
ISO 5579	НК – Радиографический контроль металлических материалов рентгеновским и гамма-излучением – Основные положения
	ISO/TC 135 НК. SC 5 Радиационные методы
ISO 5580	НК – Промышленные радиографические излучатели – Минимальные требования (идентичен EN 25580)
ISO 11537	НК – Радиографический контроль тепловыми нейтронами – Общие принципы и положения
ISO 11699-1	НК – Промышленные радиографические пленки – Часть 1: Классификация пленочных систем для промышленной радиографии (аналог EN 584-1)
ISO 11699-2	То же – Часть 2: Контроль обработки пленки по опорным значениям (аналог EN 584-2)
ISO 12721	НК – Радиографический контроль тепловыми нейтронами – Определение отношения L/D пучка
WI 12722	То же – Определение качества изображения
DIS 15708-1	НК – Радиационные методы – Компьютерная томография – Принципы
DIS 15708-2	То же – Процедура контроля
	SC 7. Квалификация персонала
ISO 9712	НК – Квалификация и сертификация персонала (замена ISO 9712:1992, аналог EN 473)

12.3.3. Стандарты (EN) и проекты стандартов (PR EN) по радиографии (по состоянию на июнь 2001 г.)

Таблица 12.4

Стандарты (EN) и проекты стандартов (PR EN) по радиографии

Рабочий (WI) или EN номер	Название
	CEN/TC 138 «HK»
EN473	Квалификация – сертификация персонала НК – Общие положения
46	НК – Положения об условиях экзаменов по сертификации (уровни 1 и 2)
EN 1330-1	НК – Терминология – Часть 1: Основные термины
EN 1330-2	То же – Часть 2: Общие термины для методов НК
	CEN/TC 138/WG 1 «НК, радиационные методы»
EN444	Радиационная защита: Аппараты для промышленной гамма-радиографии – Часть 1: Конструкционные характеристики и средства
EN 462-1	 НК – Качество радиографического изображения – Часть 1: Изображение, индикаторы качества изображения (проволочного типа), определение значения качества изображения
EN 462-2	То же – Часть 2: Индикаторы качества изображения (типа ступенька-отверстие), определение значения качества изображения
EN 462-3	То же – Часть 3: Классификация качества изображения для ферритных металлов
EN 462-4	То же – Часть 4: Экспериментальная оценка значения качества изображения и таблицы качества изображения
EN 462-5	То же – Часть 5: Индикаторы качества изображения (типа двойных проволочек), определение суммарного значения нерезкости изображения
EN 584-1	Промышленная радиографическая пленка – Часть 1: Классификация пленочных систем для промышленной радиографии
EN 584-2	То же – Часть 2: Контроль обработки пленки по опорным значениям
EN 1330-3	НК – Терминология – Часть 3: Термины, используемые в промышленной радиологии
	CEN/TC 138/WC 1 «НК, радиационные методы»
EN 12544-1	НК – Оценка и измерение напряжения на рентгеновских трубках – Часть 1: Метод делителя напряжения

Окончание табл. 12.4

EN 12544-2	То же – Часть 2: Метод толстого фильтра
EN 12544-3	То же – Часть 3: Спектрометрический метод
EN 12543-1	НК – Характеристики фокального пятна промышленных рентгеновских трубок – Часть 1: Метод сканирования
EN 12543-2	То же – Часть 2: Радиографический метод с использованием камеры с малой диафрагмой
EN 12543-3	То же – Часть 3: Радиографический метод с использованием щелевой камеры
EN 12543-4	То же – Часть 4: Краевой метод
EN 12543-5	То же – Часть 5: Измерение эффективного размера фокального пятна мини – и микрофокусных рентгеновских трубок
EN 25580	Промышленные радиографические излучатели – Минимальные требования
prEN 12579	Промышленная радиография – Радиографический метод определения размера радионуклидного источника
EN 13068-1	Радиоскопический контроль – Часть 1: Количественное изменение характеристики изображения
EN 13068-2	То же – Часть 2: Количественный контроль и долговременная стабильность устройств изображения
prEN 13068-3	То же – Часть 3: Общие положения радиоскопического контроля конструкционных материалов с использованием рентгеновского и гамма-излучения
	СЕN/ТС 121/SC 5В «НК сварных соединений»
EN 12062	НК сварных соединений – Общие положения для металлических материалов
102	Разработка и НК сварных соединений
CEN/TC 121/S	SC 5 B/WG «НК сварных соединений, радиационные методы»
EN 1435	НК сварных соединений – Радиографический контроль сварных стыков
EN 12517	То же – Уровни браковки
Дру	гие документы CEN/NC «Продукция и ее контроль»
EN 10246-10	Радиографический контроль труб
prEN 12681-5	Литье – Радиографический контроль
prEN 13445-5	Негорючие сосуды высокого давления
prEN 13480-5	Металлические промышленные трубы
prEN 12952-6	Бойлеры из труб с водой и вспомогательные установки
prEN 12953-5	Оболочечные бойлеры

винисто
сосновные
xn n HI
N u CII
pmbl CE
е станда
кнейшив
4. Ban
12.3.4

Таблица 12.5

Важнейшие стандарты CEN и CША и их основные отличия

	11 MORE	comme cumunadum		NICONINO NU U TIT			
	Рад	иография	Pa⊿	иоскопия	Компьютерн радиографи	Ная Iя	Компьютерная томография
	ASTM	CEN	ASTM	CEN	ASTM	CEN	ASTM
Термины	E 1316	EN 1330-3/ISO 5576	E 1316	EN 1330-3/ ISO 5576	Е 1441-Термины		
Оборудование	E 1165	EN 12543, EN 12544, EN 12579		EN 13068-1,2	проект	проект	
Оборудование, детекторы	E 1815	EN 584/ISO 11699 EN 25580	E 1000	prEN 13068- 3			
Оборудование, системы			E1411				E 1672 E 1695
Индикаторы	E 2002, E142,						
качества	E592, E747,		E 1617				
изображения	E 1025, E1936-	EN462	E 104/ F 1817				
(эталоны	перевод		T 101 /				
чувствительности)	в цифр. форму						
		EN 444/ISO 5579					E1441,
Общие правила	E94, E1742	перевод в цифр, форму (проект)	E1000		проект	проект	E1570, E1931
Продукция							
(уровни контроля)							
сварка	E1032	EN 1135	E1416				

	Pa	циография	Рад	иоскопия	Компьютерн радиографи	ІАЯ 1Я	Компьютерная томография
	ASTM	CEN	ASTM	CEN	ASTM	CEN	ASTM
сварка (радиограммы)	E390						
ОТЛИВКИ	E1030	prEN 12681	E1734				E1814
отливки (радиограммы)	E155						
стальные трубы		prEN 10246-10					
Электроника							
		[EN 25817ASO 5817]					
		Качество,					
		уровни, EN 12062 –					
		Общие правила					
сварка		EN 12517					
ОТЛИВКИ							
Электроника	E431						

Окончание табл. 12.5

Основная идея стандартов EN заключается в том, что заложенные в них требования должны гарантировать качество изображений объектов контроля (OK) в соответствии с «минимальными требованиями» к процедуре контроля. Эти требования относятся к: контрасту деталей изображения (оптимальная плотность почернения, чувствительность радиационного контроля, энергии фотонов излучения), пределам радиационных толщин, просвечиваемых OK, с использованием радионуклидных источников излучения.,классам пленочных систем в зависимости от энергии фотонов излучения и радиационных толщин OK, нерезкости (минимальному фокусному расстоянию), геометрии контроля, фильтрам, экранированию, маскированию, маркировке.

Радиографические методы в Европе делятся на два класса: класс А – основной метод и класс В – улучшенный метод. Класс В используется в том случае, если контроль по классу А недостаточно чувствителен к дефектам ОК.

Стандарты США (ASTM: E 94, E1742, E 1032, E1030) не делят контроль на классы и качество контроля определяется элементом эталона чувствительности, который должен быть виден при анализе рентгенограммы. Такими эталонами являются пластинчатые эталоны по стандарту E 1025. В стандартах США нет «минимальных требований».

12.4. Требования к метрологическому обеспечению радиографического контроля

Метрологическое обеспечение радиографического контроля имеет целью обеспечение единства и требуемой точности измерений при проведении неразрушающего контроля изделий. Все мероприятия, предусматриваемые настоящим стандартом, подчинены принципу общегосударственного единства измерений.

Организационно-технические мероприятия метрологического обеспечения предусматривают: установление единой терминологии, применяемой в документации всех видов при проведении контроля; установление оптимальной номенклатуры измеряемых параметров; установление порядка поверки используемых средств измерений регламентацию использования стандартизованных и нестандартизованных средств измерений; разработку и аттестацию методик испытаний (РД 50-300-82).

Термины и определения основных понятий в области радиационного неразрушающего контроля определены в ГОСТ 24034–80 [1]. Объектом измерения при радиографическом контроле сварных соединений являются объемные дефекты – несплошности, инородные включения, локализованные в зоне просвечивания. Обобщенно их можно определить как флуктуации плотности материала сварного шва и околошовной зоны. При проведении расшифровки радиографических снимков измерению подлежат контуры теневой проекции дефектов, зафиксированной на поверхности радиографической плёнки. За размеры дефектов принимаются размеры их изображений на радиограммах.

По условиям, определяющим точность результата, в радиографическом контроле используются технические измерения, при которых погрешность результата определяется точностными характеристиками самих средств измерений.

Примечание. Измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать установленного значения, в радиографическом контроле не используются, так как ГОСТ 7512–82 и Правила контроля ПК1514-72 жестко регламентируют указание размеров выявленных дефектов в дефектоскопическом заключении и. не допускают отклонений от устанавливаемых правил. Для установления методов и сроков поверки средств измерений, используемых при просвечивании, фотообработке и расшифровке снимков в соответствии с табл. 12.6.

Таблица 12.6

Название подгруппы	Средства измерений
1. Меры	Эталоны чувствительности' Образцы-имитаторы вогну- тости корня и превышения проплава Оптический клин Измерительные линейки, рулетки Объект – микрометры для проходящего света Измерительные лупы Трафареты на прозрачной основе для измерения несплошностей.
2. Измерительные приборы	Электроизмерительные приборы рентгеновских аппара- тов и ускорителей электронов. Оптические приборы, ис- пользуемые при расшифровке снимков. Денситометры, люксметры, микрофотометры. Приборы измерения вре- мени, используемые при экспонировании и фотообработ- ке рентгеновской планки. Приборы для измерения пара- метров окружающей среды и водных растворов. Дозиметрические приборы.
3. Измерительные принадлежности	Центраторы, негатоскопы

Классификация средств измерений, используемых при проведении радиографического контроля

В соответствии с ГОСТ 8.513–84 должны быть предусмотрены следующие виды поверок (при наличии первичной поверки, выполняемой при выпуске средств измерений из производства или ремонта): периодическая, внеочередная, инспекционная, экспертная. Периодическая поверка проводится при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы. Сроки периодических поверок устанавливаются дифференцированно для различных средств измерений. Внеочередная поверка проводится при эксплуатации (хранении) средств измерений вне зависимости от сроков периодической поверки, когда необходимо удостоверяется в исправности средств измерений. Внеочередная поверка обязательна при повреждении поверительного клейма, пломбы и утрате документов, подтверждающих прохождению средствами измерений периодической поверки, а также при вводе в эксплуатацию средств измерений после хранения, в течение которого не могла, быть произведена периодическая поверка в связи с требованиями к консервации средств измерений.

Инспекционная поверка проводится для выявления метрологической исправности средств измерения, находящихся в обращении, при проведении метрологической ревизии (инспектировании) предприятия органами государственного надзора и ведомственного контроля. Экспертная поверка проводится при возникновении и иных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Импортные средства измерений подлежат государственной поверке, если они допущены к применению по результатам государственных испытаний. Импортные средства измерения, ввозимые единичными экземплярами, допускаются к использованию после их метрологической аттестации органами государственной или ведомственной метрологической службы в порядке, установленном ГОСТ 8.326–78.

Импортные средства измерений не подлежат первичной поверке в случаях, когда результаты поверки, проведенной в других странах, призваны Госстандартом в соответствии с международными соглашениями о взаимном признании результатов государственных испытании и поверки, участником которых является Россия.

Эталоны чувствительности и образцы-имитаторы, измерительнные лупы; линейки и рулетки проверяются один раз в пять лет по методике, разработанной и согласованной в установленном порядке метрологической службой предприятия. Пригодность для дальнейшего использовании средства измерений отмечается в специальном журнале (форма ведения произвольная), хранящемся в комплекте производственной документации лаборатории, осуществляется радиографический контроль.

Примечания:

- 1. При повреждении пластикового чехла проволочный эталон считается непригодным к использованию.
- 2. При обнаружении повреждении, например, ржавчина, коррозия, вмятина, в процессе эксплуатации (при хранении) эталоны и образ-

цы-имитаторы должны быть изъяты из обращения и в дальнейшим подлежат списанию.

Оптический клин и трафарет на прозрачной основе поверяются один раз в два года. Измерительные приборы поверяются один раз в год. Для средств измерений, применяемых для обеспечения техники безопасности сроки поверки должны представляется на утверждение территориальному органу Госстандарта после согласования их со службами техники безопасности предприятия. Рентгеновские аппараты отечественного и импортного производства проходят поверку один раз в два года в составе рентгеновского дефектоскопа на определение чувствительности по методике, согласованной в установленном порядке. Негатоскопы промышленного производства должны иметь паспорт, а не промышленного обязаны пройти аттестацию и иметь свидетельство (сертификат или паспорт). Поверке негатоскопы, как индикаторы, не подлежат. Измерительные принадлежности поверке не подлежат. Поверку средств радиографического контроля проводит метрологическая служба предприятия по методикам, указанным в паспорте. При отсутствии методик метрологическая служба разрабатывает методики поверке и согласовывает их в установленном порядке.

Средства измерений, поверка которых не может быть обеспечена предприятиями, представляют на поверку в органы государственной метрологической службы или на другие предприятия отрасли или иной ведомственной принадлежности, которым право поверки предоставлено органами государственной метрологической службы (согласно ГОСТ 8.513–84).

12.5. Требования безопасности

Персонал при радиографическом контроле должен руководствоваться следующей документацией: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила расследования и учёта нарушений при обращении с радиационными источниками и радиоактивными веществами, применяемыми в народном хозяйстве» (НП-014-2000), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 28.03.2000 № 1; Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности» (НП-019-2000), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 27.09.2000 № 7; Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твёрдых радиоактивных отходов. Требования безопасности» (НП-020-2000), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 27.09.2000 № 28; Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила физической защиты радиационных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ» (НП-034-01), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 16.01.2002 № 3; Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников» (НП-038-02), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 18.11.2002 № 11; Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к содержанию отчёта по обоснованию безопасности радиационных источников» (НП-039-02), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 18.11.2002 № 12.

Положение о лицензировании деятельности в области использовании атомной энергии, утверждено постановлением правительства РФ от 14.07.97 № 865.

Правила организации системы государственного учёта и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, утверждены постановлением правительства РФ от 11.10.97 № 1298.

Перечень должностей работников объектов использования атомной энергии, которые должны получать разрешения Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности на право ведения работ в области использования атомной энергии, утверждены постановлением правительства РФ от 03.03.9 № 240.

О перечне медицинских противопоказаний и перечне должностей, на которые распространяются данные противопоказания, а также о требованиях к проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии, утверждены постановлением правительства РФ от 01.03.97 № 233.

