

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе
для студентов специальности*

*1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»
заочной формы обучения*



Могилев 2021

УДК 621.791.7
ББК 30.61
М38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства»
«20» февраля 2021 г., протокол № 9

Составитель канд. техн. наук, доц. А. Н. Сеница

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Даны методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине
«Методы контроля качества сварных соединений».

Учебно-методическое издание

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная вёрстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Цель и задачи контрольной работы.....	5
2 Тематика самостоятельной контрольной работы	5
3 Краткие теоретические сведения о радиографическом неразрушающем контроле.....	7
3.1 Сущность радиографического контроля	7
3.2 Основные сведения о рентгеновском излучении и γ -излучении	7
3.3 Взаимодействие γ - и R-излучения с материалом объекта контроля	10
3.4 Виды нерезкостей радиационного изображения.....	10
3.4 Чувствительность радиографического контроля.....	12
3.5 Радиографическая плёнка как детектор ионизирующего излучения	12
4 Последовательность выполнения контрольной работы.....	14
4.1 Выбор источников γ - и R-излучения.....	14
4.2 Схемы контроля и определение параметров контроля	15
5 Примеры выполнения контрольной работы.....	22
Список литературы	28
Приложение А. Размеры эталонов чувствительности.....	29
Приложение Б.....	30
Приложение В.....	31

Введение

Повышение долговечности и надёжности сварных металлоконструкций в значительной степени зависит от применяемых методов и средств технического контроля качества сварных швов. Наибольший интерес для промышленности представляют физические методы дефектоскопического контроля качества продукции без разрушения, в том числе с использованием ионизирующего излучения (ИИ).

Радиационная дефектоскопия – это совокупность методов контроля качества путём просвечивания материалов и изделий различными видами проникающей ионизирующей радиации.

Рентгено- и гамма-дефектоскопический контроль является наиболее массовой областью применения в народном хозяйстве рентгеновских аппаратов и источников γ -излучения. В общем объёме применяемых в промышленности физических неразрушающих методов контроля он составляет не менее 70 %.

В процессе выполнения контрольной работы студенту предоставляется возможность определить режимы радиографического контроля относительно несложного сварного узла. При этом студент должен применять знания, полученные при изучении лекционного материала дисциплины «Методы контроля качества сварных соединений», а также навыки, приобретённые в процессе выполнения лабораторных занятий.

1 Цель и задачи контрольной работы

Целью самостоятельной контрольной работы является приобретение студентами навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса «Методы контроля качества сварных соединений».

В процессе выполнения самостоятельной контрольной работы студенты углубляют свои знания и умения самостоятельно определять технологические режимы радиографического метода неразрушающего контроля.

2 Тематика самостоятельной контрольной работы

Темой контрольной работы является выбор режимов радиографического контроля сварного узла. Вариант контрольной работы студент должен выбирать в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Варианты самостоятельной контрольной работы

Номер варианта	Форма узла	Сварной шов	Толщина металла, мм	Класс сварного соединения по ГОСТ 23055	Ионизирующее излучение	Количество суток после зарядки источника ИИ
1	Труба Ø 32 м	Кольцевой	4	1	Рентгеновское	
2	Труба Ø 32 м	Кольцевой	5	2	γ-излучение	9
3	Труба Ø 57 мм	Кольцевой	5	3	Рентгеновское	
4	Труба Ø 57 мм	Кольцевой	6	4	γ-излучение	11
5	Труба Ø 89 мм	Кольцевой	6	5	Рентгеновское	
6	Труба Ø 89 мм	Кольцевой	7	1	γ-излучение	13
7	Труба Ø 159 мм	Кольцевой	7	2	Рентгеновское	
8	Труба Ø 159 мм	Кольцевой	8	3	γ-излучение	15
9	Труба Ø 219 мм	Кольцевой	8	4	Рентгеновское	
10	Труба Ø 219 мм	Кольцевой	9	5	γ-излучение	17
11	Труба Ø 351 м	Кольцевой	9	1	Рентгеновское	
12	Труба Ø 351 м	Кольцевой	10	2	γ-излучение	19
13	Труба Ø 426 мм	Кольцевой	10	3	Рентгеновское	
14	Труба Ø 426 мм	Кольцевой	11	4	γ-излучение	21
15	Труба Ø 530 мм	Кольцевой	11	5	Рентгеновское	
16	Труба Ø 530 мм	Кольцевой	12	1	γ-излучение	23
17	Труба Ø 820 мм	Кольцевой	12	2	Рентгеновское	
18	Труба Ø 820 мм	Кольцевой	13	3	γ-излучение	25
19	Труба Ø 1020 мм	Кольцевой	13	4	Рентгеновское	
20	Труба Ø 1020 мм	Кольцевой	14	5	γ-излучение	27
21	Труба Ø 1420 мм	Кольцевой	14	1	Рентгеновское	
22	Труба Ø 1420 мм	Кольцевой	15	2	γ-излучение	29
23	Труба Ø 630 мм	Продольный	15	3	Рентгеновское	
24	Труба Ø 720 мм	Продольный	16	4	γ-излучение	31
25	Труба Ø 820 мм	Продольный	16	5	Рентгеновское	
26	Труба Ø 920 мм	Продольный	17	1	γ-излучение	33

Окончание таблицы 1

Номер варианта	Форма узла	Сварной шов	Толщина металла, мм	Класс сварного соединения по ГОСТ 23055	Ионизирующее излучение	Количество суток после зарядки источника ИИ
27	Труба Ø 1020 мм	Продольный	17	2	Рентгеновское	
28	Труба Ø 1120 мм	Продольный	18	3	γ-излучение	35
29	Труба Ø 1220 мм	Продольный	18	4	Рентгеновское	
30	Труба Ø 1420 мм	Продольный	19	5	γ-излучение	37
Примечание – Материал объекта контроля – сталь.						

Основные технические характеристики источников ионизирующего излучения представлены в таблицах 2, 3 [1, 2].

Таблица 2 – Основные технические характеристики рентгеновских аппаратов

Тип аппарата	Диапазон напряжения, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Размер фокусного пятна, мм	Размер рентгеновского излучателя, мм
РУП-120-5-1	50...20	5	2 × 2	300 × 250 × 540
РАП-160-6П	50...160	6	1,2 × 3,5	Ø 300 × 805
РУП-200-5-2	70...200	5	2 × 2,5	270 × 450 × 750
РАП-300-5Н	100...300	5	3 × 3	Ø 300 × 1250
РАП-150-7	20...150	7	1,5 × 1,5	Ø 135 × 500
РУП-150/300-1	35...150	10	Ø 5	Ø 270 × 880
	32...150	2	Ø 0,3...1,4	Ø 270 × 900
	70...250	10	4 × 4	195 × 340 × 720

Таблица 3 – Технические характеристики некоторых гамма-дефектоскопов

Дефектоскоп	Источник излучения		Период полураспада	Активность		Гамма-постоянная, $\frac{P \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}$	Диаметр активной части ϕ , мм	Масса радиационной головки, кг	Толщина просвечиваемого металла, мм
	Изотоп	Тип источника		ГБк	Ки				
Стапель-5М	Ir-192	ГИИД-1	74,5 сут	44	1,2	4,7	0,5	8	6...60
		ГИИД-2		140	3,9		1,0		
		ГИИД-3		430	11,6		1,5		
Гамма-рид-170/400	Tm-179	ИГИ-Ту-3	129 сут	16000	432	0,3	9,0	8	1...40
Гамма-рид-17/400	Cs-137	ГИД-Ц-1	30,2 года	64	1,74	3,2	3,5	8	1...40
Гамма-рид-60/40	Co-60	ГИК-2-6	5,7 года	1200	33,4	2,4950	4	145	30...200

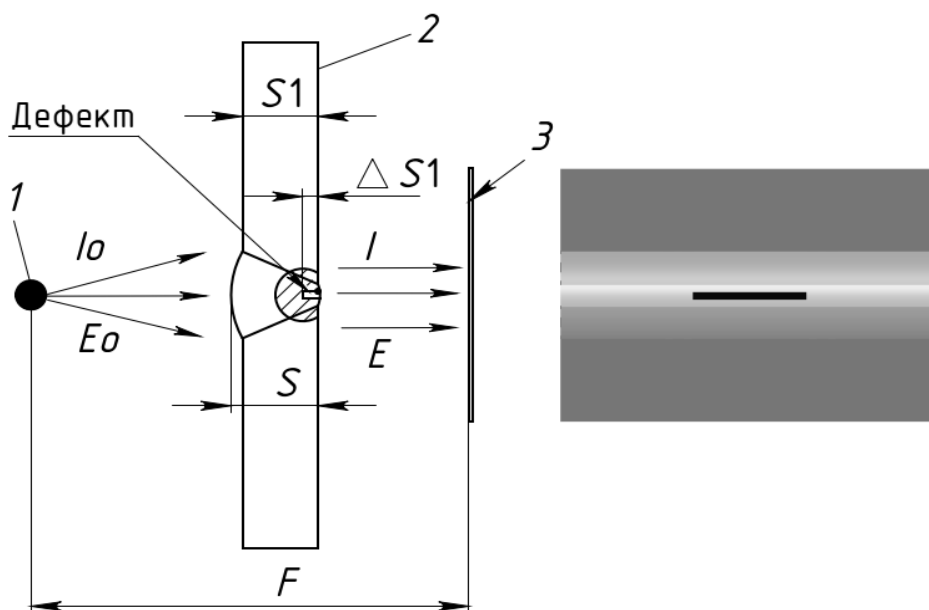
3 Краткие теоретические сведения о радиографическом неразрушающем контроле

3.1 Сущность радиографического контроля

Радиографический метод неразрушающего контроля основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или записи этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение. В зависимости от природы ионизирующего излучения (ИИ) различают рентгенографический и гаммаграфический методы контроля.

При прохождении ИИ через вещество происходит его ослабление. Степень ослабления зависит от толщин S , $S1$, плотности ρ контролируемого материала, а также энергии E и интенсивности излучения I (рисунок 1).

Наличие в материале изделия внутренних несплошностей размером $\Delta S1$, отличающихся по плотности от основного материала, приводит к резкому изменению значений E_0 и I_0 излучения, что регистрирует детектором ионизирующего излучения (радиографической плёнкой).



I – источник излучения; 2 – объект контроля (сварное соединение); 3 – детектор излучения; E – энергия излучения; $S1$ – толщина материала; I_0 , I – интенсивность падающего и прошедшего излучений соответственно; $\Delta S1$ – характеристический размер дефекта; F – фокусное расстояние; S – радиационная толщина

Рисунок 1 – Общая схема радиографического контроля.

3.2 Основные сведения о рентгеновском излучении и γ -излучении

Тормозное рентгеновское излучение и γ -кванты представляют собой разновидность электромагнитных колебаний, которые по аналогии с видимым светом и ультрафиолетовым излучением имеют волновые свойства. Длина волны для видимого света $\lambda = (4...7) \cdot 10^{-7}$ м; для ультрафиолетового излучения $\lambda = 10^{-9}... 4 \cdot 10^{-7}$ м; для рентгеновского излучения $\lambda = 6 \cdot 10^{-13}... 10^{-9}$ м; для γ -квантов $\lambda = 10^{-13}... 4 \cdot 10^{-12}$ м.