Положение о государственном учёте и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации, утверждено Министром РФ по атомной энергии 11.10.99.Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СП 2.6.1.799-99. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СП 2.6.6.1168-02. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ-73) № 1139-73. Правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом (ППОГАТ-95), утверждены Приказом Министра транспорта РФ от 08.08.95 № 73 (в ред. Приказов Минтранса РФ от 11.06.99 № 37, от 14.10.99 № 77. ГОСТ 12.0.004.-90. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 17925–72. Знак радиационной опасности.

Руководство по безопасности «Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных отходов для их хранения и захоронения» (РБ-023-02), утверждено постановлением Госатом-надзора России от 10.01.2002 № 1.

Руководство по безопасности «Требования к содержанию отчёта о состоянии радиационной безопасности на радиационно-опасных объектах народного хозяйства» (РБ-012-2000), утверждено постановлением Госатомнадзора России от 10.10.2000 № 11.

Положение о выдаче разрешений Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности на право ведения работ в области использования атомной энергии работникам пунктов хранения радиоактивных отходов (специализированных предприятий по обращению с радиоактивными отходами) и предприятий (учреждений, организаций), эксплуатирующих радиационные источники (РД-07-14-2001), утверждено постановлением Госатомнадзора России от 19.11.2001 № 12.

Система сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. Номенклатура оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, подлежащих обязательной сертификации в Системе сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения (ОИТ-0013-2000), утверждённая совместным приказом министра РФ по атомной энергии, председателя Госкомитета РФ по стандартизации и метрологии и начальника Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности от 24.04.2000 № 233/28/152.

Ведомственная нормативная документации (бюллетени, приказы, распоряжения, положения, инструкции и другие организационнораспорядительные документы). Радиографический контроль и перезарядка радиоактивных источников должны проводиться только с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры, документация на изготовление и эксплуатацию которой при выпуске в количестве более трех экземпляров должна быть согласована с Государственным комитетом России по использованию атомной энергии и Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения России; до трех экземпляров – с местными органами санитарно-эпидемиологической службы.

Электрооборудование действующих стационарных и переносных установок для радиографического контроля должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0–75 и «Правилам устройства электроустановок», утвержденных Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем и Госэнергонадзором Министерства энергетики России, а также «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок», утвержденных начальником управления по Т/Б и промсанитарии МинЭнергоСССР 10.09.1985 г.

При проведении радиографического контроля, хранении и перезарядке радиоактивных источников излучения должна быть обеспечена безопасность работ в соответствии с требованиями «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП-72/80 № 2120-80, утвержденных Главным государственным санитарным врачом СССР 18 января 1980 г., «Норм радиационной безопасности» НРБ-99, «Санитарных правил по радиоизотопной дефектоскопии» № 1171-74, утвержденных заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 7 августа 1974 г. ГОСТ 12.3.002–75 и ГОСТ 23764–79.

Организации, где постоянно проводятся работы по радиографическому контролю, должны иметь разрешение на право производства данного вида работ, которое выдается местными органами санитарного надзора. Помещения для радиографического контроля (в том числе дефектоскопические лаборатории), хранилища для радиоактивных веществ должны быть оборудованы, согласно «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП-72/80 и «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии» № 1174-74. Радиографический контроль и перезарядка радиоактивных источников должны проводиться с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры.

До начала эксплуатации рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов администрация организации (предприятия) обязана на основе ОСП-72/80 и НРБ-99 разработать инструкции по радиационной безопасности, устанавливающие действие персонала, порядок проведения работ по радиоизотопной дефектоскопии, учета, хранения и выдачи источников излучения, содержания помещений и т. д. К работе по проведению радиографического контроля допускаются лица, прошедшие специальный медицинский осмотр, инструктаж по технике безопасности и сдавшие экзамен по безопасному ведению работ в установленном порядке.

Лица, временно привлекаемые к работам, связанным с использованной рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов, должны быть обучены правилам безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения и допущены по медицинским показаниям. Периодическая проверка знаний обслуживающим персоналом инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна производиться не реже одного раза в год одновременно с периодическими проверками квалификации персонала.

Все имеющиеся в наличии рентгеновские аппараты гамма-дефектоскопы, поступившие на предприятие, должны регистрироваться в соответствии с ОСП-72/80. К моменту получения рентгеновских аппаратов, гаммадефектоскопов администрация должна назначить ответственное лицо, следящее за учетом, хранением и выдачей этого оборудования, а также назначить ответственного за радиационную и электробезопасность.

Перезарядка гамма-дефектоскопов (перемещение держателей с источниками транспортно-перезарядных контейнеров в радиационные головки и обратно) должна производиться в соответствии с требованиями ОСП-72/80 в специальных помещениях при наличии штатных дистанционных приспособлений заводского изготовления. Хранение и перезарядка гамма-дефектоскопов с источниками вне специально оборудованных мест запрещается. Переносные гамма-дефектоскопы следует хранить в специальных помещениях-хранилищах, которые закрываются под ключ и опечатываются. Независимо от типа источника излучения и вида защиты предельно допустимая доза облучения в местах нахождения рабочего персонала не должна превышать величин, установленных НРБ-99.

В организациях, где проводятся работы с применением источников ионизирующего излучения, должен осуществляться дозиметрический контроль, который обеспечивает соблюдение радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала. Данные радиационного контроля записывают в специальный журнал. Индивидуальный контроль дозы внешнего обличения ведется с помощью индивидуальных дозиметров. При проверке принимаются наибольшие показания дозиметров. Данные о дозах облучения (переоблучения) персонала и эффективности средств зашиты необходимо немедленно сообщить органам местной СЭС и администрации организации, а так же контролирующему санитарному врачу (по его требованию) для принятия мер к уменьшению доз облучения.

При аварийных ситуациях, когда произошло переоблучение работающих, дозу облучения Д можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{A} = \frac{8,4Mt}{r^2},\tag{12.1}$$

где \mathcal{A} – доза облучения, бэр; M – гамма-эквивалент изотопа, мг. экв. радия; t – время облучения, ч; r – расстояние от источника, см.

Квартальная предельная допустимая доза облучения составляет 3 бэра. При этом допускается увеличение дозы облучения кистей рук в 5 раз. Предельно допустимая доза облучения дефектоскописта установлена 5 бэр в год, но не более 3 бэр за квартал.

Предприятия, выполняющие радиографический контроль сварных соединений, разрабатывают в соответствии с требованиями безопасности настоящего раздела документацию, определяющую правила и методы безопасной организации работ, объем и средства радиографического контроля с учетом местных условий производства и доводят их в установленном порядке до работающих.

ГЛАВА 13. ТИПОВЫЕ МЕТОДИКИ РАДИАЦИОННО-ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (РОССИЯ, ГЕРМАНИЯ, США)

13.1. Введение

Радиационный метод неразрушающего контроля наиболее полно разработанным. Его использование при оценке технического состояния контролируемого объекта позволяет наиболее полно судить не только о наличии дефектов в основном материале конструкции и сварных швах, пайке, сборке и т. д., но и о состоянии поверхности, явлениях износа, геометрических размерах и пр.

На практике применение радиационной дефектоскопии регламентируется производственными инструкциями по контролю, технологическими картами контроля и другой технологической документацией, предусмотренной действующими стандартами. Эта технологическая документация определяет средства, последовательность операций и режимы контроля конкретных деталей узлов и изделий.

В основе технологической документации лежат методики радиационно-дефектоскопического контроля, позволяющие обеспечить соответствие качества контролируемых объектов требованиям технологических условий на их изготовление, приемку и эксплуатацию.

Развитие в последние годы международного рынка и необходимость сертификации продукции и производств, создание совместно с иностранными фирмами предприятий по выпуску новых изделий, в том числе связанных со строительством и эксплуатацией нефтегазопроводов, организация новых предприятий, не имеющих достаточного опыта в радиационном контроле, требуют для разработки технологии контроля полной технологической документации по радиационной дефектоскопии, в ряде случаев отвечающих требованиям европейских стандартов и стандартов США [26].

Настоящие типовые методики, не подменяя действующих стандартов, но в соответствии с ними, позволяют определить полную цепочку взаимоувязанных режимов радиографического контроля объекта, необходимых для разработки технологических карт контроля и последующего выполнения процессов контроля: материал и толщину d контролируемого объекта; требования к объекту (размер допустимого дефекта; чувствительность контроля К и подлежащий выявлению элемент эталона чувствительности (номер проволочки, канавки); энергия излучения; тип источника излучения (в том числе анодный ток і или активность Q источника, а также размер фокусного пятна Ф); геометрия просвечивания (в том числе фокусное расстояние F); тип рентгеновской пленки и усиливающего экрана; время просвечивания; размер контролируемого участка; число контролируемых участков.

Структура типовых методик такая, что каждый из указанных режимов выбирается раздельно: в соответствии с отечественными стандартами; по европейским стандартам и по стандартам США (в зависимости от назначения объекта и предъявляемых к нему требований). Типовые методики должны оказать методическую помощь работникам предприятий и фирм в разработке технологической документации, необходимой для организации и проведения работ по радиационной дефектоскопии. Они могут быть также полезны специалистам I, II и III уровней при сертификации персонала по международным нормам в области радиационных методов неразрушающего контроля.

13.2. Типовые методики выбора режимов радиографического контроля (по гост 7512, en 444 и astm e 94)

13.2.1. Материал и толщина контролируемого объекта. Материал и толщина d контролируемого объекта являются исходными параметрами, определяющими выбор практически всех режимов радиографического контроля. Нормы дефектов (требования к качеству контролируе-России допустимые размеры дефектов мого объекта). В В контролируемых объектах обычно указывают в чертежах на объекты, технических условиях, правилах их контроля и приемки или в нормативно-технической документации (НТД) – производственных инструкциях, нормах контролируемых объектов – ВСН, ПНАЭ и т. п.

13.2.2. При отсутствии НТД допустимые дефекты сварных соединений могут быть определены по ГОСТ 23055–78 [4] или по задаваемому классу чувствительности контроля (наименьшему диаметру выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона, наименьшей глубине выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшей толщине пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие с диаметром, равным удвоенной толщине эталона), – по ГОСТ 7512–82.

Европейские стандарты (EN 444 и др.) разделяют контролируемые объекты и радиографическую технику, с помощью которой их контролируют, на два класса: Класс А – обычная техника. Класс В – улучшенная техника. Класс В используется, когда класс А не может обеспечить необходимой чувствительности к дефектам.

В практике США обычно требуемым уровнем качества радиографии является ее чувствительность в 2 % (уровень 2-2Т по пенетрометрам ASTM E 142).Более высокий или более низкий уровни качества устанавливаются соглашением между потребителем и поставщиком контролируемого объекта.

13.2.3. Определение чувствительности контроля и выбор эталонов чувствительности (пенетрометров или индикаторов качества изображения). В России в соответствии с ГОСТ 7512 для определения чувствительности контроля применяют проволочные, канавочные или пластинчувствительности. При эталоны ЭТОМ номер чатые эталона чувствительности выбирают таким, чтобы чувствительность контроля К (мм) - наименьший диаметр выявляемой па снимке проволоки проволочного эталона, наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие диаметром, равным удвоенной толщине эталона, - не превышала половины размера дефекта б, допустимого в контролируемом объекте. Таким образом, при радиографическом контроле гарантируется выявление дефектов размером в направлении просвечивания более удвоенной чувствительности контроля, то есть

$$\sigma \ge 2K \tag{13.1}$$

В Германии для определения качества радиографических изображений применяют проволочные эталоны по системе DIN 54109 и пластинчатые эталоны по системе MIL-STD-453.В системе DIN 54109 эталон (пенетрометр) состоит из семи проволочек длиной 50 или 25 мм с расстоянием между ними 5 мм. Проволочки заключены в гибкий пластиковый пакет со свинцовыми обозначающими знаками (система DIN, год введения системы, материал проволочек – Fe, Cu, A1, номера наиболее толстой и наименее толстой проволочек). Номера проволочек (единицы качества радиографии BZ) и соответствующие этим номерам диаметры проволочек (BZ) приведены в табл. 13.1. Номера пенетрометров и номера проволочек (BZ) приведены в табл. 13.2.

Номера проволочек (BZ) и их диаметр в пенетрометрах по системе DIN 54109 приведены в табл. 13.1.

Диаметр, мм	3,20	2,50	2,00	1,60	1,25	1,00	0,80	0,63
Номер проволочки (BZ)	1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр, мм	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125	0,100
Номер проволочки (BZ)	9	10	11	12	13	14	15	16

Таблица 13.1

Номера пенетрометров и номера проволочек (BZ) по системе DIN 54109 приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Номер пенетрометра		Ho	мера п	ровол	очек (]	BZ)	
D1N 1/7	1	2	3	4	5	6	7
DIN 6/12	6	7	8	9	10	11	12
DIN 10/16	10	11	12	13	14	15	16

Материал проволочек пенетрометров в системе DIN 54109: алюминий (для контроля алюминиевых сплавов), сталь (для контроля сплавов на основе железа и никеля), медь (для контроля меди, латуни и их сплавов). Уровни качества по системе DIN 54109 оцениваются следующими уравнениями: уровень качества BZ (номер проволочки)

$$b = 6 - 10^* lgd \tag{13.2}$$

диаметр проволочки, в мм,

$$d = T\delta/100 \tag{13.3}$$

где δ – требуемая чувствительность, %; Т – толщина материала, мм. Рассчитанные по уравнениям уровни качества приведены в табл. 13.3.

Требуемый уровень качества должен быть таким, как указано в применяемой инструкции или чертеже, если не указано иначе.

Диаметр проволочки d, наиболее близкий к рассчитанному по уравнениям (2) и (3) или определяемому по табл. 13.3, следует выбирать из табл. 13.1.

Уровни качества по DIN 54109 приведены в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Требуемая чувствительность, %	Диаметр проволочки, мм	Уровень качества (ВZ) (номер проволочки)
0,7	T*7*10 ⁻³	Соотношение между номером проволочки <i>h</i> и диаметром <i>d</i> указано в табл. 13.1
1,0	T*10 ⁻²	
1,4	$T*1,4*10^{-2}$	
2,0	$T*2*10^{-2}$	
2,8	$T*2,8*10^{-2}$	

В авиационной промышленности Германии принят уровень качества,соответствующий чувствительности 1 % толщины контролируемой детали. Этот уровень соответствует европейскому классу В, относящемуся к улучшенной технике. Пластинчатые эталоны по системе MIL-STD-453 идентичны описываемым ниже пенетрометрам США по системе ASTM. В США в соответствии со стандартами ASTM Е 94 уровни радиографической чувствительности устанавливаются для пластинчатых эталонов чувствительности (пенетрометров), введенных стандартом ASTM Е 142. Пластинчатый пенетрометр представляет собой пластину из материала, близкого к материалу контролируемого объекта, имеющую толщину T с отверстиями диаметром 1T, 2T и 4T.

Уровни радиографического качества, соответствующие выявлению того или иного отверстия пенетрометра, приведены в табл. 13.4.

Уровни радиографического качества по пластинчатым эталонам (пенетрометрам) ASTM приведены в табл. 13.4.

Уровень радиографического качества	Толщина пенетрометра Т в % толщины контролируемого материала	Минимально различимый диаметр отверстия	Эквивалентная чувствительность ² по пенетрометру, %
2-1 T	2	1T	1,4
2-2 T	2	2T	2,0
2-4 T	2	AT	2,8
	Специальные уровни	і контроля	
1 - 1T	1	1T	0,7
1 - 2T	1	2T	1,0
4 - 2T	4	2T	4,0
¹ Первая цифра означае	ет толщину пластины в	% толщины ко	нтролируемого объ-

Таблица 13.4

¹ Первая цифра означает толщину пластины в % толщины контролируемого объекта; вторая – диаметр выявляемого отверстия в единицах толщины эталона. ² Уровень чувствительности, описанный выше (по одному пенетрометру), справедлив для материалов толщиной более 6 мм, уровень чувствительности для более тонких материалов требует разных пенетрометров.

Практически в США для радиографии обычно устанавливают уровень качества в 2 %.

13.2.4. Выбор энергии излучения (напряжения на рентгеновской трубке, радионуклидного источника или энергии ускорителя электронов).

В России в соответствии с [3] ГОСТ 20426 напряжение на рентгеновской трубке, радионуклидный источник или энергию ускоренных электронов бетатрона выбирают в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 13.5–13.7. Область применения радиографического метода при использовании рентгеновских аппаратов приведены в табл. 13.5.

Таблица 13.5

проси	То вечивае	олщина емого металл	а, мм	прос немета. атомни и плоти	Голщина вечиваем лла со ср ым номе ностью р мм	мого редним ром Z р г/см ³ ,	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ, не выше		
Железо	Титан	Алюминий	Магний	Z = 14 p = 1,4	Z =6,2 P = 1,4				
0,04	0,1	0,5	1,5	1	10	15	20		
0,4	1	5	14	8	70	100	40		
0,7	2	12	22	17	95	135	50		
1	3	20	35	25	120	170	60		
2	6	38	57	_	_	80			
5	10	54	80	_	_	100			
7	18	59	105	_	_	120			
10	24	67	120	_	_	150			
21	47	100	160	_	_	200			
27	57	N2	200	_	_	250			
33	72	132	240	_	_	_	300		
46	106	210	310	_	_	_	400		
150	265	430	650	_	_	_	1000		

Область применения радиографического метода при использовании гамма-дефектоскопов приведены в табл. 13.6.

Таблица 13.6

Толі	цина просвечи	ваемого материа	ла, мм	Закрытые
Железо	Титан	Алюминий	Магний	радиоактивные источники
120	240	370	10200	¹⁷⁰ Tm
580	10120	40350	70450	¹⁹² Ir
10120	20150	50350	100500	¹³⁷ Cs
30200	60300	200500	300700	⁶⁰ Co

Область применения радиографического метода при использовании бетатронов приведены в табл. 13.7.

T (1	2	
Гаолина	- 1	- 1	
таолица	1	\mathcal{I}	• /

Толщи	на просвечива	аемого материал	а, мм	Энергия
Железо	Титан	Алюминий	Свинец	ускоренных электронов, МэВ
50100	90190	150310	3060	6
70180	130350	220570	40110	9
100220	190430	330740	40110	18
130250	250490	480920	60120	25
150350	290680	5701300	60150	30
150450	290880	6101800	60180	35

При установлении типа источника надо учитывать, что наиболее доступны, надежны и просты в обслуживании промышленные рентгеновские аппараты. Гамма-дефектоскопы рекомендуется применять для контроля: изделий большой толщины, которые невозможно просветить с помощью рентгеновских аппаратов из-за недостаточной проникающей способности рентгеновского излучения; сложных агрегатов, сварных и других деталей и узлов, конструкция которых не позволяет установить рентгеновские аппараты в положение просвечивания в соответствии с оптимальной схемой; агрегатов, сварных и других неразъемлемых соединений в полевых условиях, когда применение рентгеновских аппаратов невозможно из-за отсутствия источников питания. Ускорители применяют главным образом для контроля толщин, недоступных для просвечивания другими источниками излучения. Для материала, не приведенного в табл. 13.5–13.7, значение толщины, соответствующее приведенной в этих таблицах энергии излучения, определяют по следующим формулам: для рентгеновского излучения и тормозного излучения бетатронов:

$$d = (\mu_T(E_{\Im\Phi\Phi})d_T)/(\mu(E_{\Im\Phi\Phi}))$$
(13.4)

где Еэфф – эффективная энергия излучения (равна примерно 2/3 напряжения на рентгеновской трубке, и 1/2 или 1/3 энергии ускоренных электронов бетатрона при *E* 10 МэВ и *E* > 10 МэВ соответственно); $\mu_{\rm T}(E_{\ni\Phi\Phi})$ и $\mu(E_{\ni\Phi\Phi})$ – линейные коэффициенты ослабления излучения (приведены в ГОСТ 20426); d-толщина просвечиваемого материала, не приведенного в табл. 5–7; d_т – контролируемая толщина просвечиваемого материала, приведенного в табл. 5–7; для гамма-излучения радиоактивных источников:

$$\mathbf{d} = (\mathbf{P}_{\mathrm{T}}\mathbf{d}_{\mathrm{T}})/\mathbf{P} \tag{13.5}$$

где d и P – толщина и плотность материала, не приведенного в табл. 13.5–13.7, соответственно; d_T и P_T – толщина и плотность материала, приведен-

ного в табл. 13.5–13.7, соответственно. В формулах (4) и (5) в качестве d_т следует использовать толщину такого материала из табл. 5–7, средний атомный номер которого является ближайшим к атомному номеру материала объекта контроля; в случае сложных веществ – к атомному номеру химического элемента, массовая доля которого является основной.

Линейный коэффициент ослабления для сложных веществ следует определять по формуле

$$\mu = (\mu_1/p_1)\eta_1 + (\mu_2/p_2)\eta_2 + \dots + (\mu_n/p_n)\eta_n$$
(13.6)

где µ₁; µ_{2....}µ_n~ линейные коэффициенты ослабления излучения 1, 2...n элементом, входящим в состав сложного вещества; p1;p2...p_n – плотность 1,2...n-го элемента, входящего в состав сложного вещества; η1; η2...η_n – относительная массовая доля 1, 2...n-го элемента, входящего в состав сложного вещества; p – плотность сложного вещества.

В Европе в соответствии со стандартом EN 444 максимальное напряжение на рентгеновской трубке выбирают в зависимости от толщины контролируемого материала по графику на рис. 13.1.

В соответствии со стандартом EN 444 необходимый источник гамма-излучения или рентгеновское оборудование на энергию св. 1 МэВ (ускоритель электронов) выбирают в зависимости от толщины контролируемого материала по табл. 13.8.



Рис. 13.1. Максимальное напряжение на рентгеновской трубке в зависимости от толщины материала контролируемого объекта

Диапазон просвечиваемых толщин для источников гамма излучения и рентгеновского оборудования на энергии св.1 МэВ для стали и сплавов на основе меди и никеля приведены в табл. 13.8.

Таблица 13.8

Li on on the second sec	Просвечиваемая толщи	на <i>d</i> , мм, при контроле
источник излучения	по классу А	по классу В
¹⁷⁰ Tt	d≤5	d ≤5
¹⁶⁹ Yb*	1 ≤d≤ 15	2≤d≤2
¹⁹² Ir	$20 \leq d \leq 100$	$20 \le d \le 90$
⁶⁰ Co	$40 \le d \le 200$	60 ≤d≤ 150
Рентгеновское оборудование на энергии:	$30 \le d \le 200$	$50 \le d \le 180$
от 1 до 4 МэВ	$D \ge 50$	d≥ 80
от 4 до 12 МэВ 12 МэВ	d≥ 80	d≥100
Толщина просвечиваемого м	атериала для алюминия и	титана
составляет 10 < d < 70 для кл	acca A и 25 <d <55="" td="" для="" кл<=""><td>acca B.</td></d>	acca B.

Для материалов, не указанных на рис. 13.1 и в табл. 13.8, значение толщины, соответствующее указанной в них энергии излучения, определяют по коэффициентам радиографической эквивалентности (табл. 13.9).

Таблица 13.9

		Р	ентге	новси	кое из	влуче	ние,	κВ			Гамма	а-излу	чение
Материал	50	100	150	200	220	250	400	1 M ₃ B	2 M ₃ B	631 МэВ	$^{192}\mathrm{Ir}$	¹³⁷ Cs	60 ⁶⁰
Алюминий	1,0	1,0	0,12	0,14	0,18	0,16					0,35	0,35	0,35
Титан	3,6	5,8	0,34	0,36		0,38							
Сталь	12,0	12,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Медь		16,5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4			1,3	U	1,1	1,0
Цинк		15,0	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3			1,2	1,1	1,0	1,0
Латунь			1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1

В табл. 13.9 стали произвольно присвоен коэффициент 1,0 (за исключением столбцов для 50 и 100 кВ, где алюминию присвоен коэффициент 1,0). Значение эквивалентной толщины оценивают произведением толщины контролируемого объекта на указанный в табл. 13.9 коэффициент. Для всех других материалов при определении энергии излучения следует использовать указанный на рис. 13.1 и в табл. 13.8 и 13.9 материал, радиографическая плотность которого близка к радиографической плотности материала контролируемого объекта.

Стандарты США за исключением особых случаев требуют, чтобы максимальное напряжение на рентгеновской трубке или максимальная

энергия ускоренных электронов в ускорителе частиц не превышала значений, указанных на рис. 13.2, 13.3 и 13.4 соответственно для стали, сплавов на медной или никелевой основе и алюминиевых сплавов. Минимальная толщина материалов, для которых можно применять радиоактивные протоны, указана в табл. 13.10.



Рис. 13.2. Максимальное ускоряющее напряжение при просвечивании стали



Рис. 13.3. *Максимальное ускоряющее напряжение* при просвечивании сплавов на медной или никелевой основе



Рис. 13.4. Максимальное ускоряющее напряжение при просвечивании сплавов на алюминиевой основе

Коэффициенты радиографической эквивалентности приведены в табл. 13.9.

При контроле материалов, не указанных на рис. 13.2–13.4 и в табл. 13.10, для выбора напряжения на рентгеновской трубке, энергии ускоренных электронов или радиоактивного источника можно воспользоваться коэффициентом радиографической эквивалентности (табл. 13.9).

13.2.5. Выбор источника излучения (рентгеновского аппарата, гамма-дефектоскопа, ускорителя электронов).

Минимальная толщина материалов, для которых можно применять радиоактивные изотопы приведены в табл. 13.10.

Таблица 13.10

Мататиат	Минимальная	толщина, мм
материал	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co
Сталь	19	38
Медь и сплавы с большим содержанием никеля	17	33
Алюминий	64	—

* Максимальная толщина при использовании радиоактивных изотопов определяется главным образом временем экспозиции, поэтому верхние пределы в таблице не указаны.

** При использовании других изотопов (не иридий-192 и не кобальт-60) требуется предварительное просвечивание эталона чувствительности, чтобы убедиться в удовлетворительном разрешении метода при минимальной толщине просвечиваемого материала. После определения необходимого напряжения на рентгеновской трубке выбирают конкретный тип рентгеновского аппарата исходя из требований, предъявляемых по чувствительности, технологической маневренности и производительности контроля.

Технические характеристики отечественных рентгеновских аппаратов приведены в табл. 13.11. Исходя из условий контроля, по табл. 13.11 может быть выбран рентгеновский аппарат: стационарный – для работы в условиях рентгеновской лаборатории предприятия; передвижной или переносной – для работы в полевых и других нестационарных условиях. Главное требование, предъявляемое к рентгеновскому аппарату, – диапазон напряжений на рентгеновской трубке, перекрывающий требуемое напряжение.

Технические характеристики отечественных гамма-дефектоскопов приведены в табл. 13.12, ускорителей электродов (бетатронов) – в табл. 13.13.

Технические характеристики отечественных рентгеновских аппаратов приведены в табл. 13.11.

Технические характеристики отечественных гамма-дефектоскопов приведены в табл. 13.12.

Технические характеристики отечественных ускорителей электронов приведены в табл. 13.13.

В европейских странах конкретный источник излучения – рентгеновский аппарат, гамма-дефектоскоп или ускоритель электронов выбирают по таблицам, аналогичным табл. 13.14–13.16. В США используются и могут быть выбраны для радиографического контроля те же источники излучения, что указаны в табл. 13.14–13.16.

Технические характеристики зарубежных рентгеновских аппаратов приведены в табл. 13.14.

13.2.6. Определение интенсивности излучения (анодного тока рентгеновской трубки, радиационного выхода импульсных рентгеновских агрегатов радионуклидиых источников и ускорителей электронов) и размеров фокусного пятна излучателя. Интенсивность излучения источников: максимальный анодный ток рентгеновских излучений непрерывного действия / в мА; радиационный выход мощности экспозиционной дозы импульсных рентгеновских аппаратов в Кл/(кгс) или Р/мин (Р/с) на определенном расстоянии от анода трубки; радиационный выход (мощность экспозиционной дозы) гамма-дефектоскопов в Кл/(кг-с) или Р/мин (Р/с) на определенном расстоянии от радионуклидного (радиоизотопного) источника; радиационный выход (мощность экспозиционной дозы) ускорителей электронов (бетатронов или линейных ускорителей) в Кл/(кгс) или Р/мин (Р/с) на определенном расстоянии от мишени ускорителя. Определяют для конкретных излучателей по табл. 13.12-13.16. Размеры фокусного пятна излучателей е в мм определяют также для конкретных излучателей по табл. 13.12–13.16.

Таблица 13.11

Тип аппарата	Тип рентгеновской трубки	Анодное напряжение, кВ	Максимальный анодный ток (мощность дозы)	Размеры фокусного пятна, мм	Конструктивное исполнение	Размеры излучателя, мм	Macca, ĸr
1	2	3	4	5	9	L	8
МИРА-1Д	ИМА6Д	90110	I	Диаметр 2,0	Переносной импульсный	80×300	12
МИРА-2Д	Импульсная	140170 (амплитуда импульса)	I	Диаметр 3,0	Переносной импульсный	460×120×230	15
АРИНА-02	Импульсная	140170 (амплитуда импульса)	0,36 Р/мин на 0,5 м	Диаметр 2,33,0	Переносной импульсный	460×125×180	L
АРИНА-05	Импульсная	15165 (амплитуда импульса)	0,36 Р/мин на 0,5 м	Диаметр 2,33,0	Переносной импульсный	450×120×200	10
Р ПАН 200/100	I	100200	1,5 Р/мин на 0,5 м	Не более 3,0	Переносной с частотным преобразованием	I	8
IIIMeль III	Импульсная	210 (амплитуда импульса)	0,84 Р/мин на 0,5 м	Диаметр 2,33,0	Переносной импульсный	I	9,2
ΡΑΠ-ЮΟΜ-Ю	1БпВ23-100	10100	10 MA	1,4×1,4	Передвижной моноблочный	145×205×390	12 моноблок