Собственная частота колебаний ν , а следовательно, и длина волны λ определяют свойства того или иного вида излучения, распространяющегося в пространстве со скоростью света c :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

С уменьшением длины волны λ увеличивается энергия E излучения. В связи с этим над волновыми свойствами начинают преобладать корпускулярные свойства частиц и проникающая способность излучения увеличивается.

Рентгеновское излучение (R-излучение) генерируется при торможении на аноде рентгеновской трубки электронов, испускаемых катодом. В результате возникают характеристическое и тормозное излучения, имеющие линейчатый и непрерывный спектры соответственно.

Характеристическое излучение используют при рентгеноспектральном и рентгеноструктурном анализе состава вещества.

Тормозное излучение с непрерывным (сплошным) спектром возникает в результате «постепенного» торможения в материале анода электронов разных энергий, испускаемых катодом.

Кинетическая энергия E электрона у поверхности анода определяется как $E = eU$, где e – заряд электрона ($e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл); U – анодное напряжение рентгеновской трубки, В.

Проникая на различную глубину анода, электроны постепенно теряют скорость. Поэтому в рентгеновском спектре излучения, генерируемого трубкой, присутствуют кванты со всевозможными энергиями. Полный переход кинетической энергии электронов E в максимальную энергию рентгеновского излучения E_{\max} происходит при минимальной длине волны λ_0 , т. е.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eU} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{U},$$

где h – постоянная Планка $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж/с.

Из последнего соотношения следует, что с увеличением анодного напряжения U длина волны λ_0 уменьшается, что приводит к изменению спектрального состава и повышению максимальной энергии непрерывного спектра.

При изменении тока i трубки спектральный состав непрерывного спектра не изменяется, однако его интенсивность изменяется пропорционально значению тока. Экспозиционная доза рентгеновского излучения T пропорциональна току трубки и времени просвечивания t : $T = i \cdot t$.

Гамма-излучение возникает в искусственных или естественных радиоактивных изотопах при их распаде. Одновременно с γ -квантами образуются α -частицы (ядра гелия ${}_2\text{He}^4$) и β -частицы (электроны ${}_{-1}\beta^0$).

Пробег α -частиц в веществе мал. В частности, они полностью поглощаются слоем алюминия толщиной 1 мм. Проникающая способность β -частиц больше. Для их полного поглощения необходим слой алюминия толщиной 2...5 мм. В то же время γ -кванты в зависимости от их энергии обладают существенно большей проникающей способностью по сравнению с α - и β -частицами. Вследствие этого они широко используются при контроле качества сварных соединений.

Гамма-излучение возникает в результате естественного радиоактивного распада радионуклидов. Радионуклиды имеют активность. Активностью радионуклида A называют величину, равную отношению количества распавшихся атомов ΔN к промежутку времени Δt , в течение которого происходит распад:

$$A = \Delta N / \Delta t.$$

Активность радионуклидов в системе единиц СИ измеряют в беккерелях (Бк): 1 Бк = 1 распад/с. В практической системе единиц активность радионуклидов измеряют в кюри (Ки): 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Общее количество излучения, испускаемое источником ИИ, например, при радиографическом контроле, зависит от его активности A (в кюри) и от времени экспозиции t . Это произведение часто называют гамма-экспозицией $T_\gamma = At$ и задают в кюри-секундах.

Отношение числа распавшихся за единицу времени атомов к их общему числу – величина постоянная, называемая вероятностью распада ω . Зависимость изменения активности изотопа во времени носит экспоненциальный характер:

$$N(t) = N_0 \cdot t^{-\omega t},$$

где $N(t)$ и N_0 – число атомов в данный момент t и при $t = 0$.

Постоянная распада является мерой неустойчивости атомов радиоактивного вещества. Характеристикой этого на практике служит период полураспада, т. е. время, в течение которого распадается половина атомов данного изотопа $T_{1/2}$.

Активность радиоактивных источников с течением времени изменяется по экспоненциальному закону:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} t},$$

где A_t , A_0 – активность радиоактивного источника в момент времени t и в первоначальный момент времени соответственно.

Период полураспада $T_{1/2}$ определяет периодичность замены источников гамма-излучения и затраты на их приобретение и захоронение.

Для характеристики радиоактивных веществ по создаваемой ими экспозиционной дозе излучения вводят величину, называемую ионизационной постоянной, или гамма-постоянной (обозначается как K_γ), которая показывает, какую мощность экспозиционной дозы γ -излучения создаёт точечный источник ИИ активностью 1 мКи на расстоянии 1 см в 1 ч. Гамма-постоянная K_γ выражается в единицах $\frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}$.

Для препарата радия, находящегося в равновесии, $K_\gamma = 8,4 \frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}$.

Для сравнения различных радиоактивных источников γ -излучения используют понятие радиевого гамма-эквивалента изотопа с единицей измерения миллиграмм-эквивалент радия (мг-экв Ра) или грамм-эквивалент радия (г-экв Ра).

Миллиграмм-эквивалент радия есть гамма-эквивалент радиоактивного изотопа, γ -излучение которого при тождественных условиях измерения создаёт та-

кую же мощность дозы, что и γ -излучение 1 мг радия. В тех случаях, когда ионизационная постоянная изотопа известна, для перехода от активности, выраженной в милликюри, к радиевому гамма-эквиваленту препарата в миллиграмм-эквивалентах радия можно воспользоваться следующей формулой:

$$M = A \cdot \frac{K_\gamma}{8,4},$$

где M – радиевый гамма-эквивалент препарата, мг-экв Ra (г-экв Ra);

A – активность, мКи (Ки);

K_γ – гамма-постоянная изотопа.

3.3 Взаимодействие γ - и R-излучения с материалом объекта контроля

При прохождении рентгеновского излучения и γ -излучения через вещество их интенсивность убывает не только за счёт поглощения, но и за счёт рассеяния излучения в материале объекта. Общей количественной характеристикой взаимодействия рентгеновских и γ -квантов со структурами вещества служит линейный коэффициент взаимодействия. Он определяет изменение интенсивности излучения в результате его прохождения через вещество.

Линейный коэффициент ослабления μ , см^{-1} , представляет собой сумму линейных коэффициентов взаимодействия, определяемых фотоэффектом, комптоновским рассеянием и процессом образования пар. При этом μ характеризует относительное уменьшение интенсивности излучения после прохождения им поглотителя толщиной 1 см. Величина, обратная μ , называется длиной свободного пробега квантов в веществе. Значение μ снижается с ростом энергии излучения.

Поглощённое излучение при его прохождении через тонкий слой вещества зависит от толщины этого слоя δ и линейного коэффициента ослабления излучения μ . Аналогично закону радиоактивного распада можно записать

$$I_n = I_0 \cdot e^{-\mu\delta},$$

где I_0 и I_n – интенсивности узкого пучка излучения, падающего и прошедшего через вещество соответственно.

Если точечный источник излучения удаляется от детектора на расстояние F , то интенсивность узкого пучка излучения, прошедшего через вещество, уменьшается обратно пропорционально квадрату этого расстояния:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{F_2^2}{F_1^2},$$

где I_1 и I_2 – интенсивности излучения на расстояниях F_1 и F_2 соответственно.

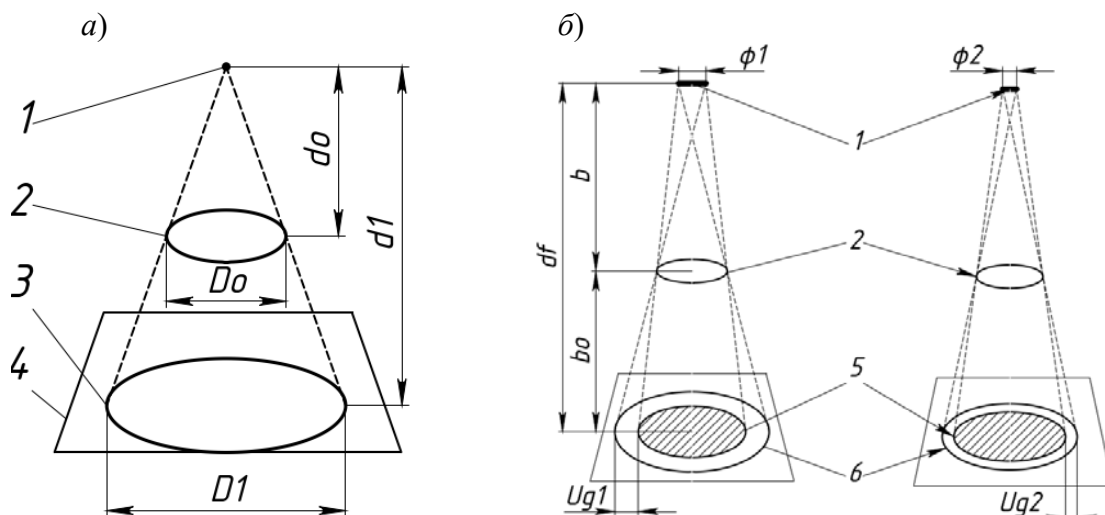
3.4 Виды нерезкостей радиационного изображения

Для светового и для ионизирующего излучения действуют одни и те же законы геометрической оптики при образовании тени, полутени. Тень, формируемая некоторым элементом объекта, даёт несколько увеличенное

и размытое изображение, поскольку объект не находится в контакте с радиационным изображением.

Проекционным увеличением называют отношение линейного размера элемента теневого изображения, сформированного точечным источником излучения, к размеру соответствующего элемента объекта. Проекционное увеличение M можно вычислить по следующим отношениям (рисунок 2, а):

$$M = \frac{D_1}{D_0} = \frac{d_1}{d_0}.$$



1 – точечный источник ИИ (а) и источники с размерами $\phi_1 > \phi_2$ (б); 2 – элементы объекта; 3 – элемент теневого изображения; 4 – радиационный детектор; 5 – области тени радиационных изображений; 6 – области полутени радиационных изображений (геометрической нерезкости ($U_{g1} > U_{g2}$))

Рисунок 2 – Формирование проекционного увеличения (а) и геометрической нерезкости радиационного изображения (б)

Степень резкости любой тени зависит от размеров источника излучения, от положения объекта между источником и радиационным изображением. Если источник излучения не точечный, а имеет некоторую площадь, формируемая тень не идеально чёткая (рисунок 2, б), так как каждый небольшой элемент источника будет формировать свою тень от элемента объекта и каждая из этих теней слегка смещена по отношению к остальным, что и даёт расплывчатое изображение. Ширина «размытой» границы тени известна под термином геометрическая нерезкость U_g . Эта величина возрастает с увеличением размера фокусного пятна ϕ , фокусного расстояния F и уменьшением расстоянием от дефекта до плёнки. Геометрическая нерезкость значительно влияет на качество изображений:

$$U_g = \phi \cdot \frac{b_0}{F - b_0},$$

где b_0 – расстояние до дефекта от поверхности плёнки;

ϕ – размер фокусного пятна;

F – фокусное расстояние.