Габариты	Ha 1 M	ДЕМ ИЭД	Пределы регулиро	Категория	Тип	Вид ускорителя
×135×78	10^{-4} 212	$\begin{array}{c} 3.9*10^{-8}(1.5*)\\ 6.4*10^{-8}(2.5*)\\ 2.5*10^{-7}(9,67*)\end{array}$	K. 011. 1 TM0. 013. 1 SE5. 013. 3	ий-192 III й-170 ГТ 1-75 ТS	10 Ирид Тули Сслеі	Гаммарид 170/40
<110×110	$\begin{bmatrix} 10^{-2} \\ 10^{-4} \end{bmatrix}$ 240×	$3,9*10^{-6}(1,5*1,3*1,3*1,0^{-7}(5,0*1,5,0))$	P2. 013. 1 CS7. 021.7	ий-192 П] й-137 ТС	20 Ирид Цезиј	Гаммарид 192/12
ізмеры ационной овки, мм	более Радии (с) голо	ИЭД па 1 м, не Кл/(кгс) (Р/	ип источника	ионуклид Т	скопа Ради	Тип гамма-дефекто
a 270×8 960×312	кабельнй	Диаметр 3,0 1,5×1,5	0 10 MA 10 MA	35150 00 70310	1,5БпВ7-150 1,2-3БпВ5-3(
90×45 270×8	Стационарный	$\begin{array}{c} 1,5\\ 0,3\ldots 0,\end{array}$	0 10 MA	10100 35150	1БпВ15-100 0,3БпВ6-150	РАП-150/300
1	Переносной моноблочный	$1,6{\times}1,6$	36 мА	30205	0,8БпК5-220	РАП-205М-6н-1
150×245	Передвижной моноблочный	$1,2{\times}1,2$	5 MA) 30160	0,5БпМ9-16(РАП-160М-5
7	9	5	4	3	2	1
Окончс						
	<i>Окончи</i> <i>Окончи</i> <i>150×245</i> <i>150×245</i> <i>270×8</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>90×45</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i> <i>110×110</i>	Окончи 6 7 6 7 Передвижной 150×245 Моноблочный 150×245 Моноблочный 270×8 Переносной 90×45 Стационарный 270×8 Кабельнй 90×45 Солее Размеры 60лее Размеры 10 ⁻⁴) 212×135×78 10 ⁻⁴) 212×135×78 на 1 м Габариты	Окончи 5 6 7 1,2×1,2 Передвижной 150×245 1,5×1,2 моноблочный 150×245 1,6×1,6 моноблочный 270×8 1,5 0,3…0, Стационарный 270×8 Диаметр 3,0 кабельнй 270×8 90×45 0,3…0, Стационарный 270×8 30×45 Лиаметр 3,0 кабельнй 270×8 30×45 Диаметр 3,0 кабельнй 270×8 30×45 3,9*10 ⁻⁶ (1,5*10 ⁻⁴) Стационарный 3,960×312 3,940×110 3,9*10 ⁻⁶ (1,5*10 ⁻⁴) 240×110×110 1,33×10 ⁻⁷ (5,0*10 ⁻⁴) 240×110×110 1,3*10 ⁻⁷ (5,0*10 ⁻⁴) 2,40×110×110 3,9*10 ⁻⁶ (1,5*10 ⁻⁴) 2,12×135×78 2,5*10 ⁻⁷ (9,67*10 ⁻⁴) 2,12×135×78 2,5*10 ⁻⁴) 2,12×135×78	Окончи 4 5 6 7 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 5 мА 1,2×1,2 моноблочный 150×245 5 мА 1,5×1,5 моноблочный 20×34 0 10 мА 1,5 90×44 10 мА 1,5 0,3…0, Стационарный 20×312 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 10 мА 1,5×1,5 Стационарный 270×8 10 мА 1,5×1,5 Стационарный 270×8 10 мА 1,5×1,5 Стационарный 270×8 7 3,0,0 кабельний 270×8 1,5×1,5 Стационарный 2,0×312 2,0×312 1,3×10 ⁻⁶ (1,5×10 ⁻⁶) 2,40×110×110 2,0×310 22,013.1 3,9×10 ⁻⁶ (1,5×10 ⁻⁶) 2,0×110×110 25,011.1 3,9×10 ⁻⁶ (1,5×10 ⁻⁶) 2,10×110×110 26,013.3 2,5×10 ⁻⁷ (9,67×10 ⁻⁴) 2,10×110×110 25,10 ⁻⁷ (9,67×10 ⁻⁴) 2,10×10 ⁻⁴) 2,10×110×110 <td>3 4 5 6 7 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 30160 5 мА 1,2×1,2 моноблочный 150×245 30205 36 мА 1,5×1,5 моноблочный 150×245 30205 36 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 Стационарный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 Размеры 90×4; 00 70310 10 мА 1,5×1,5 200×110×110 01 10 мА 1,5×1,5 240×110×110 10 01 70310 13,8×10⁻⁶(1,5*10⁻⁴) 240×110×110 10 10 170 170⁻¹(5,0*10⁻⁴) 240×110×110 10 1170 1170 1170 110-10 210×10⁴(1,5*10⁻⁴) 212×135×78 1170 1700 2,5*10⁻⁷(9,67*10⁻⁴) 2,10×110⁴(1,5*10⁻⁴) 2,10×</td> <td>2 3 4 5 6 7 0,5БпМ9-160 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 0,5БпМ9-160 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 0,8БпК5-220 30205 36 мА 1,6×1,6 Переноснойый - 0,8БпВ5-100 10100 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 0,3БпВ5-150 35150 2 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 0,3БпВ5-1300 10100 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 1,5БпВ7-150 35150 2 мА 0,30, Стационарный 270×8 1,2-3БпВ5-300 70310 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 1,2-3БпВ5-300 70310 10 мА 1,5×1,5 240×1100 10 1,2-35×1,50 35150 10.8,0.7 1,5×10⁻¹ 240×110×110 10 1,2-3137 78 2,5×10⁻¹ 2,5×10⁻¹ 240×110×110 10 <!--</td--></td>	3 4 5 6 7 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 30160 5 мА 1,2×1,2 моноблочный 150×245 30205 36 мА 1,5×1,5 моноблочный 150×245 30205 36 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 Стационарный 270×8 35150 10 мА 1,5×1,5 Размеры 90×4; 00 70310 10 мА 1,5×1,5 200×110×110 01 10 мА 1,5×1,5 240×110×110 10 01 70310 13,8×10 ⁻⁶ (1,5*10 ⁻⁴) 240×110×110 10 10 170 170 ⁻¹ (5,0*10 ⁻⁴) 240×110×110 10 1170 1170 1170 110-10 210×10 ⁴ (1,5*10 ⁻⁴) 212×135×78 1170 1700 2,5*10 ⁻⁷ (9,67*10 ⁻⁴) 2,10×110 ⁴ (1,5*10 ⁻⁴) 2,10×	2 3 4 5 6 7 0,5БпМ9-160 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 0,5БпМ9-160 30160 5 мА 1,2×1,2 Передвижной 150×245 0,8БпК5-220 30205 36 мА 1,6×1,6 Переноснойый - 0,8БпВ5-100 10100 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 0,3БпВ5-150 35150 2 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 0,3БпВ5-1300 10100 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 1,5БпВ7-150 35150 2 мА 0,30, Стационарный 270×8 1,2-3БпВ5-300 70310 10 мА 1,5×1,5 моноблочный 270×8 1,2-3БпВ5-300 70310 10 мА 1,5×1,5 240×1100 10 1,2-35×1,50 35150 10.8,0.7 1,5×10 ⁻¹ 240×110×110 10 1,2-3137 78 2,5×10 ⁻¹ 2,5×10 ⁻¹ 240×110×110 10 </td

энергии изделия, МэВ от мишени Кл/(кгс) излучателя, мм излучателя, кг

45 100

570×380×170 $800 \times 400 \times 520$

 $3,9*10^{-6}$ $1,2^*10^{-5}$

> 2...6 4.

Переносной Переносной

MMB-4 MMB-6

Бетатрон Бетатрон

ускорителя

электронов

Таблица 13.14

Тип аппарата	Анодное напряжение, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Размер фокусного пятна, мм	Размеры излучателя (диаметр), мм	Масса излучателя, кг
I. Стационарные кабельные аппараты Фирма «Филипс» (Германия)					
MG 103/4.5	5100	6,4/30	0,4/3,0	100×305	8
MG 121 VF	10120	1,0	0,07–0,3	100×341	7,5
MG 165/4,5	7,5160	4/19	0,4/3,0	100×305	8
MG225	10225	3/10	0,6/2,0	120×350	15

Таблица 13.14.1

		м – – – – – – – – – – – – – – – – – – –	D	р	М		
Тип	Анодное	максимальныи	Размеры	Размеры	Macca		
аппарата	напряжение,	анодный	фокусного	излучателя,	излучателя,		
•••••••••••••••••	кВ	ток, мА	пятна, мм	MM	КГ		
MG325	15325	3/10	1,2/4,0	182×624	35		
MG45I	20450	2/10	1,0/4,5	318×802	70		
	4	рирма «Зейферт»	(Германия)	•		
ISO VOLT	60	•					
60/30	макс. 60	20	1,2×1,5	80×338	5,2		
ISOVOLT	100	10	11	(0	2.0		
100/12	макс. 100	12	1×1	68×270	3,8		
ISOVOLT	120	5/12/25	0 4/1 5/2	100.251	0.5		
120 M2	макс. 120	5/15/25	0,4/1,5/3	100×351	8,5		
ISOVOLT	1(0	4/10	0.4/2	100.20	11.0		
160 Ml	макс. 160	4/19	0,4/3	100×360	11,6		
ISOVOLT		2/7/12	0 4/1 5/2	122,242	11.0		
225 M1	макс. 225	3/ // 13	0,4/1,5/3	132×342	11,0		
ISOVOLT		5/12	1.5/4	100,700	25		
320/13	макс. 320	5/15	1,3/4	180×600	33		
ISOVOLT	150	4/0	1 9/4 5	250×560	75		
450/9	макс. 430	4/9	1,8/4,3	330×300	13		
Фирма «Астрофизикс Рисерч» (США)							
HF450	макс. 450	3,3/9,3	1,5/3,5				
2. Передвижные кабельные аппараты.							
Фирма «Филипс» (Германия)							
MG 10	5 100	(15	0.4/1.5	70,222	2.5		
3/2,25	5100	0/10	0,4/1,5	/U×230	3,3		
MG	7.5 1.60	2/2	0.2/0.2	100×205	0		
165/2,25	/,5100	3/3	0,3/0,3	100×303	δ		
MG 225 L	12225	3/10	0,6/2,0	120×350	15		

Окончание табл.	13.14.1
-----------------	---------

Тип аппарата	Анодное напряжение, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Размеры фокусного пятна, мм	Размеры излучателя, мм	Масса излучателя, кг	
	4	ирма «Зейферт»	(Германия)		
ISOVOLT 100 T	макс. 100	10	1			
ISOVOLT 160 TL	макс. 160	10	1			
ISOVOLT 160T	макс. 160	20	3			
3. Переносные моноблочные аппараты. Фирма «Филипс» (Германия)						
PS 220	60220	5	2,0	292×660× 292	23	
PS 300	60300	5	2,5	332×778× 332	38	
Фирма «Зейферт» (Германия)						
ERESKO 150/5 Be	20150	5	1,5×1,5	555×215× 320	35	
ERESKO 160/10	50160	10	3,0×3,0	597×236× 356	45	
ERESKO 200/8	40200	8	3,0×3,0	597×236× 356	45	
ERESKO 300/5 L	90300	5	3,5×3,5	280×1000	63	

Технические характеристики зарубежных гамма-дефектоскопов приведены в табл. 13.15.

Таблица 13.15

Тип гамма дефектоскопов	Радионуклид	Активность источника, Ки	Габариты (диаметр), мм	Масса, кг	Область применения
	Фирма	«Зауэрвайн»	» (Германия	I)	
Gammamat Mб	Иридий-192	20	140×1200	6	Контроль труб диаметром 150450 мм
Gammainal MI8	Иридий-192	20	400×1300	6	Контроль труб диаметром 4501500 мм
Окончание табл. 13.15

Тип гамма дефектоскопов	Радионуклид	Активность источника, Ки	Габариты (диаметр), мм	Масса, кг	Область применения						
	Фирма «RTS Technology Inc.» (США)										
Gamma Mat S 301	Иридии-192	_	_	_	_						

Технические характеристики зарубежных ускорителей электронов приведены в табл. 13.16.

Вид ускоритея электронов	Тип ускорителя	Максимальная энергия тормозного излучения, МэВ	МЭД па 1 м От мишени, Кл/(кгс)	Размер фокусного пятна, мм	Габариты излучателя, мм	Масса излучателя, кг	Максимальная толщина просвечивания стали, мм
		Фи	рма «Вар	иан» (CIIIA)		
Линейный ускоритель	Linatron 200A	1	8,6*10 ⁻⁵	2	840×1030×760	816	До 100 при 1 МэВ за 4 мин
		2	8,6*10 ⁻⁴				До 200 при 2 МэВ 3а 4 мин
Линейный ускоритель	Linatron 400	4	2,2*10 ⁻³	2	740×740×1680	900	До 250 за 4 мин
Линейный ускоритель	Linatron 3000	9,6,9, 11	1,3*10 ⁻²	2	740×710×1520	900	До 350 при 9 МэВ за 4 мин

Таблица 13.16

Вид ускоритея электронов	Тип ускорителя	Максимальная энергия ррмозного излучения, МэВ	МЭД па 1 м От мишени, Кл/(кгс)	Размер фокусного пятна, мм	Габариты излучателя, мм	Масса излучателя, кг	Максимальная толщина просвечивания стали, мм			
Линейный ускоритеь	Linatron 6000	16	2,6*10 ⁻²	3	1520×1250×2510	3900	До 400 за 4 мин			
Линейный ускоритель	Mini Linatron	_		_	_	212				
	Фирма «Хай Энерджи Дивайс»									
Линейный ускоритель	HIRAD	46	_	_	_	_	_			

13.2.7. Выбор рентгеновских пленок п усиливающих экранов.

Выпускаемые в России рентгеновские пленки делят на 4 класса (табл. 13.17). Соответствующие этой классификации типы рентгеновских пленок и их сенситометрические характеристики приведены в табл. 13.18. При выборе рентгеновской пленки можно руководствоваться следующими рекомендациями.

Классы отечественных рентгеновских пленок приведены в табл. 13.17.

Таблица 13.17

	Показатели пленок					
Классы пленок	Чувствительность к излучению	Контрастность	Зернистость			
1	Низкая	Очень высокая	Очень малая			
2	Средняя	Высокая	Малая			
3	Высокая	Средняя	Средняя			
4	Очень высокая	Низкая	Высокая			

Типы и характеристики отечественных рентгеновских пленок приведены в табл. 13.18.

Таблица 13.18

		Сенситометрические характеристики						
Класс пленки	Тип пленки	Чувствительность V Р '	Контрастность	Средний размер зерна, 10 м	Оптическая плотность вуали			
1	РТ-К	3	4,8	0,25	0,10			
2	PT-4M	5	3,5	0,25	0,Ю			
2	РТ-СШ	10	3,0	0,55	0,15			
3	PT-1	25	3,2	0,77	0,20			
4	PM-1	400	2,8	1,16	0,20			
	PT-2	*50	3,0	1,38	0,20			

Определяются при напряжении на рентгеновской трубке 80 кВ.

Чувствительность $S_{0,85}$ – величина, обратная экспозиционной дозе в P, необходимой для получения оптической плотности, па 0,85 превышающей оптическую плотность вуали.

Контрастность пленки: коэффициент контрастности *у* для экранных пленок; средний градиент g_s для безэкранных пленок.

Рентгеновские пленки 4 и 3 классов необходимо применять во всех случаях, если только при этом удастся выявлять недопустимые по ТУ дефекты. Их применение наиболее целесообразно для: контроля толстостенных объектов, просвечиваемых высокоэнергетическим излучением; выявления внутренней геометрии и скрытых повреждений агрегатов; компенсации потери времени при просвечивании объектов маломощными источниками (например, импульсными рентгеновскими аппаратами) и т. п.

Если на снимках, полученных на пленке 4 класса, недопустимые дефекты не выявляются, последовательно переходят к пленкам 3, затем 2 и 1 классов. В ряде случаев при выборе класса пленки можно пользоваться рекомендациями стандарта США ASTM E94 (см. табл. 25). Коэффициенты усиления люминесцентных экранов, применяемых в сочетании с пленками, даны в табл. 19.

Коэффициент усиления металлических усиливающих экранов при их оптимальной толщине, указанной в табл. 20, равен примерно 2.

При выборе вида усиливающего экрана помимо коэффициента усиления необходимо учитывать четкость изображения дефектов. При использовании металлических усиливающих экранов изображения дефектов на снимках получаются более четкими, чем при использовании люминесцирующих усиливающих экранов. Коэффициент усиления люминесцентных усиливающих экранов приведены в табл. 13.19.

Таблица 13.19

Тин насши	Коэффициент усиления экрана							
І ИП ПЛЕНКИ	ЭУ-В1	ЭУ-В2	ЭУ-ВЗ	ЭУ-Б ⁺⁺	ВП-1	ВП-2		
Экранная (РТ-2)	30	30	54	54	60	69		
Безэкранная (РТ-К, РТ-4М, РТ-1)	2	2	3,6	3,6	4	4,6		
Коэффициент усиления определен при U _a – 80 кВ и времени экспозиции								

примерно 100 с.

ЭУ-Б – свинцово-баритовый экран, остальные экраны вольфрамовокальцевые; размер зерна всех экранов (6...20)–10⁻⁶ м

Оптимальная толщина металлических усиливающих экранов в виде свинцовой или свинцово-оловянистой фольги приведены в табл. 13.20.

T ~	1	່		\mathbf{n}
Гаопина				()
таолица		J J	. –	υ
1				

	Рентгеновский	Pa	ционукли	идный и	сточни	к	
Источник излученя	аппарат, напряжение ≥100 кВ	¹⁷⁰ Tm	⁷⁵ Se	¹⁹² Ir	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	
Толщина передней/задней фольги, мм	<u>0,05</u> 0,05	<u>0,05</u> 0,05	$\frac{0,1}{0,2}$	<u>0,1</u> 0,2	$\frac{0,1}{0,2}$	<u>0,2</u> 0,2	
Horoward up way	Ускорител	Ускоритель электронов на энергию, МэВ					
источник излученя	6	9	18	25	30	35	
Толщина передней/задней фольги, мм	$\frac{0,51}{0,51,5}$	<u>1</u> 11,5	$\frac{1\dots1,5}{1,5\dots2}$	<u>2</u> (23)	<u>2</u> 23	2 23	

Европейские стандарты, в частности стандарт EN 584-1, классифицируют рентгеновские пленки в соответствии с их объективными параметрами. В качестве таких параметров приняты:

• g_2 и g_4 – градиенты характеристических кривых при оптической плотности соответственно $S_2 = 2 + S_0$ и $S_4 = 4 + S_0$, где S_0 – оптическая плотность вуали; σ_{S2} – среднеквадратическое отклонение оптической плотности при $S_2 = 2 + S_0$; g_2/σ_{S2} ~ отношение градиента характеристической кривой к среднеквадратическому отклонению оптической плот-

ности при $S_2 = 2 + S_0$. Эти параметры оцениваются при напряжении на рентгеновской трубке 220 кВ.

Всего установлено шесть классов пленок -CI; C2; C3; C4; C5 и Cб. Отношение g_7/o_s можно рассматривать как отношение «сигнал/шум» изображения дефекта на снимке. При переходе от класса C1 к классу C6 это отношение уменьшается, что соответствует ухудшению качества снимков. Классификация рентгеновских пленок в соответствии с EN 584-1 приведены в табл. 21.

Предельные значения градиента, отношение градиент/шум и гранулярность приведены в табл. 13.21.

Таблица 13.21

	Минимум град	иента G _{min} при	Минимум	Максимум	
Класс пленочных систем	D = 2 выше D _{{)}	JD = 4 выше D ₀	отношения (G/σ _D) _{min} выше D ₀	гранулярности	
C1	4,5	7,5	300	0,018	
C2	4,3	7,4	270	0,018	
C3	4,1	6,8	180	0,023	
C4	4,1	6,8	150	0,028	
C5	3,8	6,4	120	0,032	
C6	3,5	5,0	100	0,039	

Рекомендации по выбору пленок и металлических усиливающих экранов при просвечивании сплавов на основе железа, меди и никеля даны в табл. 13.22.

Классы пленок и типы металлических усиливающих экранов для радиографии стали и сплавов на основе меди и никеля (по EN 444) приведены в табл. 13.22.

Типы промышленных рентгеновских пленок в США (по ASTME94) приведены в табл. 13.23.

Принятая в США классификация промышленных рентгеновских пленок приведена в табл. 13.23.

Сопоставление табл. 13.23 и 13.18 показывает, что классы отечественных пленок точно соответствуют типам принятой в США классификации пленок. В табл. 13.24 дано сопоставление типов промышленных рентгеновских пленок США (по ASTM E 94) с европейскими классами пленок (по EN 584-1). Одновременно в табл. 13.24 указано место пленок фирм «Агфа-Геверт» (Бельгия), «Кодак» (США) и отечественных пленок по этим классификациям.

Таблица 13.22

Источник излучения		Просвечиваемая толщина d	Классы пленок при классе контроля		Тип и толщина металлических экранов для класса контроля	
			A	В	А	В
Рентгеновское излучение при напряжении на трубке	Менее 100 кВ От 100 до 150 кВ	См. рис. 1	C5	C3	Без экрано или с пере, и задним э из свинца менее 0,03 Передний экраны из толщиной 0,15 мм (м.	в дним краном голщиной <u>мм</u> и задний свинца менее акс.)
	От 150 до 250 кВ	B		C4	Передний экраны из толщиной от 0,02 до	и задний свинца 0,15 мм
¹⁶⁹ Yb, ¹⁷⁰ Tm		d < 5 мм	C5	C3	Без экрано с передним и задним э из свинца менее 0,03	в или и краном голщиной мм
		d ≥ 5 мм	C4		Передний экраны из толщиной от 0,02 до	и задний свинца 0,15 мм
Рентгеновское излучение при напряжении		d ≤50 мм	C5	C4	Передний экраны из толщиной от 0,02 до	и задний свинца 0,2 мм
на трубке от 250 до 500 кВ		d> 50 мм		C5	Передний из свинца от 0,1 до 0	экран голщиной ,2 мм ²
¹⁹² Ir		20 <d≤ 100="" td="" мм<=""><td>C5</td><td>C4</td><td>Передний экран из свинца толщиной от 0,02 до 0,2 мм Задние экр из свинца от 0,02 до</td><td>Передний экран из свинца толщиной от 0,1 до 0,2 мм² аны голщиной 0,2 мм</td></d≤>	C5	C4	Передний экран из свинца толщиной от 0,02 до 0,2 мм Задние экр из свинца от 0,02 до	Передний экран из свинца толщиной от 0,1 до 0,2 мм ² аны голщиной 0,2 мм

Окончание табл. 13.22

	Просвециваемая		ссы нок	Тип и толщина металлических		
Источник излучения	Просвечиваемая толшина d	при классе		экранов		
		KOHI	кцод	для класса	-	
		A	В	A	В	
	$d \le 100$ мм		C4	Передний и задний		
⁶⁰ Co	d>100 мм		C5	экраны из или меди т от 0,25 до	стали солщиной 0,7 мм"	
Veronuteal Sherthouop	$30 < d \le 200$ MM		С3	Передний и задний экраны из стали или меди толщиной от 0,25 до 0,7 мм ³		
на энергии от 1 МэВ до 4 МэВ	d> 100 мм	C5	C5			

Могут быть использованы и лучшие классы пленок.²

Могут быть использованы готовые упаковки пленок с передним экраном толщиной менее 0,03 мм, если между объектом контроля и пленкой размещен дополнительный свинцовый экран толщиной около 1 мм.

В классе А могут быть также использованы экраны из свинца толщиной от 0,1 до 0,5 мм.

При согласии сторон в классе А могут быть использованы свинцовые экраны толщиной от 0,5 до 1 мм.

При согласии сторон могут быть использованы экраны из вольфрама*.

Таблица 13.23

Тип планан	Качественные показатели						
тип пленок	Чувствительность к излучению	Контрастнось	Зернистость				
1	Низкая	Очень высокая	Очень малая				
2	Средняя	Высокая	Малая				
3	Высокая	Средняя	Высокая				

Рекомендации по выбору рентгеновских пленок по классификации, принятой в США, приведены в табл. 13.25. Этими рекомендациями можно руководствоваться и при выборе отечественных пленок (с 1 по 4 класс), особенно при проведении радиографического контроля по требованиям стандарта США ASTM E94.

Сопоставление типов пленок США(по ASTM E 94) с европейскими классами пленок (по EN 584-1) с отнесением к этим типам (классам) пленок основных фирм Европы и США приведены в табл. 13.24.

Таблица 13.24

Типы пленок по ASTM E 94	Класс пленок по EN584-I	Пленка фирмы «Агфа-Геверт» (Бельгия) типа «Структурике»	Пленка фирмы «Кодак» (США) тип «Индастрекс»	Пленки России
1	CI	D2	DR	
1	C2	D3	М	РТ-К
2	C3	D4	MX	РТ-ЧМ
Δ	C4	D5	Т	РТ-СШ
3	C5	D7	AA/AX	PT-1
4	C6	D8	cx	PT-2, PM-1

В качестве переднего и заднего металлических усиливающих экранов при использовании рентгеновского излучения и напряжении на трубке более 125 кВ стандарт США ASTM Е 94 рекомендует свинцовую фольгу толщиной 0,1 мм. При использовании радиоактивных источников необходимо использовать передние экраны из свинца толщиной более 0,13 мм для иридия-192 и более 0,25 мм для кобальта-60. При использовании ускорителей электронов на энергии более 1 МВ лучшую радиографическую чувствительность по сравнению со свинцовыми экранами могут обеспечить медные экраны эквивалентной толщины. В тех случаях, когда свинцовые экраны не могут быть использованы, можно применять экраны из золота, тантала и других тяжелых металлов.

Рекомендации по выбору рентгеновских пленок по классификации, принятой с США (по ASTM E 94) приведены в табл. 13.25.

Тоблина	1	2	25
таолица	I	5	.49

	Напряжение патрубке, радиоактивные источники, ускорители электронов										
Толщина материала, мм	От 50 до 80 кВ	От 80 до 120 кВ	От 120 до 150 кВ	От 150 до 250 Кв	От 250 до 400 кВ	$^{192}\mathrm{Ir}$	1 MB	60Co	2 MB	Радий	От 6 до 31 МВ
Сталь											
От 0 до 6 мм	3	3	2	1							
От 6 до 12 мм	4	3	2	2	1						
От 12 до 25 мм		4	3	2	2	2	1		1	2	

Окончание табл. 13.25

	H	Напряжение патрубке, радиоактивные источники, ускорители электронов									
Толщина материала, мм	От 50 до 80 кВ	От 80 до 120 кВ	От 120 до 150 кВ	От 150 до 250 Кв	От 250 до 400 кВ	$^{192}\mathrm{Ir}$	1 MB	00 ⁰⁰	2 MB	Радий	От 6 до 31 МВ
От 25 до 50 мм				3	2	2	1	2	1	2	1
От 50 до 100 мм				4	4	3	2	2	2	3	1
От 100 до 200 мм					4		3	3	2	3	2
Св. 200 мм									3		2

*Эти рекомендации соответствуют обычно принятому уровню качества радиографии 2 – 2Т. Качество радиографии может быть улучшено выбором более низкого номера типа пленки, подходящей но экономическим и техническим требованиям. Указанные в таблице напряжения соответствуют рабочим энергиям излучения.

13.2.8. Выбор фокусного расстояния (расстояния от источника излучения до пленки) или расстояния от источника излучения до контролируемого объекта.

В России в соответствии с ГОСТ 7512 расстояние от источника излучения до контролируемого объекта следует выбирать таким, чтобы при просвечивании выполнялось следующее требование: геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении пленки вплотную к контролируемому объекту не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм – при чувствительности более 2 мм.

Обычно геометрическую нерезкость U_r определяют по формуле:

$$U_r = (\Phi d)/(F-d),$$
 (13.7)

где d – толщина контролируемого объекта; Φ – размер фокусного пятна источника излучения; F – фокусное расстояние. Для чувствительности контроля K < 2 мм в соответствии с ГОСТ 7512 найдем

$$U_r = (\Phi d)/(F-d) \le K/2.$$
 (13.8)

Из уравнения (2) можно найти минимальное фокусное расстояние

$$F = d(1+2\Phi/K)$$
 (13.9)

или минимальное расстояние от источника излучения до контролируемого объекта

$$f = F - d = 2\Phi d/K.$$
 (13.10)

Следует обратить внимание, что если, например, труба диаметром D просвечивается через две стенки с расшифровкой верхнего и нижнего участков, в формулы (7)-(10) вместо толщины стенки d необходимо подставить диаметр D. Для чувствительности контроля К> 2 мм в соответствии с ГОСТ 7512 найдем

$$U_r = (\Phi d)/(F-d) = 1 \text{ MM},$$
 (13.11)

откуда минимальное фокусное расстояние (в мм)

$$\mathbf{F} = \mathbf{d}(1 + \Phi) \tag{13.12}$$

или минимальное расстояние от источника излучения до контролируемого объекта (в мм)



$$\mathbf{f} = \mathbf{F} - \mathbf{d} = \mathbf{\Phi} \mathbf{d}. \tag{13.13}$$

Рис. 13.5. Номограмма для определения минимального расстояния от источника до объекта но расстоянию b от объектадо пленки и размеру фокусного пятна источника Ф, EN 444

В соответствии с европейским стандартом EN 444 отношение минимального расстояния от источника до контролируемого объекта/к размеру фокусного пятна излучателя Φ определяют из уравнений: для класса контроля А

$$f/\Phi \ge 7,5b^{2/3} \tag{13.14}$$

для класса контроля В

$$f/\Phi \ge 1.5b^{2/3} \tag{13.15}$$

где b – расстояние от поверхности объекта, обращенной к источнику, до пленки. Если расстояние b < 1,2, (где d – толщина контролируемого объекта), то в уравнениях (13.7) и (13.8) величина b должна быть заменена толщиной объекта d.

Для выбора минимального расстояния от источника до контролируемого объекта можно использовать номограмму (рис. 13.5), построенную по уравнениям (13.14) и (13.15).

Максимальные значения геометрической нерезкости при радиографическом контроле материалов различной толщины приведены в табл. 13.26.

Таблица 13.26

Толщина материала, мм	Нерезкость (максимум), мм
Менее 50	0,5
От 50 до 75	0,75
От 75 до 100	1,0
Св. 100	1,8

В соответствии со стандартами США геометрическая нерезкость изображений на рентгеновской пленке не должна превышать значений, данных в табл. 13.26. В соответствии со стандартом ASTM Е 94 геометрическая нерезкость может быть рассчитана по уравнению (аналогично уравнению (13.1)):

$$U_r = (\Phi d)/(F-d)$$
 (13.16)

или определена по номограмме (рис. 13.6).

Пример определения геометрической нерезкости по номограмме (рис. 13.6).

Дано: расстояние «источник-объект» (F-d) = 400 мм; размер фокусного пятна Φ – 5 мм; толщина объекта d = 15 мм.

Для определения геометрической нерезкости проводят прямую линию (штриховая линия) между 5 мм на шкале Ф и 15 мм на шкале d. Отмечают точку P на линии поворота. Проводят прямую линию (сплошная линия на рис. 13.6) от 400 мм на шкале F-d через точку P к шкале U_r Пересечение этой линии со шкалой U_r дает геометрическую нерезкость в мм: $U_r = 0,19$ мм.