Основным параметром, влияющим на величину геометрической нерезкости U_g ,

является фокусное расстояние F . Чем оно больше, тем меньше значение U_g .

Стремление сократить фокусное расстояние и тем самым поднять производительность радиографического контроля за счёт сокращения времени экспозиции приводит к увеличению нерезкости.

3.5 Чувствительность радиографического контроля

Чувствительность контроля K определяется классом чувствительности и не должна превышать значений, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Предельные значения требуемой чувствительности радиографического контроля

В миллиметрах

Контролируемая толщина	Класс чувствительности		
	I	II	III
До 5 включ.	0,10	0,10	0,20
Св. 5 до 9 включ.	0,20	0,20	0,30
Св. 9 до 12 включ.	0,20	0,30	0,40
Св. 12 до 20 включ.	0,30	0,40	0,50
Св. 20 до 30 включ.	0,40	0,50	0,60

Класс чувствительности контроля указывается в технической документации либо определяется по ГОСТ 23055 в соответствии с классом контролируемых сварных соединений [3]:

- 1-му классу сварных соединений соответствует класс чувствительности I;
- 2–4-му классам сварных соединений соответствует класс чувствительности II;
- 5–7-му классам сварных соединений соответствует класс чувствительности III.

Для определения чувствительности контроля следует применять проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны чувствительности. Форма и размеры указанных эталонов представлены на рисунке А.1 и в таблицах А.1–А.3.

Эталон чувствительности изготавливают из металла или сплава, основа которого по плотности и химическому составу аналогична основе контролируемого сварного соединения.

Чувствительность радиографического контроля определяется наименьшим размером имитатора дефекта в эталоне, выявляемого на снимке:

- наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона;
- наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона;
- наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие диаметром, равным удвоенной толщине эталона.

3.6 Радиографическая плёнка как детектор ионизирующего излучения

Главная часть рентгеновской плёнки – эмульсионный слой, представляющий собой желатиновую матрицу со взвешенными в ней мельчайшими кристалликами чувствительного к излучению бромистого серебра с небольшой примесью йодистого. Прозрачная подложка плёнки покрыта эмульсией с обеих сторон. Эмульсия плёнки реагирует на прошедшее через объект излучение, изменяя параметры своего серебряного слоя и тем самым обеспечивая регистрацию проходящего потока излучения.

Плѐнка, имеющая плотность почернения D и рассматриваемая в падающем на неё свете яркостью L_0 , ослабляет этот свет, вследствие чего яркость прошедшего света становится меньше L_0 и равной L_n . Фотографическая плотность почернения плѐнки D определяется как

$$D = \lg \frac{L_0}{L_n} = 2.$$

Так, например, если радиографическая плѐнка, рассматриваемая на негатоскопе, имеющем яркость свечения экрана $L_0 = 100$ кд/м², ослабляет яркость до $L_n = 1$ кд/м², то плотность почернения плѐнки

$$D = \lg \left(\frac{100}{1} \right) = 2.$$

Плѐнки, пропускающие 1/10, 1/100 или 1/1000 падающего света, обладают оптической плотностью почернения 1, 2 и 3 соответственно.

Одна из важнейших характеристик радиографических плѐнок – разрешающая способность, которая характеризуется количеством раздельно различимых штриховых линий одинаковой толщины на длине 1 мм (мм⁻¹).

Другим важным параметром плѐнки является её чувствительность, которую определяют как величину, обратную экспозиционной дозе, необходимой для получения оптической плотности $D = 0,85$. Одна и та же экспозиция может быть предельно большой для одной плѐнки и совершенно недостаточной для другой. Единица измерения чувствительности плѐнки – P^{-1} .

В настоящее время в мировой практике в связи с тенденцией использования высоких плотностей почернения плѐнок и их просмотром на мощных негатоскопах в качестве критерия чувствительности выбирается более высокая оптическая плотность почернения, например, $D = 1,5$ и даже $D = 2,5$.

Важной характеристикой плѐнки является её контрастность. Она характеризует увеличение плотности почернения конкретной плѐнки при одинаковых значениях приращениях экспозиционной дозы.

Контрастность плѐнки, её чувствительность и гранулярность взаимосвязаны между собой. Высокочувствительные плѐнки имеют крупные зерна и низкий предел разрешения, а низкочувствительные – мелкие зерна и высокий предел разрешения. Поэтому, хотя с экономической точки зрения желательно, чтобы время экспонирования плѐнки было как можно короче, использование высокочувствительной плѐнки ограничивается её зернистостью, которая в значительной мере определяет качество изображения мелких дефектов.

В зависимости от зернистости, контрастности и чувствительности рентгенографические плѐнки производства РФ подразделяют на четыре класса.

Класс I. Особо мелкозернистые, высококонтрастные безэкранные плёнки (типа РТ-5).

Класс II. Мелкозернистые, высококонтрастные безэкранные плёнки (типа РТ-4М, РТ-СШ, РНТМ-1). Эти плёнки в 2–4 раза более чувствительны к излучению по сравнению с плёнками I класса.

Класс III. Высокочувствительные безэкранные плёнки типа РТ-1. Их чувствительность в 5–10 раз выше, чем плёнок I класса.

Класс IV. Высокочувствительные к излучению экранные плёнки типа РТ-2.

Согласно европейскому стандарту EN-584-1 плёнки радиографии подразделяют на классы, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Качественная классификация рентгенографических плёнок по EN-584-1

Класс EN 584-1	Тип зернистости	Качество снимка	Тип чувствительности	Плёнка AGFA Structurix
C1; C2	Очень мелкозернистая	Очень высокое	Очень низкая	D2; D3
C3; C4	Мелкозернистая	Высокое	Низкая	D4; D5
C5	Средняя	Среднее	Средняя	D7
C6	Крупнозернистая	Низкое	Высокая	D8

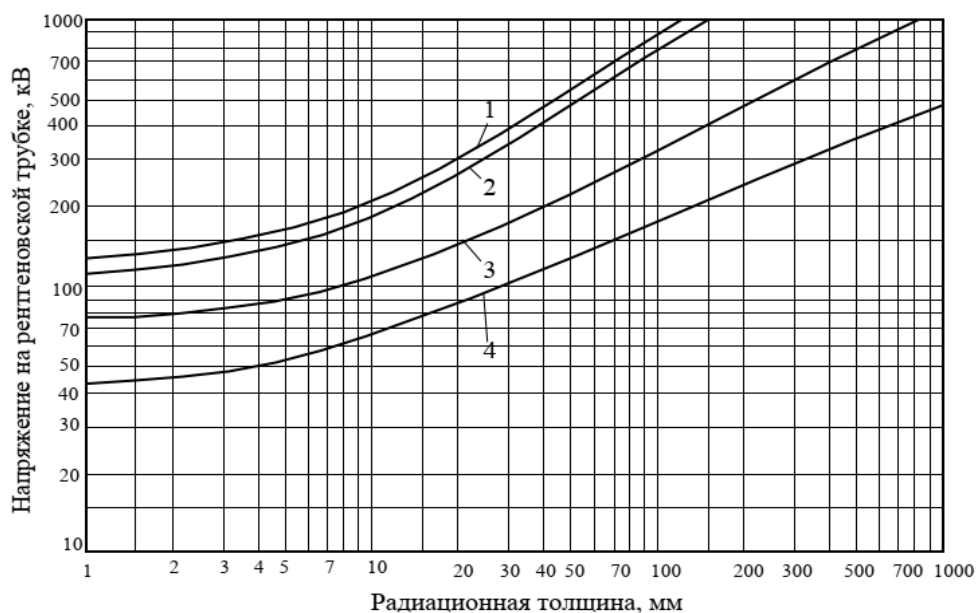
4 Последовательность выполнения контрольной работы

При выполнении работы студент должен определить следующие параметры контроля.

- 1 Класс чувствительности контроля и значение чувствительности контроля.
- 2 Эталон чувствительности (тип эталона, его номер, указать номер имитатора дефекта, выявляемого на снимке).
- 3 Значение допустимой геометрической нерезкости.
- 4 Выбрать марку рентгеновского дефектоскопа или γ -дефектоскопа.
- 5 Тип рентгеновской плёнки.
- 6 Способ зарядки плёнок в кассеты с усиливающими экранами и толщина экранов.
- 7 Схема контроля (привести эскиз).
- 8 Минимальное значение расстояния f от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка. Значение фокусного расстояния F .
- 9 Количество контролируемых участков N для объекта с криволинейной поверхностью или длину L контролируемых за одно экспонирование участков при контроле прямолинейных сварных швов.
- 10 Напряжение на рентгеновской трубке или значение активности источника γ -излучения с учётом периода полураспада и времени, прошедшего после зарядки γ -дефектоскопа.
- 11 Время экспозиции.

4.1 Выбор источников γ - и R -излучения

Для обеспечения высокой чувствительности контроля напряжение на рентгеновской трубке рекомендуется устанавливать по возможности более низким. Максимальные значения напряжения на рентгеновской трубке в зависимости от просвечиваемой толщины приведены на рисунке 3.



1 – медь, никель и сплавы на их основе; 2 – сталь; 3 – титан и сплавы на его основе; 4 – алюминий и сплавы на его основе

Рисунок 3 – Максимальное напряжение на рентгеновской трубке в зависимости от радиационной толщины и материала

У гамма-дефектоскопов энергия фотонов не регулируется. Верхний предел по толщине определяется плотностью потока энергии фотонов в рабочем пучке излучения, нижний – уменьшением чувствительности радиационного контроля.

В таблице 6 приведены данные применимости источников γ -излучения в зависимости от радиационной толщины стальных объектов контроля.

Таблица 6 – Рекомендуемые источники γ -излучения стальных деталей в зависимости от радиационной толщины

Радиационная толщина, мм	Источник излучения
До 5 включ.	Тулий-170
Св. 5 до 20 включ.	Тулий-170 (до 15 мм); селен-75; иридий-192; цезий-137 (от 10 мм)
Св. 20 до 40 включ.	Селен-75 (до 30 мм включ.); иридий-192; цезий-137
Св. 40 до 80 включ.	Цезий-137; кобальт-60

4.2 Схемы контроля и определение параметров контроля

4.2.1 Сварные соединения следует контролировать по схемам, приведённым на рисунках 4–22; при этом во всех случаях (кроме рисунка 14) центральный луч пучка излучения должен проходить через середину участка, контролируемого за одно экспонирование [4; 5].

4.2.2 При ограниченной ширине привариваемого элемента допускается проводить контроль тавровых сварных соединений с направлением излучения по образующей этого элемента в соответствии с рисунком 7.