Рис. 13.6. Номограмма для определения геометрической нерезкости U_r по ASTM E 94

Так как размер фокусного пятна Ф обычно определен для конкретного источника излучения, величину U_r при данной толщине объекта d обычно изменяют, варьируя фокусное расстояние F.

13.2.9. Оптическая плотность снимков.

В соответствии с ГОСТ 7512 оптическая плотность изображений контролируемого участка сварного шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5. Максимальная оптическая плотность снимков определяется максимальной яркостью освещенного поля негатоскопа, которая должна составлять не менее 10^{S+2}, где S – оптическая плотность снимка. По европейским стандартам (EN 444 и др.) минимальная оптическая плотность радиограмм, включая оптическую плотность подложки и вуали, определяется данными табл. 27. Максимальная плотность определяется яркостью поля используемых негато-

скопов по стандарту EN 25580. По стандартам США оптическая плотность радиографического снимка в месте изображения эталона чувствительности и интересующего участка контролируемого объекта должна составлять минимум 1,8 в случае снимка, полученного при просвечивании рентгеновским излучением, или 2 для снимка, полученного при помощи источника гамма-излучения.

Минимальная оптическая плотность радиограмм приведены в табл. 13.27.

Таблица 13.27

Класс контроля	Оптическая плотность, *)
А	\geq 2,0
В	$\geq 2,3$

*) Допускаемая погрешность +0,1

Коэффициент к перехода по времени просвечивания от пленки РТ-1 к другим пленкам приведены в табл. 13.28.

Таблица 13.28

Вариант зарядки пленки	PT-1	PT-2	РТ-СШ	PT-4M	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	0,50,2 2	0,040,015	1,250,5	2,51,1	4,21,8

Если просматриваются на просвет одновременно два наложенных радиографических снимка, минимальная оптическая плотность каждого из них должна иметь величину порядка 1,3, а суммарная плотность должна иметь величину минимум 2,6. Максимальная оптическая плотность одного или суммарная плотность двух радиографических снимков не должна превышать 4,0.

Уровень радиографического качества	Толщина пенетрометра Т в % толщины контролируемого материала	Минимально различимый диаметр отверстия	Эквивалентная чувствительность ² по пенетрометру, %
2-1 T	2	1T	1,4
2-2 T	2	2T	2,0
2-4 T	2	AT	2,8
Специальные уровни	контроля		
1-1T	1	1T	0,7
1-2T	1	2T	1,0
4-2T	4	2T	4,0

¹ Первая цифра означает толщину пластины в % толщины контролируемого объекта; вторая – диаметр выявляемого отверстия в единицах толщины эталона.

² Уровень чувствительности, описанный выше (по одному пенетрометру), справедлив для материалов толщиной более 6 мм, уровень чувствительности для более тонких материалов требует разных пенетрометров.

Практически в США для радиографии обычно устанавливают уровень качества в 2 % (2–27), если по соглашению между потребителем и поставщиком контролируемых объектов не требуется более высокий или более низкий уровень. Если для пенетрометров нет материала, подобного радиографируемому, могут быть использованы пенетрометры с теми же размерами, но из менее поглощающего материала.

13.2.10. Выбор энергии излучения (напряжения на рентгеновской трубке, радионуклидного источника или энергии ускорителя электронов).

В России в соответствии с ГОСТ 20426 напряжение на рентгеновской трубке, радионуклидный источник или энергию ускоренных электронов бетатрона выбирают в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 13.30–13.31.

Область применения радиографического метода при использовании рентгеновских аппаратов приведены в табл. 13.30.

Область применения радиографического метода при использовании гамма-дефектоскопов приведены в табл. 13.31.

Область применения радиографического метода при использовании бетатронов приведены в табл. 13.32.

Таблица 13.30

Толщина просвечиваемого металла, мм			Толщи неме атом и плот	на просвеч талла со с иным номе тностью р	тряжение итгеновской убке, кВ, е выше		
Железо	Титан	Алюминий	Магний	Z=14 p=1,4	Z =6,2 P= 1,4	Z=5,5 p=0,9	Наг на рен тру
0,04	0,1	0,5	1,5	1	10	15	20
0,4	1	5	14	8	70	100	40
0,7	2	12	22	17	95	135	50
1	3	20	35	25	120	170	60
2	6	38	57				80
5	10	54	80				100
7	18	59	105				120
10	24	67	120				150
21	47	100	160				200
27	57	N2	200				250
33	72	132	240				300
46	106	210	310				400
150	265	430	650				1000

Таблица 13.31

Толщи	на просвечи	Закрытые радиоактивные		
Железо	Титан	Алюминий	Магний	источники
120	240	370	10200	¹⁷⁰ Tm
580	10120	40350	70450	¹⁹² Ir
10120	20150	50350	100500	¹³⁷ Cs
30200	60300	200500	300700	⁶⁰ Co

Таблица 13.32

Толщин	на просвечива	Энергия ускоренных		
Железо	Титан	Алюминий	Свинец	электронов, МэВ
50100	90190	150310	3060	6
70180	130350	220570	40110	9
100220	190430	330740	40110	18
130250	250490	480920	60120	25
150350	290680	5701300	60150	30
150450	290880	6101800	60180	35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенном учебном пособии, изложена совокупность практических вопросов по радиографии сварных швов. Гармонизированная с требованиями международных стандартов.

В этом пособии изложены практические основы радиографического контроля сварных швов из металла, приведены технологии радиографического контроля для различных опасных объектов с учетом однородных групп изделий, с использованием основополагающей национальной нормативно-технической документации, утвержденных Госгортехнадзором, Госатомнадзором, Госстандартом РФ в виде Гостов, Правил, ТУ, Методик, Руководящих документов и т. д.

В работе изложены термины и определения основных понятий неразрушающего радиационного контроля материалов (ГОСТ 24034-80), термины и определения сварки металлов (ГОСТ 26011-84), классификация сварных соединений (ГОСТ 23055-78). Рассмотрены методы и средства промышленной радиографии, приведены физические основы и основные параметры радиографии, сравнительные характеристики методов промышленной радиографии, принадлежности радиографии (ГОСТ 15843–79). Изложены основы метода радиографического контроля сварных соединений из металлов, выполненных сваркой плавлением с толщиной свариваемых деталей от 1 до 400 мм с применением рентгеновского и тормозного излучения (ГОСТ 7512-82, ОСТ 102-51-87). Рассмотрены радиографический контроль качества магистральных и промысловых трубопроводов согласно норм (ВСН-012-88); радиографический контроль сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций (АЭС) (ОСТ 108.004.110-87); литых изделий с использованием рентгеновского и электрорентгеновского контроля (ПИ 1.2.226-83); радиографический контроль сосудов и аппаратов, работающих под давлением (ОСТ 2611-03-84). Подробно изложены основные положения и принципы импульсной радиографии с использованием импульсных рентгеновских аппаратов. Также изложены принцип действия, характеристики, конструктивные особенности импульсных рентгеновских аппаратов, используемых в настоящее время в практике радиографического контроля. Приведены принцип действия аппаратов «МИРА-2Д»; «АРИНА-02», «ПИОН», современных аппаратов типа РАП, разработанных ООО «Фотон» НИИ Интроскопии, рассмотрены основные положения радиационной безопасности при радиационном контроле. Изложены вопросы стандартизации, приведены стандарты России и международные стандарты. Подробно изложены основные положения и сравнительные характеристики типовых методик радиационного контроля в России, Германии, США.

Информационная база лаборатории радиационного контроля

Для нормального функционирования лаборатории радиационного контроля необходимо наличие современной информационной базы в виде современных международных и национальных стандартов, ГОСТов, Р.Д., Остов, методических указаний, инструкций, учебников учебных пособий т. д. в области радиационного контроля с использованием рентгеновского и гамма-излучения. В соответствие с требованиями аккредитации и Руководства по качеству необходимо наличие для использования в работе соответствующего информационного обеспечения. Эта информационная база представлена в наиболее полном объеме в списке литературы, отражающим всю совокупность необходимых знаний для работы лаборатории радиационного контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.
- 2. ГОСТ 26011-84. Сварка металлов. Основные понятия. Термины и определения.
- 3. ГОСТ 20426–82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
- ГОСТ 23055–78. Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.
- 5. Методы и средства промышленной радиографии. Справочник Компания Аргус Лимитед. 1995.
- 6. ГОСТ 15843–79. Принадлежности для промышленной радиографии. Основные параметры.
- 7. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Радиографический метод.
- 8. ОСТ 102–51–85. Контроль неразрушающий Сварные соединения трубопроводов, Радиографический метод. – М.: Издательство стандартов, 1985.
- 9. ГОСТ 2611 03-84. Радиографический контроль сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением.
- ОСТ 108.004–87. Отраслевой стандарт. Содинения сварные оборудования атоммных 8 электростанций. Радиографический контроль. – М.: Издательство стандатов, 1987.
- 11. ГОСТ 28277–89. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Электрорадиографический метод. Общие требования.
- 12. Нормы ВСН-О12–1988 г. Контроль качества магистральных и промысловых трубопроводов.
- 13. ОСТ 25541-82. Электрорадиография. Термины и определения.
- Ф.Р., В.В. Клюев. Система международных стандартов и современное состояние европейской стандартизации неразрушающего коннтроля сварных соединений. – Контроль. Диагностика. – № 12.
- 15. В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.В. Ефимов Физические и экспериметальные основы радиационного контроля и диагностики. Ч. 1. Основы теориии практиики радиационного контроля. – Томск: Изд. ТПУ, 2007.
- 16. 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.
- 17. Санитарные правила при проведении рентгеновской дефектоскопии № 2191-80. М.: Минздрав СССР, 1980. 36 с.
- 18. Санитарные правила при радиоизотопной дефектоскопии № 1171-74. М.: Минздрав СССР, 1974. 27 с.

- 19. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ ПБТРВ-73. М.: Атомиздат, 1974. 22 с.
- 20. EN 444 Non-destructive testing General principles for radiographic examination of metallic materials by X-and gamma-rays.
- 21. EN 473 Qualifications and cerification of non-destructive testing personnel General principles.
- 22. EN 584-1 Non-destructive testing-Industrial radiographic film Classification of film systems for industrical radiography.
- 23. DIN-54109 Bildgute von Rontgen und Gamma Filmaufnahmen an metallishen Werkstoffen.
- 24. ASTM E 94 Standard Practice for Radiographic Testing.
- 25. А.И. Маслов, В.Г. Запускалов, Б.В. Артемьев, Ю.Е. Волчков (ЗАО «НИИИН МНПО "Спектр"», Москва) Пионеры рентгенодефектоскопии – FEINFOCUS. Развитие технологии микрофокусной рентгеноскопии // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 8.
- 26. В.В. Ковшюв, В.А. Добромыслов, Ф.Р. Соснин, В.Г. Фирстов, Е.Н. Косарина, Е.Н. Гагин // Контроль. Диагностика. № 1. 1999. С. 31–41. Контроль. Диагностика. № 2. 1999. С. 36–43. В статье приводятся данные но выбору режимов и методик радиографического и радиоскопического контроля материалов и изделий. Эти данные базируются на следующих стандартах: в России ГОСТ 7512, ГОСТ20426, ГОСТ23055; в Европе ЕN 444, EN 584-1; в Германии ~ DIN 54109; в США АSTM Е 94, ASTM E 142, ASTM E 1255.
- 27. Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. М.: Атомиздат, 1972. – 352 с.
- 28. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. М.: Энергоиздат, 1982. 240 с.
- Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Теория и практика радиационного контроля. М.: Машиностроение, 1998. – 170 с.
- Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И., Азаров И.Т. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1976. – 335 с.
- 31. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. – М.: Атомиздат, 1979. – 200 с.
- Рентгенотехника: справочник. В 2 кн. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, Кн. 1. – 1992. – 480 с.; Кн. 2. – 1992. – 368 с.
- Горбунов В.И., Покровский А.В. Радиометрические системы радиационного контроля. – М.: Атомиздат, 1979. – 120 с.
- Ю.А. Быстров, А.И. Иванов. Ускорительная техника и рентгенновские аппараты. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
- 35. С.Н. Ардашников, С.М. Голдин А.В., Николаев Л.С, Рузер Э.М. Центер Защита от радиоактивных излучений. М.: Гос. научно-тех. Издат., 1961.
- А.И. Майоров, С.М. Амикоян, В.Г. Фирсто в. Радиоизотопная дефектоскопия (методы и аппаратура). – М.: Атомиздат, 1976. – 208 с.

- Жуковский Ю.Г., Сергеев В.О. Практикум по ядерной физике. Изд. Высшая школа, 1975. – 192 с.
- П.А. Тишкин. Ч. 1. Экспериментальные методы ядерной физики. Изд. ЛГУ, 1970. – 231 с.
- В.Я. Голиков, И.К. Коренков. Радиационная защита при использовании ионизирующих излучений. – М.: Медицина, 1975.
- 40. Практикум по радиацинной физике: учебное пособие / под ред В.И. Иванова. Изд. МИФИ, 1980. 112 с.
- 41. Прокофьев О.Н. Дозиметрические величины в радиационной безопасности: учебное пособие. – Барннаул, 1993. – 39 с.
- 42. Маргулис У.Я. Раддиация и защита. 1974. 160 с.
- 43. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник в 2-х кн. / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
- 44. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энерго-издат, 1991.
- 45. Иванов В.И. Курс дозиметрии: учебник для вузов. М.: Атомиздат. 392 с.
- Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 246 с.
- 47. Электрорадиография / И.П. Варанецкас, Р.А. Каваляускас, А.И. Каминскас, Ю.К. Ракаускас. – М.: Атомиздат, 1974. – 264 с.
- Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986. – 207 с.
- 49. Маслов А.И., Запускалов В.Г. и др. Новая технология радиационного контроля толщины листового неметаллического материала // Контроль и диагностика. № 8. 2005.
- 50. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила расследования и учёта нарушений при обращении с радиационными источниками и радиоактивными веществами, применяемыми в народном хозяйстве» (НП-014-2000), утвержденые постановлением Госатомнадзора России от 28.03.2000 № 1.
- 51. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности» (НП-019-2000), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 27.09.2000 № 7.
- 52. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твёрдых радиоактивных отходов. Требования безопасности» (НП-020-2000), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 27.09.2000 № 28.
- 53. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила физической защиты радиационных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ» (НП-034-01), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 16.01.2002 № 3.
- 54. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности радиационных источ-

ников» (НП-038-02), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 18.11.2002 № 11.

- 55. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к содержанию отчёта по обоснованию безопасности радиационных источников» (НП-039-02), утверждены постановлением Госатомнадзора России от 18.11.2002 № 12.
- 56. Положение о лицензировании деятельности в области использовании атомной энергии, утверждено постановлением правительства РФ от 14.07.97 № 865.
- 57. Правила организации системы государственного учёта и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, утвержденые постановлением правительства РФ от 11.10.97 № 1298.
- 58. Перечень должностей работников объектов использования атомной энергии, которые должны получать разрешения Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности на правоведения работ в области использования атомной энергии, утвержденный постановлением правительства РФ от 03.03.9 № 240.
- 59. О перечне медицинских противопоказаний и перечне должностей, на которые распространяются данные противопоказания, а также о требованиях к проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии, утвержденных постановлением правительства РФ от 01.03.97 № 233.
- 60. Положение о государственном учёте и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации, утверждено Министром РФ по атомной энергии 11.10.99. (Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99.
- 61. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СП 2.6.1.799-99.
- 62. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СП 2.6.6.1168-02.
- 63. Санитарные правила при проведении рентгеновской дефектоскопии № 2191-80. М.: Минздрав СССР, 1980. 36 с.
- 64. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ-73) № 1139-73. М.: Атомиздат, 1974. 27 с.
- 65. Правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом (ППОГАТ-95), утверждены Приказом Министра транспорта РФ от 08.08.95 № 73 (в ред. Приказов Минтранса РФ от 11.06.99 № 37, от 14.10.99 № 77.
- 66. ГОСТ 12.0.004.–90. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
- 67. ГОСТ 17925–72. Знак радиационной опасности.
- 68. Руководство по безопасности «Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных отходов для их хранения и захоронения» (РБ-023-02), утверждено постановлением Госатомнадзора России от 10.01.2002 № 1.

- 69. Руководство по безопасности «Требования к содержанию отчёта о состоянии радиационной безопасности на радиационно-опасных объектах народного хозяйства» (РБ-012-2000), утверждено постановлением Госатомнадзора России от 10.10.2000 № 11.
- 70. Безопасность труда в радиационной дефектосеопии / О.Ф. Партолин и др. М.: Энергоиздат, 1986.
- 71. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утвержденные Нач. управления по технике безопасности и промсанитарии Минэнерго СССР от 10.09.1985.
- 72. Гельфанд М.Е., Клиндухов С.Н. Радиационная безопасность при монтаже и наладке радиационной техники. – М.: Энергоиздат, 1992.
- Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Изд. 4. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
- 74. Гусев Н.Г. Беляев. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1980.
- 75. Положение о выдаче разрешений Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности на право ведения работ в области использования атомной энергии работникам пунктов хранения радиоактивных отходов (специализированных предприятий по обращению с радиоактивными отходами) и предприятий (учреждений, организаций), эксплуатирующих радиационные источники (РД-07-14-2001), утверждено постановлением Госатомнадзора России от 19.11.2001 № 12.
- 76. Система сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. Номенклатура оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, подлежащих обязательной сертификации в Системе сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения (ОИТ-0013-2000), утверждённая совместным приказом министра РФ по атомной энергии, председателя Госкомитета РФ по стандартизации и метрологии и начальника Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности от 24.04.2000 № 233/28/152.
- 77. ГОСТ 12.2.007.0–75 «Правила устройства электроустановок», утвержденных Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем и Госэнергонадзором Министерства энергетики России.
- «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП-72/87. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
- 79. «Санитарные правила при радиоизотопной дефектоскопии» № 1171-74. М.: Минздравс СССР, 1974, утвержденные заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 7 августа 1974 г.
- This articl is quide for selection details of radiographic and radioscopic material testing techniques. This techniques based on next standards: in Russia – GOST7512, GOST 20426, GOST 23055; in Europe – EN 444,

EN584-1; in Germany-DIN54109; in USA – ASTM E 94; ASTM E 142; ASTM E 1255.

- 81. Ковшюв В.В., Добромыслов В.А., Соснин Ф.Р., Фирстов В.Г., Косарина Е.Н., Гагин Е.Н. // Контроль. Диагностика. № 1. 1999. С. 31–41. Контроль. Диагностика. № 2. 1999. С. 36–43. В статье приводятся данные но выбору режимов и методик радиографического и радиоскопического контроля материалов и изделий. Эти данные базируются на следующих стандартах: в России ГОСТ 7512, ГОСТ20426, ГОСТ23055; в Европе ЕN 444, EN 584-1; в Германии ~ DIN 54109; в США АSTM Е 94, ASTM Е 142, ASTM Е 1255.
- 82. ГОСТ 18061–90. Толщиномеры радиоизотопные. Общие технические условия.
- 83. ГОСТ 16950-81. Техника радиационно-защитная, термины и определения.
- ГОСТ 220914–86. Приборы рентгеновские. Методы измерения напряжения рентгеновской трубки.
- 85. ГОСТ 220919-86. Приборы рентгеновские. Методы измерения размеров эффективного фокусного пятна.
- 86. ГОСТ 23764–79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия.
- 87. ГОСТ 25 И 3–86. Контроль неразрушающий. Аппараты рентгеновские для промышленной дефектоскопии. Общие технические условия.
- ГОСТ 27947–88. Контроль неразрушающий. Рентгенотелевизионный метод. Общие требования.
- ГОСТ 29052–91. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы рентгенотелевизионные с РЭОПами и электрорентгенографические. Общие технические требования.
- 90. ГОСТ 20337-74. Приборы рентгеновские. Термины и определения.
- 91. ГОСТ 23764-82. Гамма -дефектоскопы. Общее технические требования.
- 92. ГОСТ 25113-86. Аппараты рентгеновские для промышленной дефектоскопии.
- 93. ГОСТ 8.452-82. Приборы рентгенорадиометрические.
- 94. ГОСТ 26114-84*. Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц.
- 95. ГОСТ 3242–79. Соединения сварные (методы контроля качества).
- 96. ГОСТ 14098–91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций.
- 97. ГОСТ 26114–84. Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц. Основные параметры и общие технические требования.
- 98. ГОСТ 29025–91. Дефектоскопы рентгенотелевизионные с рентгеновскими электронно-оптическими преобразователями электрорентгенографические.
- ГОСТ 25935–83. Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров.
- 100. ГОСТ 12.3.022-8. ССБТ. Дефектоскопия радиоизотопная. Требования безопасности.
- 101. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Класификация видов и методов.

- 102. ГОСТ 14336-87. Приборы радиоизотопные. Термины и определения. Правила построения наименований.
- 103. ГОСТы 16759–16761–71. Гамма-дефектоскопы. Термины и определения. Общие технические требования. Основные параметры.
- 104. ГОСТ 16865–79. Аппаратура для рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов. Термины и определения.
- 105. ГОСТ 22556–77. Толщиномеры радиоизотопные металлических и неметаллических покрытий. Типы и основные параметры.
- 106. ГОСТ 22987–78. Устройства сканирующие для радиоизотопных толщиномеров. Типы, основные параметры и размеры.
- 107. ГОСТ 19647–74. Методы и средства рентгенорадиометрического анализа. Термины и определения.
- 108. ГОСТ 22555–7. Толщиномеры радиоизотопные металлических и неметаллических покрытий. Общие технические требования.
- 109. ГОСТ 21497-76. Уровнемеры радиоизотопные измерительные. Общие технические требования.
- 110. ГОСТы 16001–76–16004–76. Источники излучения с изотопом: кобальт-60, цезий-137, иридий-192, для гамма-ддефектоскопов. Типы, основные параметры и размеры.
- 111. ГОСТ 25858–83. Меры поверхностной плотности и толщины для радиоизотопных толщиномеров проката чёрных металлов. Общие технические условия.
- 112. ГОСТ 22319–77. Плотномеры радиоизотопные бетонов и грунтов переносные. Общие технические требования.
- 113. ГОСТ Р ИСО 10124–99. Трубы стальные напорные бесшовные и сварные.
- 114. ГОСТ Р 50559–93. Сосуды и аппараты стальные сварные высокого давления. Контроль неразрушающий при изготовлении и эксплуатации.
- 115. ГОСТ 20180–91. Плотномеры радиоизотопные жидких сред и пульп. Общие технические условия основные параметры.
- 116. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных основ ядерной физики. М.: Энергоиздат, 1985. 486 с.
- 117. Соснин Ф.Р., Волошин В.С., Симонова Т.А. Радиационный контроль. Алма-Ата, 1993. 286 с.
- 118. Кулешов В.К., Ланшаков В.Н., Ковалева Л.Э. Радиационный контроль: учебное пособие. – Томск, 2000. – 148 с.
- 119. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. 478 с.
- 120. Епифанцев Б.Н., Гусев Е.А., Матвеев В.И., Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: практическое пособие. В 5 кн. Кн. 4. Контроль излучениями / под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высшая школа, 1199. – 321 с.
- 121. Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Теория и прктика радиациоого контроля: учебное пособие для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1998. 170 с.
- 122. Вавилов С.П. Импульсная рентгенновская техника // Энергия. 1981. 91 с.

- 123. Горбунов В.И., Куницин Г. Ускорители заряженных частиц: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПИ, 1980. – 95 с.
- 124. Быстров Ю.А., Иванов С.А. Ускорительная техника и рентгенновские приборы: учебник для вузов по спец «Электронные приборы». М.: Высшая школа, 1983. 288 с.
- 125. Воробьев А.А., Ананьев Л.М., Горбунов В.И. Бетатрон и его применение. Томск: кн. Изд. 1961. 84 с.
- 126. Соснин Ф.Р. др, Неразрушающий контроль: справочник. В т. / под общей ред. В.В. Клюева. Т.1. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2. Радиационный контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
- 127. Сибирский научно-технический рекламно-информационный бюллетень. Выпуск 1(2); Неразрушающий контроль и техническая диагностика. Томск, 2000.
- 128. Практикум по ядерной физике: учебное пособие / под ред. Р.С. Александрова. – Издательство Казанского университета, 1985. – 130 с.
- 129. Егоров Ю.А. Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и быстрых нейтронов: Гос. издательство по атмной науке и технике по использованию атрмной энергии СССР. М., 1963. 424 с.
- 130. Румянцев С.В. Радиография, радиоскопия и их комплексное применение для контроля качества изделий. М., 1992. 52 с.
- 131. Хараджа Ф.Н. Общий курсрадиотехники. М.: Энергия, 1986.
- 132. Кондратенко С.Г. Поверка средств измерений ионизирующих излучений. М.: ВИСМ, 1989.
- 133. Шмелев В.К. Рентгенновские аппараты. М.: Госэнергоиздат, 1973.
- 134. Аппарат рентгенновский импульсный МИРА-2Д. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
- 135. Аппарат рентгенновский импульсный наносекундный АРИНА. Технническое описание и инструкция по эксплуатации.
- 136. Аппарат рентгенноаский переносной для промышленного применения РАП-160-5.
- 137. Рентгеннотехника: справочник. В 2-х кн. / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1992.
- 138. Промышленная радиационная интроскопия / В.В. Клюев и др. М.: Энергоиздат, 1985.
- 139. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля / под ощей ред. С.В. Румянцева. М.: Энергоиздат, 1982. 240 с.
- 140. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий / под. ред. Н.П. Алешина. – М.: Высшая школа, 1991. – 271 с.
- 141. Контроль неразрушающий Промышленные пленнки для неразрушающего контроля. EN 584 // Контроль. Диагностика. – № 2. – 2006.
- 142. Соснин Ф.Р., Клюев В.В. Система международных стандартов и современное состояние европейской стандартизации неразрушающего коннтроля сварных соединений // Контроль. Диагностика. – № 12.

- 143. Аверкиев В.В., Кушин В.В., Покачалов С.Г. Лабораторный практикум раздел «Полупроводниковый, трековый и сцинтилляционный детекторы». – М.: Изд. МИФИ, 1990.
- 144. Аверкиев В.В., Кушин В.В., Покачалов С.Г. Лабораторный прак тикум по курсу «Экспериментальные методы ядерной физики» Раздел «Газовые ионизационные детекторы». М.: Атомиздат, 1967.
- 145. Акимов Ю.К., Калинин А.М. Полупроводниковые дтекторы ядерных частиц и их применеие. Атомиздат, 1978.
- 146. Альбиков З.А., Веретенников Л.И. Детекторы имульсного ионизирующего излучения. – М.: Атомиздат, 1978.
- 147. Белоусов А.С. Счетчики элементарных частиц. М., 1972.
- 148. Голешинов Н.Г., Солдатьеева Л.С., Трошин В.С. Практикум по спектрометрии ионизирующих излучений. – М.: Изд. МИФИ, 1990.
- 149. Калашников В.И., Козодоев М.С. Детекторы элементарных частиц. М.: Наука, 1966.
- 150. Ляпидевский В.К. Методы детектирования излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 151. Матвеев В.В., Хазанов Б.П. Приборы для измерения ионизирующих излучений. – М.: Атомиздат, 1972.
- 152. ISO 1106/1-1984. Рекомендуемая методика радиографическогконтроля сварных соединний, выполненных сваркой плавлением. Ч. 1. Стыковые соединения стальных листов толщиной до 50 мм, выполненные сваркой плавлением.
- 153. ISO 1105-2-1985. Рекомендуемая методика радиографического контроля сварных соединений выполненнх сваркой плавлением. Ч. 2. Стыковыесварные соединения стальных листов толщиной свыш 50 мм и до 200 мм включительно, выполненных сваркой плавлением.
- 154. ISO 1106/ 3-1984. Рекомендуемая методика радиографического контроля сварных соединений, выполненных сваркой плавленем. Ч. 3. Кольцевые соединения сварных швов стальных труб с толщиной стенкки до 50 мм, выполненные сваркой плавлением.
- 155. ISO-5817-1992 (Е) (EN 25817). Стальные соединения, выполненные дуговой свваркой. Руководство по опрееделению уровней качества стальных сварных соединений в зависимости от дефектов шва.
- 156. ISO 11484-1994. Трубы стальные напорные. Квалификация и аттестация персонала в области неразрушающего контроля.
- 157. EN 444: 1994. Неразрушающий контроль. Принципы радииографического метода контроля металлов рентгенновским и гамм-излучением.
- 158. EN 462-3:1997. Неразрушающий контроль Качество изображения ралиограических снимков. Ч. 3. Классы качества изображения.
- 159. EN 462-4. 1994. Неразрушающий контроль. Качество изображения радиографических снимков. Ч. 4. Экспертное определение индекса качества изображения и таблиц качества изображения.
- 160. EN 473:2000. Квалификация и сертификация персонала неразрушающего контроля.

- 161. EN 970: 1997. Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных сваркой плавлением. Визуальный контроль.
- 162. EN 1435: 1997. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль соединений, выполненных сваркой плалением.
- 163. EN 12062-1997. Неразрушающий контроль сварных конструкций. Общие правила для металлических материалов. Уровни приемки.
- 164. EN 12517: 1998. Неразрушающий коетроль сварных соединений. Уровни приемки.
- 165. EN 13018:2001. Неразрушающий контроль Визуальный контроль. Ч. 1. Общие принципы. Радиография ASTM.
- 166. Е 1316 термины и опредения.
- 167. Е 1165 оборудоване радиографии.
- 168. Е 2002, Е 142, Е 592, Е747, Е 1025 эталоны радиографии.
- 169. Е 94 Е 1742 общие правила радиографии.
- 170. Е 1032 радиография сварки.
- 171. Е 155 радиография отливок.
- 172. EN 462-1 индикатор качества с одной проволочкой.
- 173. EN 462-5 индикатор качества сдвумя проволочками. Радиография (CEN / TG1121 /SC 5B –HK).
- 174. EN 435 радиография сварных соединений, общие положения для металлических изделий.
- 175. EN 10246-10 контроль труб.
- 176. prEN10246-10 контроль труб.
- 177. prEN12681-5 контроль литья.
- 178. pr EN 1345-5 негорючие соссуды высокого давления.
- 179. pr EN 13480-5 металлические промышленные трубы.
- 180. prEN 12953-5 оболочечные бойлеры Радиография (стандарты ISO).
- 181. ISO 4993 радиография стального литья.
- 182. ISO 11484 стальных труб высокого давления.
- 183. ISO 5655 промышленная радиография.
- 184. ISO 7004 промышленная радиографическая пленка.
- 185. ISO 1106-1 ISO 1106-2 ISO 1106-3 контроль сплавных сварных соежинений.
- 186. ISO 3999-1 ISO3999-2 ISO-3 –контроль изделий АЭ, промышленная гаммаграфия.
- 187. ISO /TG 135 НК SC5-радиационные методы.
- 188. ISO 5576 промышленная рентгенновская и гамма радиология.
- 189. ISO 5579 радиографический контроль металлических материа лов рентгенновским и гамма излучением.
- 190. ASTM Е 1000? ASTM Е 1411 ASTM Е 1416 ASTM 1734 стандарты по радиоскопии.
- 191. Е 1570-95а Контроль с помощью компьютерно томографии.
- 192. Е 1814-96 Контроль отливок с помощью компьютерной томографии.
- 193. Е 1695-95 Измерение характеристик компьютерно-томограрафической системы.