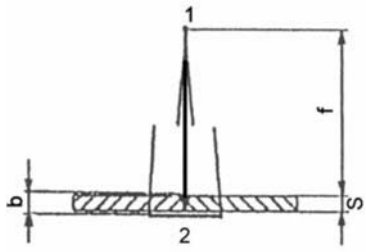


Рисунок 4

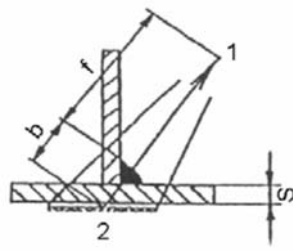


Рисунок 5

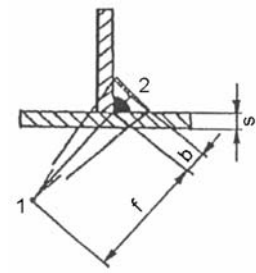


Рисунок 6

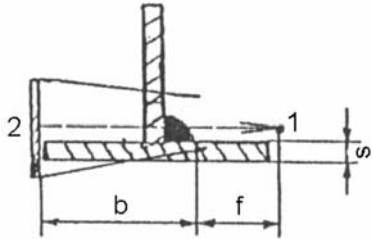


Рисунок 7

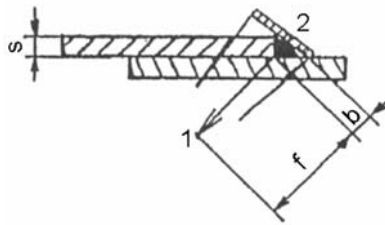


Рисунок 8

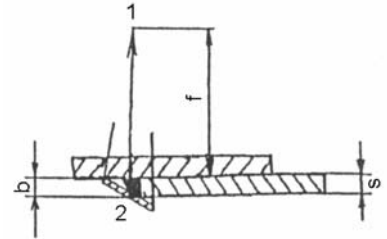


Рисунок 9

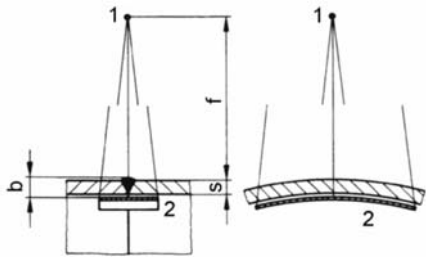


Рисунок 10

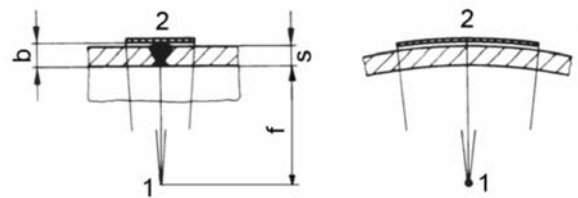


Рисунок 11

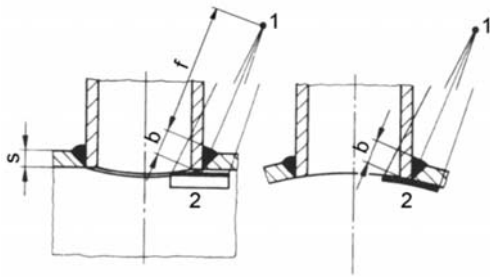


Рисунок 12

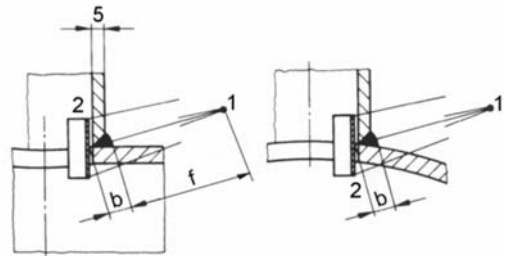


Рисунок 13

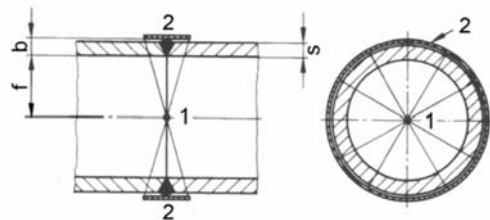


Рисунок 14

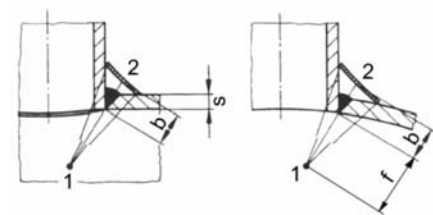


Рисунок 15

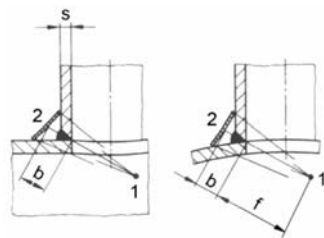


Рисунок 16

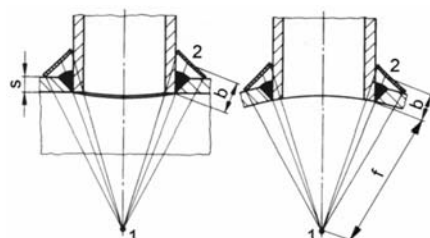


Рисунок 17

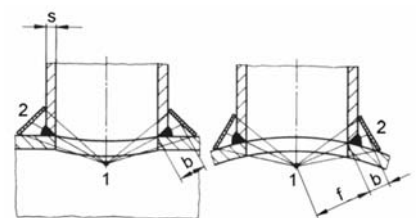


Рисунок 18

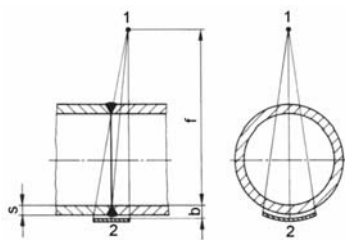


Рисунок 19

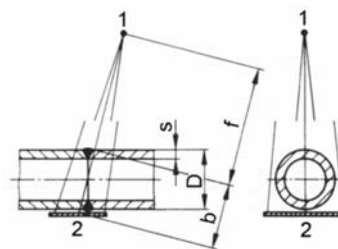


Рисунок 20

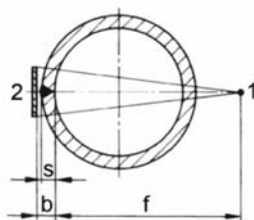


Рисунок 21

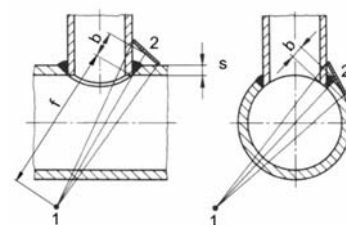


Рисунок 22

На рисунках 4–22 приняты следующие обозначения: 1 – источник излучения; 2 – кассета с плёнкой; b – расстояние от наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка до плёнки; S – контролируемая толщина; f – расстояние от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка

4.2.3 При выборе схемы и направления излучения следует учитывать, что расстояние от контролируемого сварного соединения до радиографической плёнки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм; угол между направлением излучения и нормалью к радиографической плёнке в пределах контролируемого за одно экспонирование участка сварного соединения должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45° .

4.2.4 Расстояние от источника излучения до ближайшей к источнику поверхности контролируемого участка сварного соединения (или до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка) и размеры контролируемых за одно экспонирование участков для всех схем просвечивания (кроме рисунка 14) следует выбирать такими, чтобы при просвечивании выполнялись следующие требования:

- геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении плёнки 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 плёнки), не должно превышать 1,25;

- уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по отношению к оптической плотности в месте установки проволоочного эталона чувствительности или по отношению к оптической плотности изображения канавочного или пластинчатого эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

4.2.5 Расстояние f от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка определяется для прямолинейных сварных соединений по формуле

$$f > CS,$$

где $C = 2\phi/K$, при $\phi/K \geq 2$; $C = 4$ при $\phi/K \leq 2$;

S – контролируемая толщина, мм;

ϕ – максимальный размер фокусного пятна источника излучения, мм;

K – требуемая чувствительность контроля, мм.

Для криволинейных сварных соединений f определяется из соотношения:

– для III класса чувствительности контроля

$$f/\phi > 7,5 \cdot b^{2/3};$$

– для I и II класса чувствительности контроля

$$f/\phi > 15 \cdot b^{2/3},$$

где b – расстояние от наиболее удалённой от кассеты с плёнкой точки контролируемого участка до кассеты с плёнкой (определяется путём расчётов или непосредственных измерений), мм.

4.2.6 Зависимость f/ϕ от b приведена на рисунке 23, по которому определяется требуемое минимальное значение f с учётом класса чувствительности контроля.

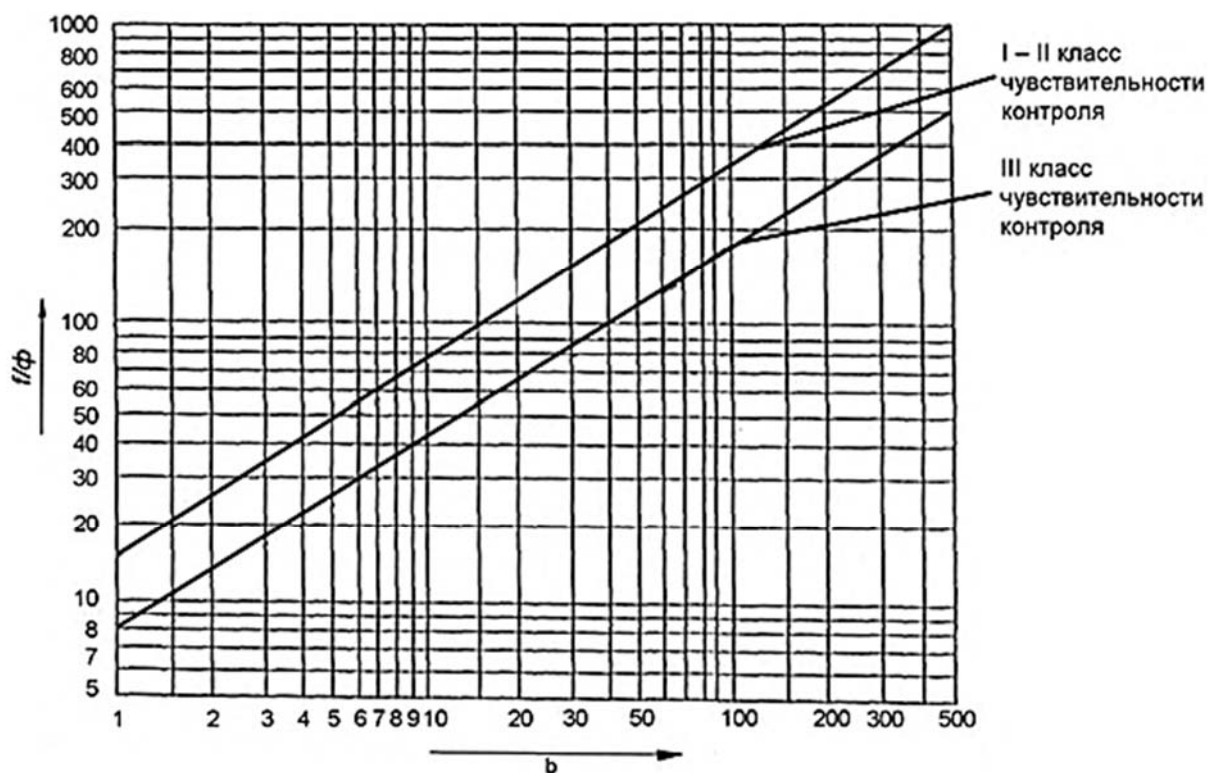


Рисунок 23 – Номограммы для определения требуемого минимального значения f с учётом класса чувствительности контроля

4.2.7 При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует, как правило, использовать схемы просвечивания через одну стенку (см. рисунки 10–18). При этом рекомендуется использовать схемы с расположением источника излучения внутри контролируемого изделия.

4.2.8 При контроле сварных соединений по рисунку 14 (панорамное просвечивание) отношение внутреннего диаметра d к внешнему диаметру D контролируемого соединения не должно быть менее 0,8, а максимальный размер фокусного пятна ϕ источника излучения должен удовлетворять соотношению

$$\phi \leq \frac{K \cdot d}{2(D-d)},$$

где K – чувствительность контроля.

4.2.9 При отсутствии источника излучения, удовлетворяющего формуле из пп. 4.2.8, допускается при контроле по рисунку 14 использовать источники излучения с максимальным размером фокусного пятна, удовлетворяющим соотношению

$$\phi \leq \frac{K \cdot d}{(D-d)}.$$

В этом случае эталон чувствительности должен устанавливаться на сварном соединении только со стороны источника излучения.

4.2.10 В тех случаях, когда размеры дефектов не определяются (например, дефекты не допускаются независимо от их размеров), соотношение $\frac{d}{D} \geq 0,8$ между внутренним и внешним диаметрами контролируемого соединения может не соблюдаться.

4.2.11 Схема, приведённая на рисунке 19, рекомендуется для просвечивания кольцевых сварных соединений любого диаметра, если невозможен или нецелесообразен контроль изделий по схемам просвечивания через одну стенку.

4.2.12 Схема, приведённая на рисунке 20, рекомендуется для просвечивания сварных соединений трубопроводов диаметром до 100 мм, только если просвечивание по рисунку 19 невозможно. Сварное соединение (рисунок 20) контролируется за два экспонирования; при этом источник излучения устанавливается так, чтобы центральные лучи пучков излучения при экспонированиях были взаимно перпендикулярны.

4.2.13 При контроле сварных соединений по рисункам 19, 20 направление излучения следует выбирать таким, чтобы изображения противоположных участков 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° .

4.2.14 Продольные стыковые соединения цилиндрических изделий следует контролировать по рисунку 21.

4.2.15 Длина L контролируемых за одно экспонирование участков при контроле прямолинейных сварных соединений должна составлять не более 80 % от расстояния f .

4.2.16 Минимальное количество экспонирований (количество участков) N при контроле криволинейных сварных соединений определяется по рисункам 24 и 25.

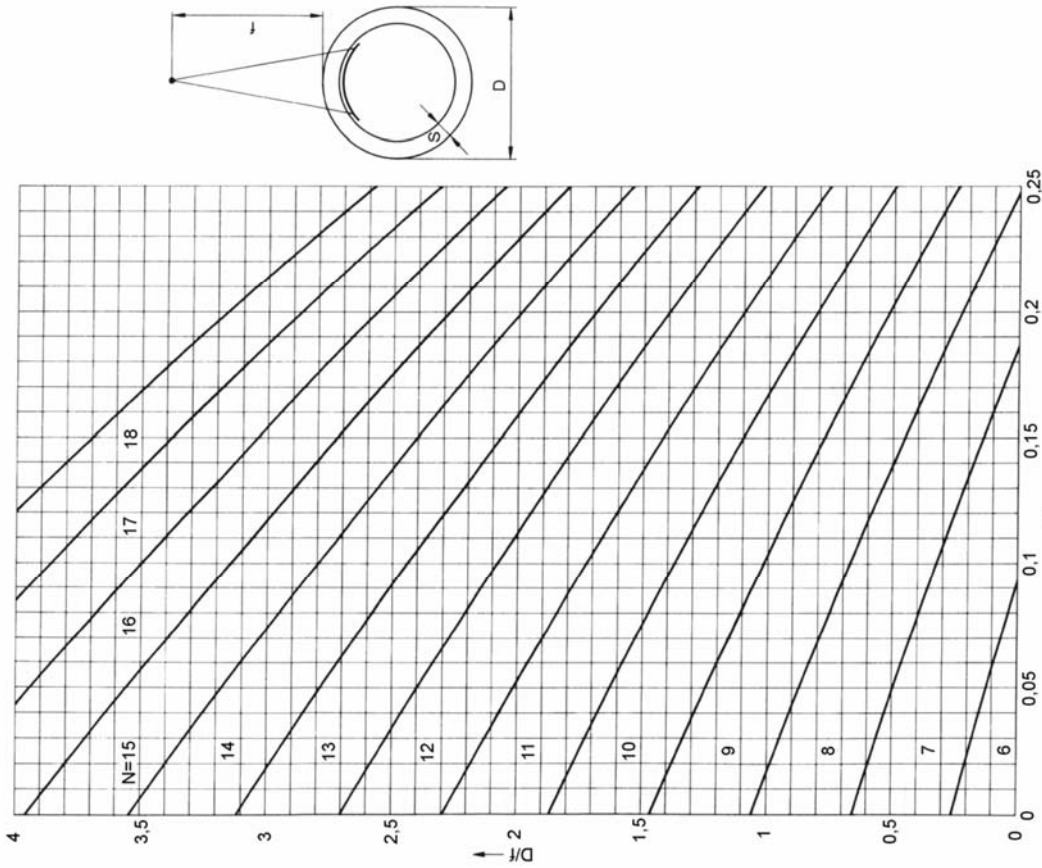


Рисунок 25 – Номограмма для определения количества контролируемых участков N

D – наружный диаметр; S – контролируемая толщина; f – расстояние от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка

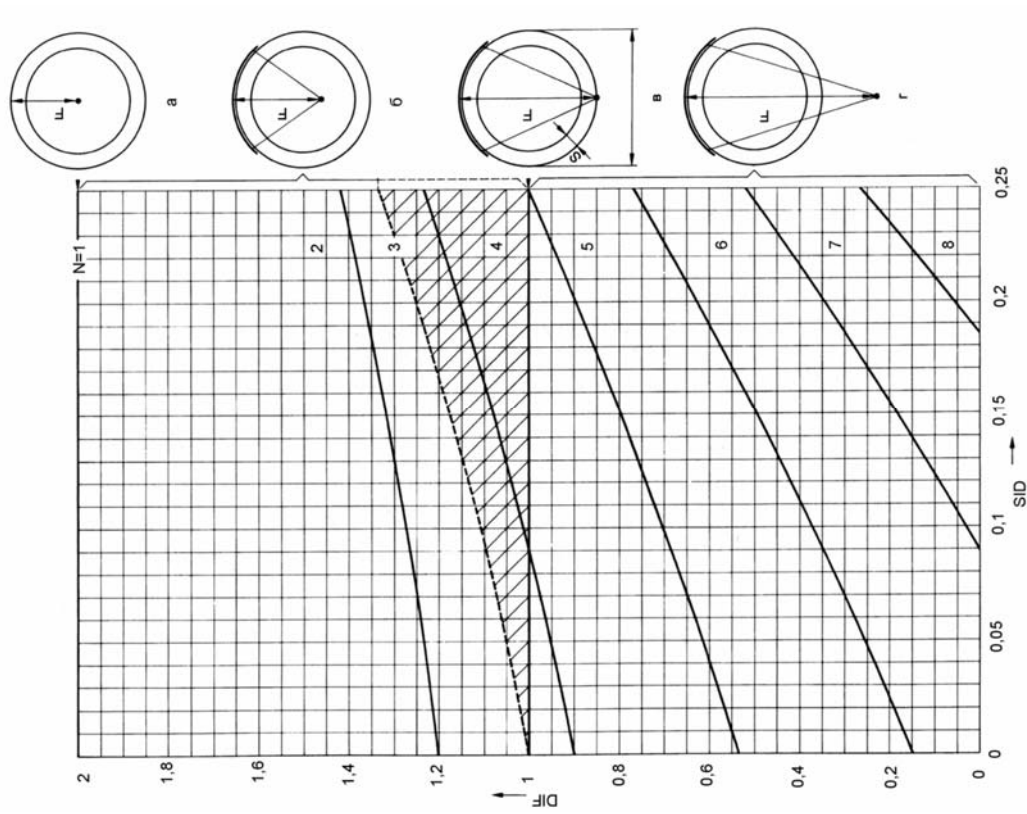


Рисунок 24 – Номограмма для определения количества контролируемых участков N

D – наружный диаметр; S – контролируемая толщина; F – фокусное расстояние (расстояние от источника до кассеты с плёнкой)

4.2.17 Расстояние от источника излучения до контролируемого участка сварного соединения и длина контролируемых за одно экспонирование участков при контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий с диаметром более 2 м определяются так же, как для прямолинейных сварных соединений.

4.2.18 Длина снимков 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.

4.2.19 Ширина снимков должна обеспечивать получение изображений сварного шва, эталонов чувствительности, маркировочных знаков и околошовных зон шириной:

– для стыковых и нахлесточных соединений:

а) не менее 5 мм – при толщине свариваемых кромок до 5 мм;

б) не менее толщины свариваемых кромок – при толщине свариваемых кромок от 5 до 20 мм;

в) не менее 20 мм – при толщине свариваемых кромок свыше 20 мм;

– для тавровых и угловых соединений:

а) устанавливается технической документацией на контроль или приёмку этих соединений.

4.2.20 Тип рентгеновской плёнки и конкретный выбирается по таблице 7.

Таблица 7 – Выбор рентгеновской плёнки в зависимости от радиационной толщины и источника излучения

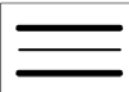
Радиационная толщина	Источник получения	Плёнка AGFA
До 5 мм включ.	Рентгеновский аппарат иттербий-169 тулий-170	D2 D3 D4 D5
Св. 5 до 20 мм включ.	Рентгеновский аппарат тулий-170 селен-75 иридий-192	D3 D4 D5 D7
Св. 20 до 50 мм включ.	Рентгеновский аппарат иридий-192	D4 D5 D7
Св. 50 до 100 мм включ.	иридий-192 кобальт-60	D5 D7; D8

4.2.21 Толщина усиливающих экранов выбирается по таблице 8, а способы зарядки плёнок в кассеты по таблице 9.

Таблица 8 – Толщина свинцовых усиливающих экранов

Источник излучения		Толщина экранов, мм	
		переднего	заднего
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке, кВ	До 100	0,02	0,02
	Св. 100 до 300	0,05	0,09
	Св. 300	0,09	0,09
Тулий-170		0,09	0,09
Селен-75		0,09	0,20
Иридий-192		0,09	0,20
Кобальт-60		0,30	0,50

Таблица 9 – Способы зарядки плёнок в кассеты с усиливающими экранами

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

4.2.22 Время экспозиции при использовании источника γ -излучения рассчитывается по формуле

$$t_{\text{эксн}} = \frac{T \cdot k_F}{A},$$

где T – экспозиция, определяемая по рисунку В.1;

A – активность источника;

k_F – коэффициент, учитывающий отличие фокусного расстояния F_0 (см. рисунок В.1) от фокусного расстояния F контроля.

Коэффициент k_F определяется по следующей формуле:

$$k_F = \frac{F^2}{F_0^2}$$

4.2.23 При использовании в качестве источника излучения рентгеновского аппарата непрерывного действия экспозиция T определяется как произведение анодного тока трубки рентгеновского аппарата i на величину времени экспозиции $t_{\text{эксн}}$ и выбирается по рисунку Б.1. Тогда время экспозиции определяют как

$$t_{\text{эксн}} = \frac{T \cdot k_F}{i}.$$

5 Примеры выполнения контрольной работы

При выполнении самостоятельной работы необходимо учитывать следующее.

1 Чем выше максимальное напряжение рентгеновского аппарата, тем большую толщину можно просветить.

2 Чем ниже напряжение и выше ток рентгеновской трубки при заданной экспозиции, тем выше контраст и качество получаемого изображения.

3 Чем меньше размер фокусного пятна источника ионизирующего излучения, тем более высокое разрешение можно получить, используя геометрическое увеличение.

4 Чем меньше размер фокусного пятна рентгеновской трубки, тем меньше её удельная мощность и ток; соответственно, меньше возможный контраст получаемого изображения.

5 Чем ближе находится плёнка к исследуемой детали и чем больше расстояние от источника излучения до детали, тем выше качество изображения и меньше сказывается размер фокусного пятна источника.

6 Чем меньше расстояние между источником ионизирующего излучения и плёнкой, тем больше экспозиционная доза. Доза обратно пропорциональна квадрату расстояния, т. е. при уменьшении расстояния в два раза время экспозиции можно уменьшить в четыре раза.

7 Чем ниже чувствительность рентгеновской плёнки, тем выше качество изображения, но больше экспозиция.

Пример 1 – Радиографический контроль с использованием γ -излучения

Исходные данные.

Кольцевой шов стального трубопровода с наружным диаметром 159 мм и толщиной стенки 20 мм.

Источник ионизирующего излучения – источник γ -излучения. После зарядки источника прошло 20 сут.

Класс сварного соединения по ГОСТ 23055 – 2.

Порядок решения.

1 Выбор класса чувствительности контроля и значения чувствительности контроля.

Второму классу сварного соединения по ГОСТ 23055 соответствует класс чувствительности контроля II (см. таблицу 4).

По таблице 4 для контролируемой толщины, равной 20 мм, и класса чувствительности контроля II выбираем значение чувствительности $K = 0,40$ мм.

2 Эталон чувствительности (тип эталона, его номер; указать номер имитатора дефекта, выявляемого на снимке).

Так как значение чувствительности контроля $K = 0,40$ мм выбираем канавочный эталон № 1. На снимке должна быть выявлена третья канавка глубиной $h_3 = 0,40$ мм.

3 Значение допустимой геометрической нерезкости U_g выбираем рав-

ной 50 % от значения чувствительности контроля K . $U_g = 0,5 K = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2$ мм.

4 Выбор γ -дефектоскопа.

Так как диаметр контролируемого кольцевого шва составляет 159 мм, просвечивание будет вестись через две стенки. Следовательно, радиационная толщина составит $2 \cdot S = 2 \cdot 20 = 40$ мм, где S – толщина стенки трубы.

Руководствуясь данными таблицы 6, выбираем тип источника ионизирующего излучения – иридий-192 (Ir-192).

Из таблицы 3 выбираем дефектоскоп Стапель-5М с источником излучения ГИИД-2.

Основные характеристики источника ИИ:

- период полураспада Ir-192 составляет 74,5 суток;
- активность $A = 3,9$ Ки;
- диаметр активной части $\phi = 1,0$ мм.

5 Тип рентгеновской плёнки.

Из таблицы 7 для радиационной толщины 40 мм выбираем плёнку AGFA, тип D7.

6 Способ зарядки плёнок в кассеты с усиливающими экранами и толщина свинцовых экранов.

По таблице 9 выбираем способ зарядки плёнки в кассету с двумя усиливающими свинцовыми экранами.

По таблице 8 выбираем для Ir-192 толщины экранов: для переднего – 0,09 мм; для заднего – 0,2 мм.

7 Схема контроля.

Ввиду того, что трубопровод малого диаметра, выбираем схему просвечивания по рисунку 19. Схема контроля представлена на рисунке 26.

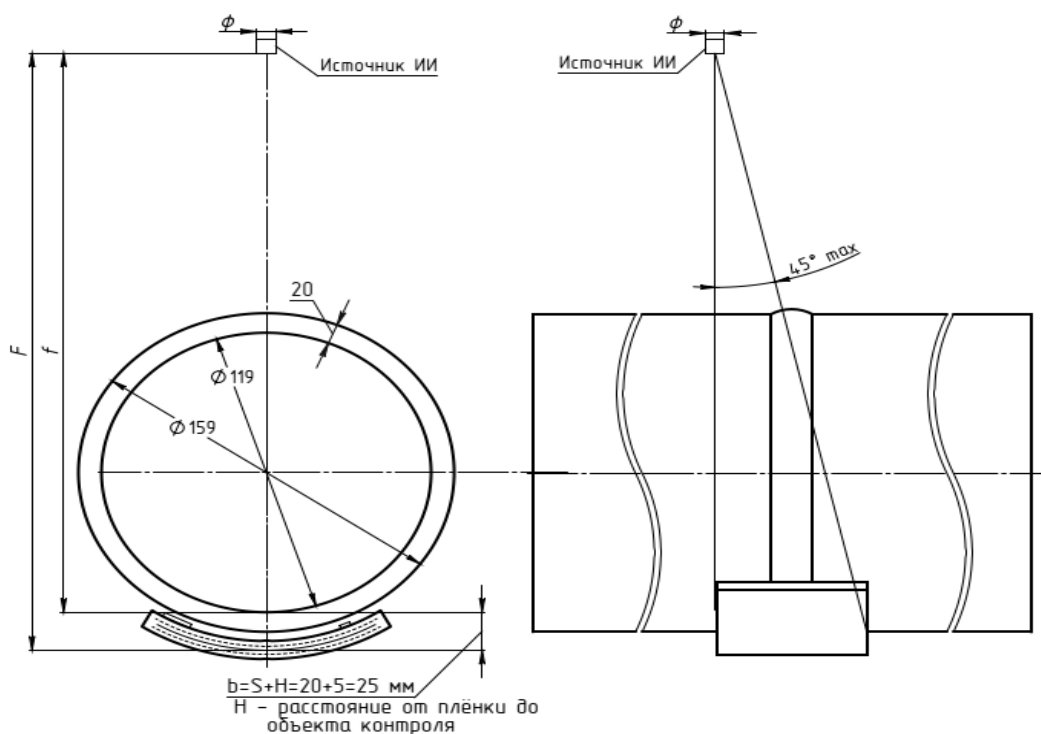


Рисунок 26 – Схема контроля кольцевого сварного шва

8 Минимальное значение f расстояния от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка. Значение фокусного расстояния F .

Для криволинейных сварных соединений минимальное значение f расстояния от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка определяется из соотношения f/ϕ и значения b – расстояния от наиболее удалённой от кассеты с плёнкой точки контролируемого участка до кассеты с плёнкой.

Для ГИИД-2 $\phi = 1,0$ мм (см. таблицу 3).

Значение b берётся как сумма толщины основного металла $S = 20$ мм и расстояния от плёнки до объекта контроля $H = 5$ мм.

Из рисунка 23 определяем, что для класса чувствительности II и значения $b = 20 + 5 = 25$ мм отношение $f/\phi = 140$. С учётом того, что для источника ГИИД-2 диаметр активной части $\phi = 1,0$ мм, выбираем минимальное значение f_{\min} равным 140 мм.

Так как фокусное расстояние $F = f + b$, то $F_{\min} = f_{\min} + b = 140 + 25 = 165$ мм.

С учётом того, что значение $F_{\min} = 165$ мм и незначительно превышает диаметр трубы 159 мм, то для учёта погрешности установки источника ИИ выбираем значение фокусного расстояния $F = 500$ мм.

9 Количество контролируемых участков N .

Так как контролируемые участки имеют криволинейную форму, определяем количество участков N по номограмме (см. рисунок 24).

Учитывая, что $D/F = 159/500 = 0,318$ и $S/D = 20/159 = 0,126$, определяем, что $N = 6$.

10 Значение активности источника γ -излучения с учётом периода полураспада и времени, прошедшего после зарядки дефектоскопа.

Активность радиоактивных источников с течением времени уменьшается. С учётом того, что для Ir-192 период полураспада $T_{1/2} = 74,5$ сут, начальная активность источника излучения $A_0 = 3,9$ Ки, а также, что после зарядки прошло 20 сут, определяем активность источника ИИ на момент проведения контроля:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot t} = 3,9 \cdot e^{-\frac{0,693}{74,5} \cdot 20} = 3,24 \text{ Ки.}$$

11 Время экспозиции просвечивания.

Время экспозиции при использовании изотопа Ir-192 рассчитывается по формуле

$$t_{\text{эксн}} = \frac{T \cdot k_F}{A}.$$

При этом экспозиция T определяется по рисунку Б.1.

Радиационная толщина составляет $2 \cdot S = 2 \cdot 20 = 40$ мм. Следовательно, $T = 9,5$ (Ки · ч).

Учитывая, что номограммы (см. рисунок Б.1) построены для фокусного расстояния $F_0 = 1000$ мм, определим коэффициент k_F для фокусного расстояния контроля $F = 200$ мм.

$$k_F = \frac{F^2}{F_0^2} = \frac{200^2}{1000^2} = 0,04.$$

Таким образом,

$$t_{\text{эксн}} = \frac{37 \cdot 0,25}{3,24} = 2,85 \text{ мин.}$$

Пример 2 – Радиографический контроль с использованием рентгеновского излучения.

Исходные данные.

Продольный шов стального трубопровода с наружным диаметром 351 мм и толщиной стенки 6 мм.

Источник ионизирующего излучения – рентгеновская трубка.

Класс сварного соединения по ГОСТ 23055 – 1.

Порядок решения.

1 Выбор класса чувствительности контроля и значения чувствительности контроля.

Классу 1 сварного соединения по ГОСТ 23055 соответствует класс чувствительности контроля I (см. таблицу 4).

По таблице 4 для контролируемой толщины, равной 6 мм, и класса чувствительности контроля I выбираем значение чувствительности $K = 0,20$ мм.

2 Эталон чувствительности (тип эталона, его номер; указать номер имитатора дефекта, выявляемого на снимке).

Так как значение чувствительности контроля $K = 0,20$ мм, выбираем канавочный эталон № 1. На снимке должна быть выявлена пятая канавка глубиной $h_5 = 0,20$ мм.

3 Значение допустимой геометрической нерезкости U_g выбираем равной 50 % от значения чувствительности контроля K . $U_g = 0,5 \cdot K = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1$ мм.

4 Выбор рентгеновского дефектоскопа.

Так как диаметр контролируемого кольцевого шва составляет 351 мм, просвечивание будет вестись через две стенки. Следовательно, радиационная толщина составит $S + S = 6 + 6 = 12$ мм, где S – толщина стенки трубы.

Руководствуясь номограммой 2 рисунка 3, определяем, что напряжение на рентгеновской трубке не должно превышать 200 кВ.

Из таблицы 2 выбираем дефектоскоп РАП-300-5Н. Его основные характеристики:

- диапазон напряжений составляет 100...300 кВ;
- максимальный анодный ток – 5 мА;
- размер фокусного пятна – $\phi = 1,5$ мм.

5 Тип рентгеновской плёнки.

Из таблицы 7 для радиационной толщины 12 мм выбираем плёнку AGFA, тип D3.

6 Способ зарядки плёнок в кассеты с усиливающими экранами и толщина свинцовых экранов.

По таблице 9 выбираем способ зарядки плёнок в кассеты с двумя усиливающими свинцовыми экранами.

По таблице 8 для напряжения на трубке рентгеновского аппарата от 100 до 300 кВ выбираем толщины экранов: для переднего – 0,05 мм; для заднего – 0,09 мм.

7 Схема контроля.

В виду того, что дефектоскоп имеет большие габариты, выбираем схему просвечивания по рисунку 21. Схема контроля представлена на рисунке 27.

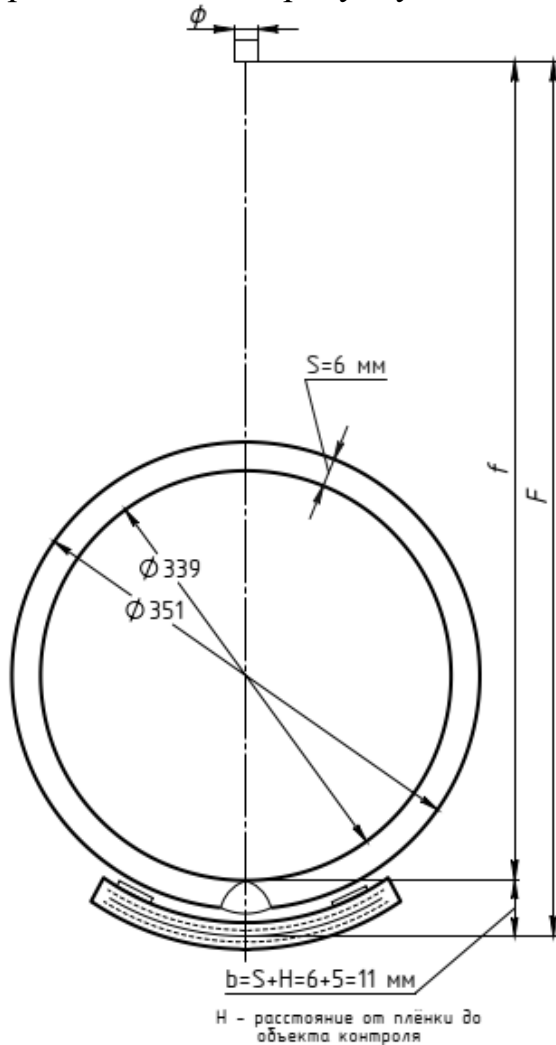


Рисунок 27 – Схема контроля продольного сварного шва

8 Минимальное значение f расстояния от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка. Значение фокусного расстояния F .

Расстояние f от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка определяется для прямолинейных сварных соединений по формуле

$$f > C S,$$

где $C = 2\phi/K$ при $\phi/K \geq 2$; $C = 4$ при $\phi/K \leq 2$;

S – контролируемая толщина, мм;

ϕ – максимальный размер фокусного пятна источника излучения, мм;

K – требуемая чувствительность контроля, мм.

В данном случае $\phi/K = 1,5/0,2 = 7,5$, следовательно $C = 2 \cdot \phi/K = 2 \cdot 1,5/0,2 = 15$. Тогда $f_{\min} = 15 \cdot 6 = 90$ мм.

Минимальное фокусное расстояние $F_{\min} = f_{\min} + b = 90 + 11 = 101$ мм. Значение b берётся как сумма толщины основного металла $S = 6$ мм и расстояния от плёнки до объекта контроля $H = 5$ мм.

С учётом того, что значение $F_{\min} = 101$ мм меньше диаметра трубы

351 мм, выбираем значение фокусного расстояния F (расстояние от источника до плёнки) равным $F = 550$ мм.

9 Длина L контролируемых за одно экспонирование участков.

Так как шов трубы продольный, контролируемые участки имеют прямолинейную форму. В этом случае длина L контролируемого за одно экспонирование участка определяется как $L = 0,8 \cdot f$, где f – расстояние от источника до наиболее удалённой от плёнки точки контролируемого участка.

При выбранном значении $F = 550$ мм, $f = F - b = 550 - 11 = 539$ мм.

Тогда $L = 0,8 \cdot f = 0,8 \cdot 539 = 431$ мм.

10 Время экспозиции просвечивания.

Время экспозиции при использовании рентгеновского дефектоскопа рассчитывается по формуле

$$t_{\text{экс}} = \frac{t \cdot k_F}{i}.$$

При этом экспозиция T для плёнки D3 определяется по рисунку В.1.

Для радиационной толщины 12 мм и при $U = 140$ кВ экспозиция составляет $T = 14$ мА · мин.

Учитывая, что номограммы (см. рисунок В.1) построены для фокусного расстояния $F_0 = 1000$ мм, определим коэффициент k_F для фокусного расстояния контроля $F = 550$ мм.

$$k_F = \frac{F^2}{F_0^2} = \frac{500^2}{1000^2} = 0,25.$$

Таким образом, при значении анодного тока $i = 4$ мА время экспонирования

$$t_{\text{экс}} = \frac{14 \cdot 0,25}{4} = 0,875 \text{ мин} = 53 \text{ с}.$$

Список литературы

- 1 **Денисов, Л. С.** Контроль и управление качеством сварочных работ: учебное пособие для вузов / Л. С. Денисов. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 619 с.
- 2 **Маслов, Б. Г.** Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие для вузов / Б. Г. Маслов. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.
- 3 **ГОСТ 23055–78.** Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля. – Москва: Госстандарт России, 1991. – 8 с.
- 4 **СТБ 1428–2003.** Соединения сварные трубопроводов и металлоконструкций. Радиографический метод. – Минск: БелГИСС, 2004. – 34 с.
- 5 **ГОСТ ISO 17636–1–2017.** Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Ч 1: Способы рентгено- и гамма-графического контроля с применением плёнки. – Москва: Стандартиформ, 2018. – 36 с.

Приложение А (справочное)

Размеры эталонов чувствительности

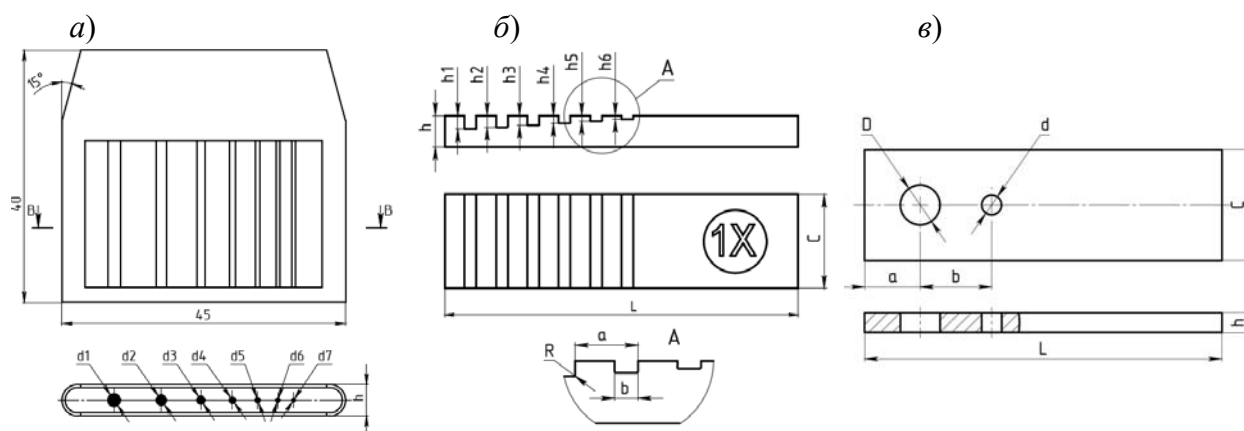


Рисунок А.1 – Эскизы проволочного (а), канавочного (б) и пластинчатого (в) эталонов чувствительности

Таблица А.1 – Размеры проволочного эталона чувствительности

Номер эталона	$d1$, мм	$d2$, мм	$d3$, мм	$d4$, мм	$d5$, мм	$d6$, мм	$d7$, мм	h , мм
1	0,200	0,160	0,125	0,100	0,080	0,063	0,050	1,200
2	0,400	0,320	0,250	0,200	0,160	0,125	0,100	1,400
3	1,250	1,000	0,800	0,630	0,500	0,400	0,320	2,200
4	4,000	3,200	2,500	2,000	1,600	1,250	1,000	5,000

Таблица А.2 – Размеры канавочного эталона чувствительности

Номер эталона	$h1$, мм	$h2$, мм	$h3$, мм	$h4$, мм	$h5$, мм	$h6$, мм	h , мм	R , мм	a , мм	b , мм	C , мм	L , мм
1	0,60	0,5	0,40	0,3	0,20	0,10	2	0,1	2,5	0,5	10	30
2	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	0,50	4	0,2	4,0	1,5	12	45
3	4,00	3,5	3,00	2,5	2,00	1,50	6	0,3	6,0	3,0	14	60

Таблица А.3 – Размеры пластинчатого эталона чувствительности

Номер эталона	h , мм	D , мм	d , мм	a , мм	b , мм	C , мм	L , мм
1	0,1	0,2	0,1	5	5	10	25
2	0,2	0,4	0,2				
3	0,3	0,6	0,3				
4	0,4	0,8	0,4				
5	0,5	1,0	0,5				
6	0,60	1,2	0,60	6	7	12	35
7	0,75	1,5	0,75				
8	1,00	2,0	1,00				
9	1,25	2,5	1,25				
10	1,5	3,0	1,5	7	9	14	45
11	2,0	4,0	2,0				
12	2,5	5,0	2,5				

Приложение Б (справочное)

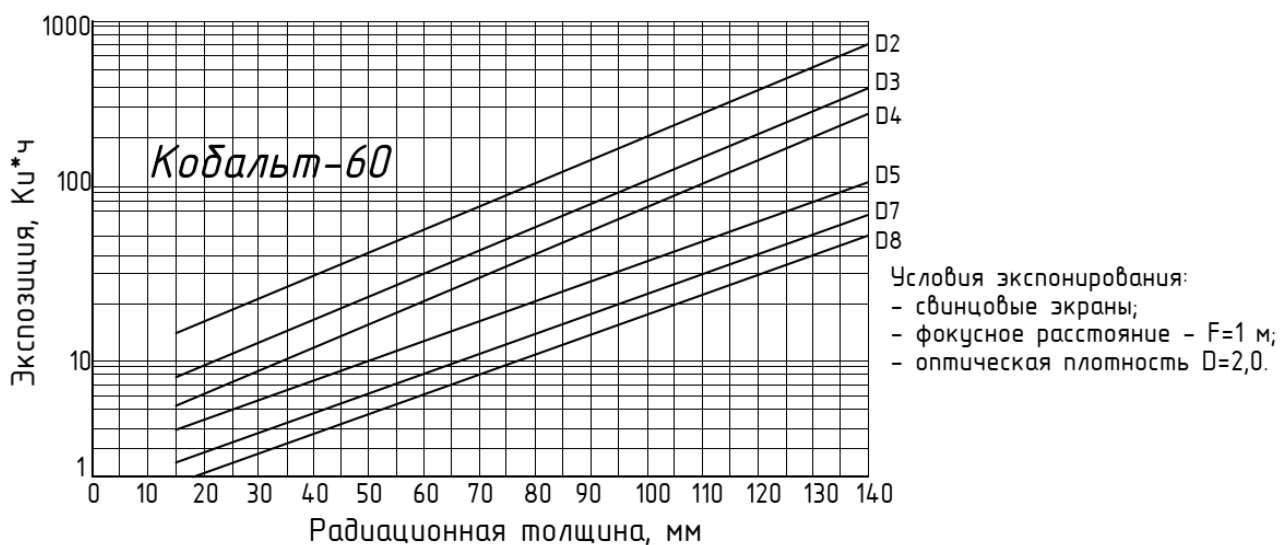
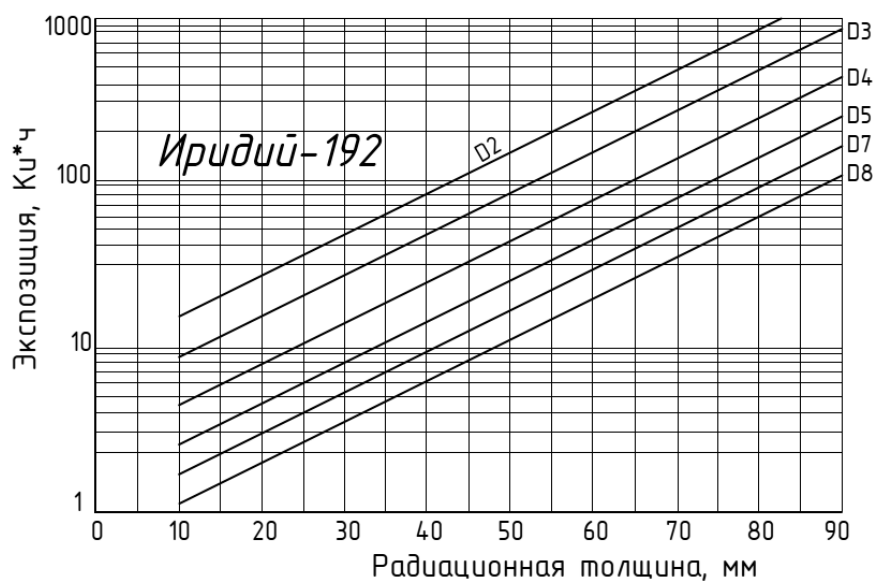
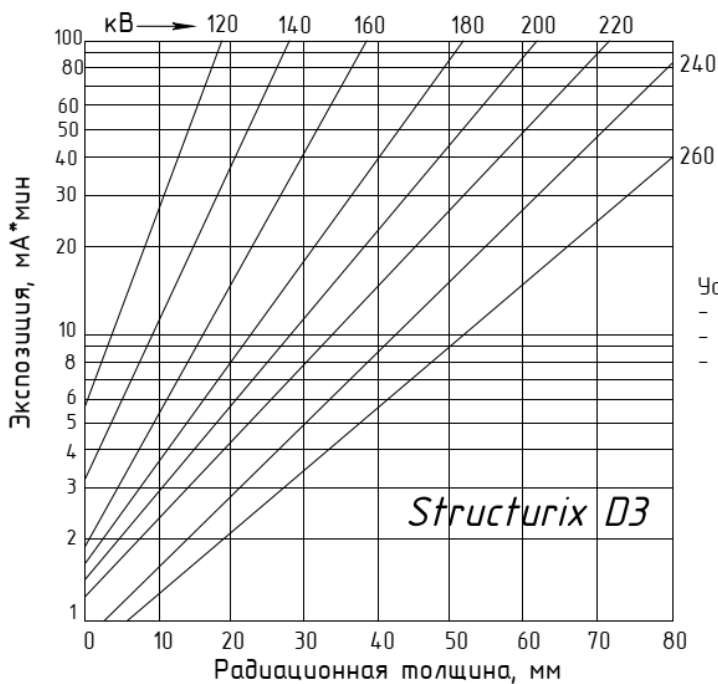


Рисунок Б.1 – Номограммы для определения экспозиции при использовании в качестве источника излучения радиоизотопов иридия-192 и кобальта-60

Приложение В (справочное)

а)



б)

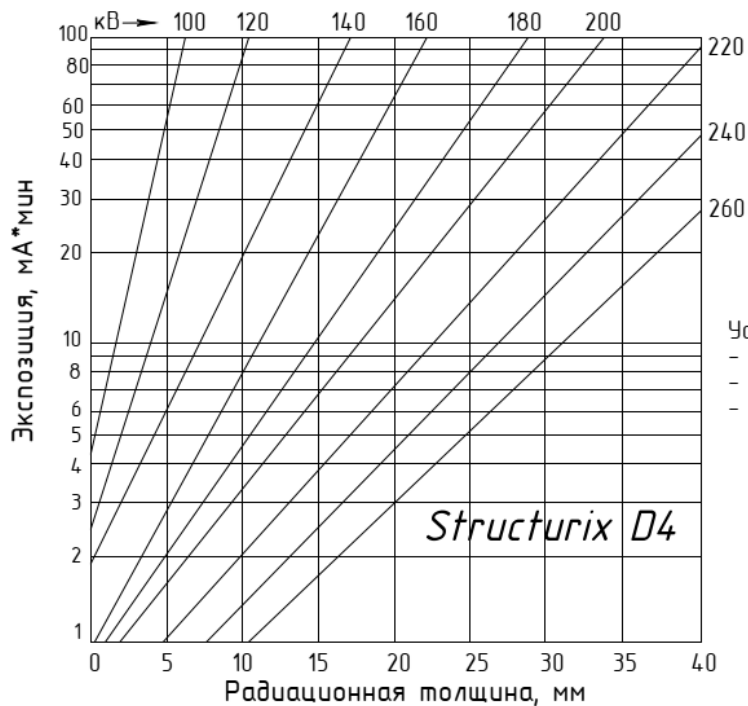
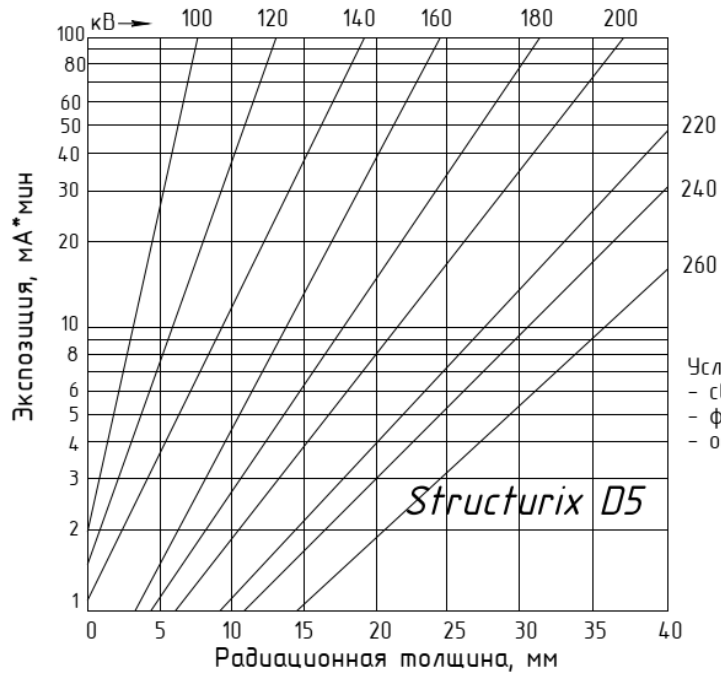
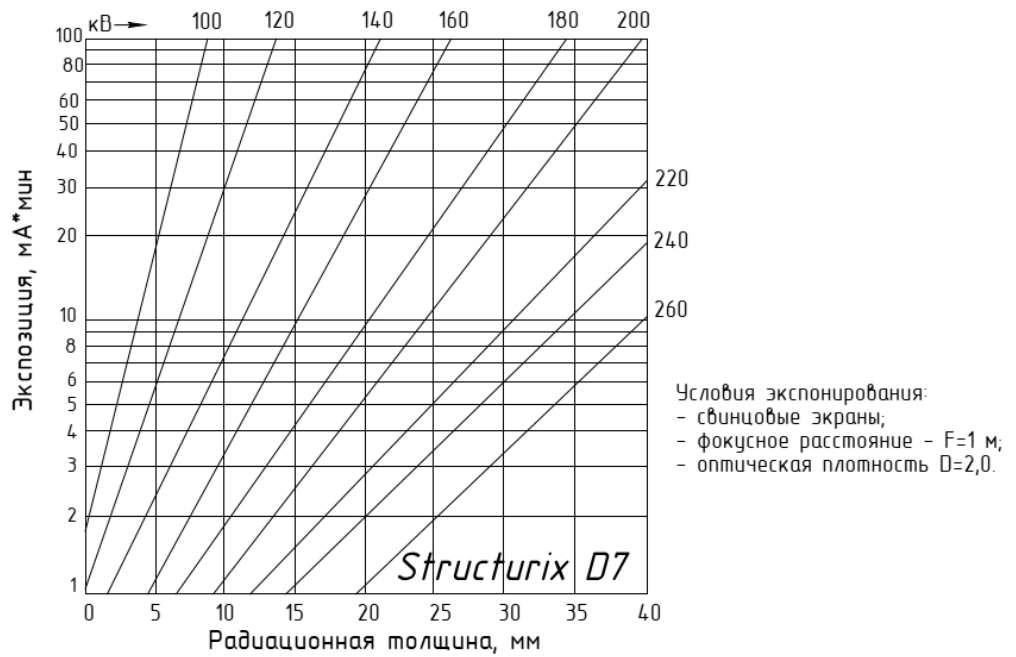


Рисунок В.1 – Номограммы для определения экспозиции при использовании рентгеновского излучения

в)



г)



Окончание рисунка В.1