- 194. Е 1441--97 Получение компьютерно-томографического изображения.
- 195. Е 1672-95 Выбор компьютерно-томографической системы томографического изображения.
- 196. Е 1931-97 Томография с использованием рентгенновского комптонновского рассеянного излучения.
- 197. This articl is quide for selection details of radiographic and radioscopic material testing techniques. This techniques based on next standards: in Russia – GOST7512, GOST 20426, GOST 23055; in Europe – EN 444, EN584-1; in Germany-DIN54109; in USA – ASTM E 94; ASTM E 142; ASTM E 1255.
- 198. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Система менеджмента качества. Требования.
- 199. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- 200. Дополнения к ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000 с изменением от 12.07.2000 г. система менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9001–2001).
- 201. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля ПБ ОЗ-372-00 утверждённые Госгортехнадзором России от 02.06.2000 г. № 29.
- 202. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля (ПБ 03–440–02) утвержденные постановлением Госгортехнадзора России от 23.01.02. № 3, зарегистртрованным Минюстом России 17.04.02 г., регистрационный № 3378.
- 203. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Система менеджмента качества. Требования.
- 204. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- 205. Дополнения к ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000 с изменением от 12.07.2000 г. система менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9001–2001).
- 206. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля ПБ-O3-372-00 утверждённые Госгортехнадзором России от 02.06.2000 г. № 29.
- 207. Абрамов А.И., Казанский Ю.А. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 208. Вавилов С.П., Горбунов В.И. Импульсное рентгеновское излучение в дефектоскопии. М.: Энергоатомиздат, 1980.
- 209. Горбунов В.И., Куницын Г.А. Ускорители заряженных частиц: учебное пособие. Томск: Изд. ТПИ, 1980.
- 210. Гурвич А.М. Физические основы радиационного контроля и диагностики. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 211. Гусев Е.А., Паташов В.П. и др. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок. М.: Машиностроение, 1990.
- 212. Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. М.: Атомиздат, 1972.
- 213. Забродский В.А. Применение обратно-рассеянного рентгеновского излучения в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1989.

- 214. Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Теория и практика радиационного контроля: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1998.
- 215. Москалев В.А. Бетатроны. М.: Энергоатомиздат, 1981.
- 216. Моцохин С.Б. Контроль качества сварных соединений и конструкций: Учебник для техникумов. – М.: Стройиздат, 1985.
- 217. Неразрушающий контроль с источниками высоких энергий / В.В. Клюев и др. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 218. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Контроль излучением. Кн. 4: практ. пособие / Б.Н. Епифанцев и др.; под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1992.
- 219. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев и др.; Под ред. В.В. Клюева. 2-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 2003.
- 220. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник. В 2-х кн. Кн. 1 / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986.
- 221. Промышленная радиационная интроскопия / В.В. Клюев и др. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 222. Рентгенотехника: справочник. В 2-кн. / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1992.
- 223. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. – М.: Атомиздат, 1979.
- 224. Технические средства медицинской интроскопии / под ред. Б.И. Леонова. М.: Медицина, 1989.
- Горбунов В.И., Куницын Г.А. Радиоактивные изотопы: учебное пособие. Томск: Изд. ТПИ, 1986.
- 226. Горбунов В.И., Куницын Г.А. Ускорители заряженных частиц: учебное пособие. Томск: Изд. ТПИ, 1980.
- 227. Иванов С.А., Щукин Г.А. Рентгеновские трубки технического значения. Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989.
- 228. Источники альфа, бета, гамма- и нейтронного излучений. Каталог. М.: изд-во В/О «Изотоп», 1980.
- 229. Москалев В.А. Бетатроны. М.: Энергоатомиздат, 1981.
- Альбиков З.А., Веретенников Л.И. Детекторы импульсного ионизирующего излучения. – М.: Атомиздат, 1978.
- Голешинов Н.Г., Солдатьева Л.С., Трошин В.С. Практикум по спектрометрии ионизирующих излучений. – М.: Изд-во МИФИ, 1990.
- 232. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 233. Столярова Е.А. Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1986. – 231 с.
- 234. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 235. Гусев Н.Г., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Том 1. Физические основы защиты от излучений. – М.: Атомиздат, 1980.

- 236. Защита от ионизирующих излучений. В 2 т. Т. 2. Защита от излучений ядерно-технических установок: учебник для вузов / Н.Г. Гусев, В.А. Климанов и др. М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 237. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1988.
- 238. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 3 изд. М.: Энергоатомиздат, 1982.
- 239. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы РБ: учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 240. Партолин О.Ф. и др. Радиационная безопасность при промышленной дефектоскопии / под ред. У.Я. Маргулиса. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
- 241. Радиация. Дозы, эффекты, риск / пер. с англ. М.: Мир, 1988.
- 242. Арцыбашев В.А. Ядерно-геофизическая разведка. М.: Атомиздат, 1972.
- 243. Воробьёв В.А. и др. Гамма-плотнометрия. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 244. Гарт Г. Радиоизотопное измерение плотностей жидкостей и бинарных смесей. М.: Атомиздат, 1975.
- 245. Горбунов В.И., Куницын Г.А. Радиоактивные изотопы: учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 1986.
- 246. Известия ТПУ. Том 305, 2002, Вып. 5. Тематический выпуск НИИ интроскопии и кафедры «Физические методы и приборы контроля качества».
- 247. Источники альфа, бета, гамма- и нейтронного излучений. Каталог. М.: Изд. В/О «Изотоп», 1980.
- 248. Осипов В.И. Определение плотности и влажности грунтов по рассеянию гамма-лучей и нейтронов. М.: Изд. МГУ, 1968.
- 249. Стройковский А.Е. и др. Новые средства измерения влажности шихтовых материалов в чёрной металлургии // Измерительная техника. 1980. № 4.
- 250. Чудаков В.А., Аншаков О.М. Радиоизотопное измерение плотности лёгких сред. – Минск: Изд. БГУ, 1982.

Интернет-ресурсы

- 251. АНРИ аппаратура и новости радиационных измерений: http://www.doza.ru
- 252. В мире неразрушающего контроля, журнал: http://www.ndtworld.com
- 253. Заводская лаборатория. Диагностика материалов, журнал: http://phase.imet.ac/ru/zavlabor/
- 254. Контроль. Диагностика, журнал: http://www.mashin.ru
- 255. Неразрушающий контроль, журнал: http://www.ndt.com.ua
- 256. НИИ Интроскопии при ТПУ: http://introscopy.tpu.ru
- 257. Новости NDT, информационный бюллетень: http://www.bccresearch.com
- 258. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, журнал: http://reklama@tgizdat/ru
- 259. ТД И НК, журнал: http://www.nas.gov.ua/pwj
- 260. NDT UA.COM: http://www.ndt-ua.com
- 261. ND.RU http://www.td.ru
- 262. USNDT.COM.U: http://www.usndt.com.ua

В разработке систем менеджмента качества (СМК) применимых к лабораториям радиационного контроля используются следующие стандарты:

- 263. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Система менеджмента качества. Требования.
- 264. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- 265. Дополнения к ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000 с изменением от 12.07.2000 г. система менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9001–2001).
- 266. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля ПБ O3-372-00 утверждённые Госгортехнадзором России от 02.06.2000 г. № 29.
- 267. ПИ 1.2.226-83.Рентгенновский электрорентгеннографический контроль литых изделий.
- 268. РДИ 38.18.001-83 Радиографическая профильная толщинометрия.
- 269. Кулещов В.К. Абрамов В.П., Варваренко В.И., Дель В.Д., Смирнов А.Н. Рентгеннодиагностическая установка на базе газоразрядного преобразователя / Тезисы доклада 6-го Всесоюззного симпозиума Люминесцентные приемники и преобразователи ионизирующих излучений. – Львов, 1988. – С. 1.
- 270. Кулешов В.К., Дель В.Д., Ланшаков ВВ.Н. Газоразрядный преобразователь рентгенновского изображения // Сборник изд. НИИ ЭТИ. Аналитический обзор за 1985–1989 гг. – № 4984. – С. 85.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИ	ИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА	А 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	
OCHO	ВНЫХ ПОНЯТИЙ В РАДИАЦИОНОМ КОНТРОЛЕ	6
1.1.	Основные понятия	6
1.2.	Преобразование радиационного изображения и эталоны	
	чувствительности неразрушающего радиационного контроля	7
1.3.	Методы радиационного неразрушающего контроля	8
1.4.	Средства радиационного неразрушающего контроля	11
1.5.	Термины, характеризующее ионизирующее излучение	12
ГЛАВА	А 2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	
OCHO	ВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ	14
2.1.	Виды сварки	14
2.2.	Сварные соединения и швы	18
2.3.	Технология сварки	24
2.4.	Оборудование и материалы	28
2.5.	Дефекты сварных соединений	31
ГЛАВА	А З. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	
РАДИ	ЭГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ	34
3.1.	Общие положения	34
3.2.	Область применения радиографического контроля материалов	35
ГЛАВА	А 4. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
ПО РЕ	ЗУЛЬТАТАМ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ	38
ГЛАВА	А 5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА	
ПРОМ	ЫШЛЕННОЙ РАДИОГРАФИИ	44
5.1.	Физические основы и основные параметры радиографии [5]	44
5.2.	Принадлежности для промышленной радиографии.	
	Основные размеры [6]	52
5.3.	Условная запись дефектов при расшифровке снимков	
	и документальном оформлении	
	результатов радиографического контроля [7]	57
5.4.	Примеры сокращенной записи дефектов	
	при расшифровке снимков и документальном	50
	оформлении результатов радиографического контроля	39
ГЛАВА	А 6. РАДИОГРАФИЧЕСКИИ КОНТРОЛЬ	()
CBAPI	ных соединении из металла [8]	60
6.1.	Общие положения	60
6.2.	Схемы просвечивания сварных соединений	62

6.3.	Выбор параметров радиографического контроля	69
6.4.	Дешифровка радиографических снимков	74
6.5.	Методика расшифровки радиографических снимков	77
	6.5.1. Общие положения	77
	6.5.2. Методика расшифровки	78
6.6.	Примеры записи дефектов	80
	6.6.1. Типы дефектов и их схематическое изображение	80
	6.6.2. Примеры записи при оформлении заключений	82
ГЛАВА	А 7. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ	
CBAPH	НЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ	
ATOM	НЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (АЭС)	83
7.1.	Основные положения радиографического контроля АЭС	83
7.2.	Подготовка к контролю	84
7.3.	Требования к квалификации персонала	
	в области неразрушающего контроля	88
	7.3.1. Требования к квалификации специалиста І-го уровня	88
	7.3.2. Требования к квалификации специалиста II-го уровня	89
	7.3.3. Требования к квалификации специалиста III-го уровня	90
7.4.	Требования к средствам контроля	91
	7.4.1. Источники излучения	91
	7.4.2. Принадлежности для контроля	93
7.5.	Требования к метрологическому обеспечению	
	радиографического контроля	97
7.6.	Схемы контроля. Выбор параметров контроля 1	01
7.7.	Расшифровка радиографических снимков 1	11
7.8.	Радиографический контроль в условиях радиационного фона 1	13
7.9.	Перечень рекомендуемых средств для радиографической	
	толщинометрии технологических трубопроводов 1	17
ГЛАВА	А 8. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ	
И ПРО	МЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ 1	19
8.1.	Общие положения 1	19
8.2.	Приемка, отбраковка и освидетельствование труб,	
	деталей трубопроводов и запорной арматуры 1	20
8.3.	Контроль качества сварных соединений трубопроводов 1	22
8.4.	Характеристики радиографических пленок 1	145
8.5.	Технические характеристики источников излучения 1	146
8.6.	Технические характеристики гамма-дефектоскопов 1	46
ГЛАВА	А 9. РАЛИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ	
CBAPH	НЫХ СОЕДИНЕНИЙ СОСУДОВ И АППАРАТОВ.	
РАБОТ	АЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ 1	148
9.1.	Общие положения 1	148
9.2.	Подготовка к проведению контроля 1	150

9.3. Схемы просвечивания	
9.3.1. Схемы контроля сварных соединений	
9.4. Чувствительность радиографического метода контроля	
9.5. Режимы и параметры контроля	
9.6. Требования к снимкам, расшифровка снимков,	
оценка качества сварных швов,	
хранение радиографических снимков	160
9.7. Основные характеристики рентгеновских аппаратов	161
9.8. Основные технические характеристики бетатронов	
9.9. Основные технические характеристики микротронов	165
9.10. Основные характеристики гамма – дефектоскопов	
9.11. Определение экспозиции при радиографическом контроле	169
ГЛАВА 10. ПРИНЦИПЫ РАДИОГРАФИИ	
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО	
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	173
10.1. Принципы рентгенографического контроля [124]	173
ГЛАВА 11. РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ	
11.1. Принципы работы рентгеновского аппарата [119, 130–134]	193
11.2. Импульсные рентгеновские аппараты [119]	
11.3. Принцип действия, характеристики	
и конструктивные особенность импульсных	
рентгеновских аппаратов	
11.4. Современные отечественные	
рентгеновские аппараты типа рап	201
11.5. Устройство и работа импульсных рентгеновских Аппарато	в 204
11.5.1. Принцип работы рентгеновского аппарата «Арина-()2» 204
11.5.2. Принцип работы рентгеновского аппарата «МИРА-	2Д» 206
11.5.3. Принцип работы рентгеновского аппарата «Пион».	
11.6. Принцип работы частотно-ипульсного	011
рентгеновского аппарата серии РАП	
11./. Рентгеновские аппараты заруоежных фирм	
ГЛАВА 12. НАЦИОНАЛЬНЫЕ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДА	РТЫ.
МЕТРОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННОГО	017
неразрушающего контроля	
12.1. Задачи стандартизации	
12.2. Национальные стандарты	
12.3. Международные, региональные и национальные (сша) орга	анизации по
стандартизации неразрушающего контроля	
12.3.1. Предметный указатель стандартов ISO и CEN	
12.5.2. Стандарты и проекты ISO по радиографии	223
12.3.3. Стандарты (СМ) и проскты стандартов (ГК ЕМ) по радиографии (по состоянию на июнь 2001 г.)	225
10 pagnot papin (10 coctonnito na mond 2001 1.)	

. 227
. 229
. 232
. 237
. 237
. 238
. 268
. 270

Учебное издание

КУЛЕШОВ Валерий Константинович СЕРТАКОВ Юрий Иванович ЕФИМОВ Павел Васильевич ШУМИХИН Вячеслав Федорович

ПРАКТИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор *доктор технических наук,* профессор В.К. Кулешов Компьютерная верстка К.С. Чечельницкая Дизайн обложки О.Ю. Аршинова

Подписано к печати 14.04.2011. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка». Печать XEROX. Усл. печ. л. 16,75. Уч.-изд. л. 15,15. Заказ 503-11. Тираж 35 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет Система менеджмента качества Издательства Томского политехнического университета сертифицирована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



издательство ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru