

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»
очной и заочной форм обучения*



Могилёв 2019

УДК 620.179.15
ББК 32.843
П 75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «26» марта 2019 г.,
протокол № 7

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Магилинский

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Предназначены для самостоятельной работы студентов при подготовке к курсовому проектированию. Разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Приборы и методы радиационного контроля» для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Ответственный за выпуск	С.С. Сергеев
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная вёрстка	Н. П. Полевничая

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, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

1 Цель и задачи курсовой работы.....	4
2 Тематика курсовых работ.....	4
3 Содержание и объем курсовой работы.....	5
4 Основное содержание отдельных этапов курсовой работы.....	6
5 Краткие указания по выполнению курсовой работы.....	7
6 Защита курсовой работы.....	11
7 Оформление курсовой работы.....	11
8 Методика расчета стационарных и передвижных средств защиты.....	12
8.1 Расчет защиты от прямого γ -излучения радиоактивных источников.....	12
8.2 Расчет защиты от прямого рентгеновского излучения.....	14
9 Пример выполнения курсовой работы. Модернизация рентгеновского аппарата для радиационного контроля сварных соединений труб с кольцевыми швами.....	18
9.1 Анализ радиационных методов контроля сварных соединений.....	18
9.2 Модернизация электрической принципиальной схемы прибора.....	36
Список литературы.....	40
Приложение А.....	41

1 Цель и задачи курсовой работы

Целью курсовой работы является развитие навыков самостоятельной творческой работы студентов на основе знаний, полученных при прохождении лекционного и лабораторного курса «Приборы и методы радиационного контроля», других профилирующих и общеинженерных дисциплин, производственных практик.

Основными задачами курса являются:

- закрепление и углубление теоретических знаний по курсу «Приборы и методы радиационного контроля», необходимых для создания аппаратуры и новых методов радиационного контроля;
- развитие критического подхода при выборе метода радиационного контроля;
- приобретение навыков проектирования автоматизированной и роботизированной оснастки радиационного контроля различных узлов;
- приобретение навыков инженерных расчетов защиты от ионизирующего излучения;
- приобретение навыков компоновки оптимальных систем контроля с помощью известных приборов, датчиков, детекторов, устройств;
- развитие навыков самостоятельной работы с научно-методической литературой;
- ознакомление с передовыми достижениями науки и техники в СНГ и за рубежом в области радиационного контроля.

2 Тематика курсовых работ

Курсовая работа посвящена совершенствованию существующей или разработке новой технологии радиационного контроля материалов и изделий, разработке или модернизации аппаратуры контроля, устройств механизации и автоматизации процесса контроля.

В результате выполнения курсовой работы может быть повышена достоверность, эффективность контроля, производительность контрольных операций, уменьшены затраты на контроль, улучшены условия труда и т. д.

Примерные темы курсовой работы

- 1 Разработка устройства и методики радиационного контроля сварных соединений труб.
- 2 Разработка устройства и методики радиоскопического контроля труб со спиральными швами.
- 3 Разработка устройства и методики контроля толщины покрытий радиометрическим методом.
- 4 Разработка планировки комплексной дефектоскопической лаборатории.



5 Расчет защиты от рассеянного рентгеновского гамма-излучения при контроле в стационарных и полевых условиях.

6 Разработка аппаратуры и методики радиометрического и дозиметрического контроля в дефектоскопических лабораториях.

7 Модернизация рентгеновского аппарата для контроля труб, плоских панелей.

8 Разработка оснастки для радиографического контроля изделий, узлов, сварных соединений.

3 Содержание и объём курсовой работы

Курсовая работа содержит расчётно-пояснительную записку и графическую часть.

Расчётно-пояснительная записка состоит в основном из следующих разделов.

Введение.

Характеристика объекта и радиационных методов его контроля.

Описание конструкции изделия, дефектов, технические требования к качеству изделия.

Характеристики радиационного метода контроля изделия, применяющегося на предприятии (описания технологии, средств, материалов, чувствительности контроля с обязательным указанием недостатков, которые в результате выполнения курсовой работы будут устранены).

Современное состояние радиационного контроля изделий, аналогичных объекту контроля данной курсовой работы.

Цель и задачи курсовой работы.

Разработка технологий радиационного контроля изделия.

Выбор вида и источника ионизирующего излучения.

Описание подготовки изделия к просвечиванию.

Выбор схемы и определение геометрических условий просвечивания.

Выбор рентгеновских плёнок и экранов.

Фотообработка снимков.

Разработка и описание приспособлений и устройств, обеспечивающих возможность просвечивания изделия выбранным аппаратом.

Модернизация аппарата.

Разработка и описание способов и приспособлений крепления кассет с плёнкой к объекту контроля.

Разработка и модернизация устройств для фотообработки плёнок.

Мероприятия по охране труда.

Санитарные нормы и правила при проведении рентгеновской и радиоизотопной дефектоскопии.

Разработка и расчет стационарных и передвижных средств защиты от ионизирующего излучения.

Радиометрический и дозиметрический контроль персонала.



Заключение.

Список использованных источников.

Допускается отступление от указанных пунктов по согласованию с руководителем работы.

Объём расчетно-пояснительной записки – 25–30 страниц.

Графическая часть работы может содержать:

- чертежи изделия с техническими требованиями;
- чертежи модернизированных R- или γ -аппаратов;
- чертежи штативов для крепления аппаратов в положении контроля;
- чертежи приспособлений для крепления кассет с плёнкой на объекте контроля, формулы и расчет геометрических условий просвечивания, экспозиции и др.;
- плакаты, иллюстрирующие результаты исследования, анализ патентов и данных литературы.

Объём графической части составляет 1–2 листа формата А1.

4 Основное содержание отдельных этапов курсовой работы

В первом разделе пояснительной записки приводятся сведения о назначении изделия, даются его характеристика, описание технических требований к качеству объекта контроля, технологического процесса сварки изделия и дефектов, возникших при этом, указываются допустимые и недопустимые дефекты.

Далее характеризуется метод радиационного контроля, применяемый на производстве. При этом описываются вид и источники (аппараты) излучения, приспособления, обеспечивающие возможность их применения для конкретного изделия.

Также описываются схемы и геометрические условия просвечивания, даётся характеристика применяемых плёнок, экранов, приводятся способы фотообработки плёнок.

Указываются недостатки в выборе средств, применяемых материалах и технологии контроля на данном предприятии.

В описании современного состояния радиографического контроля на основании анализа патентов и источников литературы указывается, каким образом решаются вопросы, являющиеся узкими местами для данного предприятия.

На основании данного анализа указываются цель и задачи курсовой работы.

Выбор вида и источников излучения производится с учётом материала, толщины, конструктивных особенностей объекта контроля и места его изготовления (в цехе или в полевых условиях).

Выбор схемы просвечивания осуществляется с учётом обеспечения высокой чувствительности к дефектам и сокращения времени просвечивания. В связи с этим предпочтение отдаётся панорамному просвечиванию.

В зависимости от требуемой чувствительности и вида дефектов производится выбор рентгеновской плёнки (фотобумаги), выбирается способ зарядки кассет и усиливающих экранов, рассчитывается расход плёнки (фотобумаги).



Время просвечивания определяется по номограммам. При этом обязательно указывается количество экспозиций, необходимых для просвечивания всего изделия (всей длины шва).

Описывается порядок фотообработки пленок и приспособления.

Дается описание журнала регистрации работ по просвечиванию и обнаружению дефектов в соответствии с СТБ 1428–2003.

В разделах, касающихся разработки устройств, приспособлений, обеспечивающих возможность радиационного контроля изделия, вначале обосновывается необходимость их разработки, а затем описывается принцип работы разрабатываемого устройства или приспособления. Если это вращатель изделия или тележка для перемещения изделия или аппарата, производятся расчеты электропривода (электродвигателя, редуктора), описываются разрабатываемые электрические схемы и пр.

То же относится и к модернизации самих аппаратов, разработке способов и средств крепления кассет с плёнкой к объекту контроля.

При большом объеме использования рентгеновских плёнок (фотобумаги) следует применять машины для фотообработки.

В мероприятиях по охране труда описываются нормы радиационной безопасности, производятся расчеты экспозиционных доз излучения, что даёт выбрать источник ионизирующего излучения в работе, расчет стационарных и передвижных средств защиты от источника излучения.

В заключении приводится краткая характеристика результатов, полученных при выполнении курсовой работы, и дается сравнение разработанного варианта с базовым.

На основании сравнения даются рекомендации по внедрению разработанного варианта в производство.

В списке использованных источников должны быть учебники, монографии, статьи из журналов и сборников, ГОСТы, авторские свидетельства и патенты (отечественные и зарубежные).

5 Краткие указания по выполнению курсовой работы

Исходные данные к работе представлены в таблице 5.1.

С учётом толщины и места расположения контролируемого изделия определите вид излучения и его основные характеристики, энергию излучения (напряжение на рентгеновской трубке), выберите тип радиоактивного источника, марку рентгеновского или гамма-аппарата.

Для этого можно воспользоваться данными таблицы 5.1.

Например, заданием предусмотрено изделие в виде плоской пластины толщиной 6 мм, контролируемое в цехе. Расположение изделия в цехе позволяет выбрать в качестве источника рентгеновское излучение.

В таблице 5.2 6 мм отсутствует. Поэтому напряжение на трубке выбирается средним между теми, которые пригодны для толщин 5 и 7 мм, т. е. $U = (100 + 120) / 2 = 100$ кВ, но можно выбрать $U = 120$ кВ.



Таблица 5.1 – Исходные данные к курсовой работе

Номер варианта	Форма узла	Толщина металла, мм	Место расположения узла
1	Плоская панель	5	Цех
2	Труба 100 мм	8	Цех
3	Труба 200 мм	10	На монтаже
4	Труба 400 мм	12	На монтаже
5	Труба 500 мм	14	На монтаже
6	Труба 800 мм	16	На монтаже
7	Труба 1000 мм	18	На монтаже
8	Плоская панель	20	На монтаже
9	Плоская панель	100	Цех
10	Плоская панель	120	Цех
11	Труба 30 мм	2	Цех
12	Труба 53 мм	2,5	Цех
13	Труба 67 мм	2,8	Цех
14	Труба 80 мм	2,5	Цех
15	Труба 100 мм	3	Цех
16	Труба 1420 мм	32	На монтаже
17	Плоская панель	125	Цех
18	Плоская панель	130	На монтаже
19	Плоская панель	135	На монтаже
20	Плоская панель	140	На монтаже
21	Плоская панель	150	На монтаже
22	Плоская панель	180	На монтаже
23	Плоская панель	200	На монтаже
24	Плоская панель	220	На монтаже
25	Плоская панель	240	На монтаже

Затем по таблице 5.2 подбирается рентгеновский аппарат, например, РУП – 120-5-1, для которого $U = 50...120$ кВ.

Таблица 5.2 – Области применения рентгеновского и гамма-излучения при радиографическом контроле

Рентгеновское излучение		Гамма-излучение	
Толщина (железо) S , мм	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	Толщина, мм	Наименование источника
1	2	3	4
5	100	1...20	Tm^{170}
7	120	5...80	Ir^{192}
10	150	10...20	Cs^{137}
21	200	30...200	Co^{60}



Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4
27	250	–	–
33	300	–	–
45	400	–	–
150	1000	–	–

Для работы необходимы данные о величине анодного тока i_0 и угла раствора пучка α . Для РУП-120-5-1 $i_{a \max} = 5$ мА, $\alpha = 40^\circ$.

Если бы контролируемое изделие находилось на монтаже, то следовало бы применить гамма-излучение. Из таблицы 5.2 видно, что для толщины 6 мм можно применить Tm^{170} и Ir^{192} . В таблице 5.2 указаны характеристики некоторых источников гамма-излучения. Наиболее важными из них являются период полураспада $T_{1/2}$, мощность экспозиционной дозы (МЭД) на расстоянии 1 м и удельная активность A . Для Tm^{170} $T_{1/2} = 129$ сут; МЭД = $7,8 \cdot 10^{-11}$ Кл/(кг·с); $A = 1,3 \cdot 10^{12} \dots 3,7 \cdot 10^{13}$ Бк/г $^{-1}$. Для Ir^{192} $T_{1/2} = 74,4$ сут; МЭД = $3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл/(кг·с); $A = 5,5 \cdot 10^{12} \dots 9,2 \cdot 10^{12}$ Бк/г $^{-1}$.

Поскольку период полураспада Ir^{192} составляет 74,4 дня, ампулу с этим элементом необходимо менять через 2,5 месяца. Период полураспада Tm^{170} равен 128 дням – ампулу нужно менять реже. Таким образом, применение тулия более выгодно.

Далее следует выбрать схему просвечивания, определить фокусное расстояние F и поле облучения объекта D_0 и плёнки D_n .

Диаметр поля облучения D_n можно определить по формуле

$$D_n / 2 = F \operatorname{tg} \alpha \text{ или } D_n \leq \frac{2}{3} F ,$$

где α – половина угла облучения.

Диаметр поля облучения на объекте

$$\frac{D_0}{l} = (F - \delta) \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ или } D_0 \leq \frac{2}{3} (F - \delta) .$$

Для больших толщин F , 2α , D_0 , D_n можно брать из таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Влияние толщины металла на F , D_0 и D_n

Толщина стали, мм	2α , град	D_n (в числителе) и D_0 (в знаменателе), мм, при F			
		250	500	750	1000
50	58	250/200	500/450	750/700	1000/950
100	48	220/130	440/350	670/580	890/800
150	35	–	310/220	470/375	630/530
200	22	–	–	290/210	390/310



Фокусное расстояние F можно определить также по графикам или формулам.

При этом следует учесть, что при контроле кольцевых сварных швов следует отдавать предпочтение панорамному просвечиванию. Тогда

$$D_0 = 2\pi R,$$

где R – наружный радиус трубы.

Фокусное расстояние для рентгеновского и гамма-контроля часто принимается 500...750 мм, в связи с чем в данной работе $F = 500$ мм, D_0 и D_n рассчитываются по вышеприведенным формулам.

Тип плёнки выбирается с учётом её контрастности, чувствительности к излучению, разрешающей способности. Соответствующие сведения приведены на упаковочных коробках с плёнкой. Для работы выбирается высокочувствительная безэкранный плёнка РТ-1. Безэкранные плёнки, как правило, применяются с металлическими экранами для уменьшения влияния на плёнку рассеянного ИИ.

Рекомендуется при использовании рентгеновского излучения применять экраны из свинца, вольфрама, олова, при гамма-излучении – из вольфрама, свинца и флуоресцентные экраны.

Для работы используются свинцовые экраны толщиной 0,05 мм.

Время просвечивания определяется по номограммам.

$$\mathcal{E} = t \cdot i,$$

где t – время просвечивания, мин;

i – анодный ток, мА.

Время экспозиции определяется по номограммам следующим образом. С точки оси абсцисс $\delta = 6$ мм восстанавливается перпендикуляр пересечения с лучом $U = 120$ кВ, затем от этой точки восстанавливается перпендикуляр к оси ординат. Таким образом, $\mathcal{E} = 1,5$ мА·мин, тогда $t = \mathcal{E}/5 = 0,3$ мин = 18 с.

Следует обратить внимание на то, что номограмма построена для $F = 75$ см, а в работе выбрали $F = 50$ см.

В этом случае время просвечивания определяется по формуле

$$t = t_0 F^2 / F_0^2,$$

где t – искомое время при фокусном расстоянии F ;

t_0 – время просвечивания при фокусном расстоянии F_0 , найденном на номограмме.

При использовании Tm^{170} время просвечивания также определяется по номограммам.

Следует учесть, что определённое таким образом время соответствует просвечиванию одной плёнки. Если для просвечивания всей длины шва требуется n плёнок, то время просвечивания по всей длине шва получают посредством умножения t на n .



После определения режимов просвечивания приступают к разработке способов и приспособлений крепления кассет к объекту контроля и к разработке или модернизации приспособлений для установки рентгеновского или гамма-аппарата в положение, соответствующее выбранной схеме просвечивания.

Далее, учитывая место расположения объекта контроля (в цехе или в полевых условиях), а также его габариты, определяют место проведения контроля: цех, лаборатория, полевые условия. Исходя из этого разрабатываются средства защиты персонала от источника излучения, выбираются приборы для дозиметрического контроля.

6 Защита курсовой работы

Защита курсовой работы является заключительным этапом и призвана помочь студентам научиться кратко и чётко излагать свои мысли, вести деловые дискуссии, умело держать себя перед аудиторией.

К защите представляется полностью законченная работа, подписанная её автором и руководителем.

Защита производится перед комиссией в составе двух–трех преподавателей кафедры. Общее время, отводимое на приём работы, 15...20 мин, из которых 7...10 мин представляются студенту для сообщения, а остальные – для ответов на вопросы.

При оценке работы учитывается качество, полнота и самостоятельность выполнения поставленной задачи, чёткость сообщения, качество оформления графической части и пояснительной записки, работа с литературой.

7 Оформление курсовой работы

Расчётно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 на одной стороне. На каждом листе оставляются поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху и снизу – 20 мм. Изложение должно вестись ясным, технически грамотным языком, сокращения допускаются только общепринятые. Заголовки должны выделяться. Оформление списка литературы должно соответствовать ГОСТ 7.1–2003. Используемые источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте записки, физические величины необходимо выразить в СИ согласно ГОСТ 8.417–2002. Графические материалы работы должны соответствовать требованиям ЕСКД.



8 Методика расчета стационарных и передвижных средств защиты

Для защиты от ионизирующего излучения применяются устройства стационарные (стены, перекрытия потолков и полов, защита дверей, дверных проёмов, смотровых окон и т. п.) и передвижные (защитные кожухи рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения радиоактивных источников, защитные кабины, экраны, ширмы и т. п.).

Защитные устройства изготавливаются из различных материалов (свинца, железа, чугуна, баритобетона, свинцового стекла и др.). При расчёте толщины должны учитываться энергетический спектр излучения, его интенсивность, расстояние от людей до источника, время работы с излучением, категория облучаемых лиц и назначение помещений.

8.1 Расчет защиты от прямого γ -излучения радиоактивных источников

Радиоактивные источники, применяемые в дефектоскопии, можно рассматривать при расчёте защиты как точечные излучатели. Для точечных источников экспозиционная доза (поглощенная доза) и мощность экспозиционной дозы (поглощённой дозы) изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния между точкой измерения и источником R :

$$P = \frac{M \cdot 8,4}{R^2 \cdot 10^4}; \quad D = \frac{M \cdot 8,4 \cdot t}{R^2 \cdot 10^4};$$

$$P = \frac{Q \cdot K_\gamma}{R^2 \cdot 10^4}; \quad P = \frac{Q \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2 \cdot 10^4};$$

$$P = \frac{P_0}{R^2}; \quad D = \frac{P_0 \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2}, \quad (8.1)$$

где P – мощность экспозиционной дозы на расстоянии R от источника, Р/ч;

P_0 – мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от источника, Р/ч;

D – экспозиционная доза на расстоянии R от источника, Р;

M – гамма-эквивалент радиоактивного источника, мг-экв Ra;

t – время работы с радиоактивным источником, ч;

Q – активность радиоактивного источника, мКи;

K_γ – γ -постоянная радиоактивного нуклида, Р·см²/(ч·мКи);

8,4 – γ -постоянная радия при платиновом фильтре толщиной 0,5 мм, Р·см²/(ч·мКи).

Соотношение между мощностью экспозиционной дозы P_0 , Р/ч, измеряемой на расстоянии 1 м от источника, и гамма-эквивалентом M , г-экв Ra, определяется равенством 1 г-экв $Ra = 2,33 \cdot 10^{-4}$ Р/с.



Гамма-эквивалент источника – условная масса точечного источника ^{226}Ra , создающего на данном расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как данный источник. Специальной единицей гамма-эквивалента является килограмм-эквивалент радия (1 кг-экв Ra), который на расстоянии 1 см в воздухе от источника создаёт мощность экспозиционной дозы в 2,33 Р/ч, соответственно, 1 мг-экв Ra = $2,33 \cdot 10^{-3}$ Р/с, или 8,4 Р/ч. Гамма-постоянной K_γ радиоактивного нуклида принято называть мощность экспозиционной дозы, создаваемую нефилтрованным излучением точечного изотропного излучения источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него.

Формулы (8.1) позволяют определить дозу или мощность дозы, создаваемые прямым излучением незащищённого источника на любом расстоянии от него. Для снижения этой дозы или мощности дозы до необходимого уровня чаще всего используют защитные устройства, которые устанавливаются между источником и рабочим местом.

В дефектоскопии приходится работать в основном с широкими пучками γ -излучения. Расчёты мощности дозы за защитой достаточно трудоёмки, γ -излучение большинства источников немонотонноэнергетическое. Поэтому толщину защиты целесообразно определять по номограмме, таблицам и графикам, полученным на основании экспериментальных и теоретических данных по ослаблению широкого пучка γ -излучения источников, нашедших применение в дефектоскопии.

Все номограммы, графики и таблицы, рассчитанные для помещений с постоянным пребыванием лиц категории А, можно использовать и при расчёте защиты в других случаях, в том числе и для лиц категории Б; для этого необходимо ввести фиктивные мощности экспозиционных доз на расстоянии 1 м, гамма-эквиваленты источников и точки рентгеновских трубок, превышающие истинные во столько раз, во сколько соответствующие проектные мощности дозы меньше тех, которые были использованы при расчётах.

Во всех случаях, если не оговорено специально, защиту рассчитывают для персонала (категория А). Принято также, что при внешнем облучении коротковолновым рентгеновским и γ -излучением всего тела, как и в радиационной дефектоскопии, предельно допустимая доза в 5 бэр в год практически соответствует мощности экспозиционной дозы 2,8 мР/ч (при 36-часовой рабочей неделе). В этом случае проектная недельная доза для персонала (категория А) равна 50 мР. Проектная мощность экспозиционной дозы коротковолнового рентгеновского и γ -излучения при расчёте защиты помещений с постоянным пребыванием лиц категории А принята равной 1,4 мР/ч или $\frac{50}{t}$ мР/ч, если заранее известно время t , ч, работы установок в течение недели.

Существует несколько методов расчёта.

Первый метод – расчёт защиты при кратности ослабления.

Пример 1 – Ослабить γ -излучение Cs^{135} свинцом, железом или бетоном до допустимого уровня для $t = 36$ ч в неделю, если мощность экспозиционной дозы $P = 280$ мР/ч.

Решение

Проектная мощность экспозиционной дозы $P_c = 1,4$ мР/ч; необходимая кратность ослабления

$$K = \frac{P}{P_0} = \frac{280}{1,4} = 200.$$

Кратность ослабления $K = 2 \cdot 10^2$ соответствует $l = 4,8$ см свинца и $l = 13,4$ см железа.

Второй метод – расчёт защиты по универсальным таблицам.

При использовании других источников γ -излучения защиту удобно рассчитывать по кратности ослабления, представленной в универсальных таблицах А.1–А.8. Таблицы рассчитаны на основании экспериментальных данных и теории ослабления широкого пучка моноэнергетического γ -излучения.

Пример 2 – Рассчитать защиту из свинца или бетона от γ -излучения Co^{60} (энергия излучения 1,25 МэВ) с γ -эквивалентом $M = 4$ г-экв Ra. Работа проводится на расстоянии 5 м от источника в течение 36-часовой недели.

Решение

Мощность экспозиционной дозы, создаваемой незащищённым источником на указанном расстоянии, выражается формулой

$$P = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 8,4}{25 \cdot 10^4} = 0,14 \text{ Р/ч} = 140 \text{ мР/ч}.$$

Кратность ослабления экспозиционной дозы

$$K = \frac{140}{1,4} = 100.$$

В таблице А.2 для энергии γ -излучения 1,25 МэВ кратности ослабления $K = 100$ находят толщину защиты из свинца: $l = 8,45$ см. Согласно таблице А.6 этим же условиям соответствует защита из бетона толщиной $l = 54,5$ см.

8.2 Расчет защиты от прямого рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение, возникающее при торможении ускоренных электронов на аноде рентгеновской трубки, имеет непрерывный энергетический спектр. Максимальная энергия тормозного излучения E_{\max} численно равна максимальному напряжению, приложенному к рентгеновской трубке, U_{\max} . Максимальная интенсивность энергетического спектра рентгеновского излучения соответствует энергии фотонов



$$E = \frac{2}{3} \cdot E_{\max}.$$

Экспозиционную дозу D и мощность экспозиционной дозы P рентгеновского излучения можно пересчитать по формулам

$$P = \frac{P_m \cdot i}{R^3};$$

$$D = \frac{P_m \cdot i \cdot t \cdot 3,6 \cdot 10^3}{R^2},$$

где P – мощность экспозиционной дозы на расстоянии R от трубки, Р/с;

P_m – лучевая отдача данной рентгеновской трубки (мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м при токе 1 мА), Р·м²/(с·мА);

i – ток через трубку, мА;

t – время работы, ч;

D – экспозиционная доза на расстоянии R от трубки, Р.

Для упрощения расчёт проводится на основании эффективной энергии всего спектра излучения. За эффективную обычно принимается энергия, соответствующая напряжению $\frac{2}{3} U_{\max}$. В этом случае закон ослабления широкого пучка рентгеновского излучения записывается в виде формулы

$$P = P_0 [\exp(-\mu \cdot l)] \cdot B, \quad (8.2)$$

где P_0 – мощность экспозиционной дозы в отсутствие защиты;

P – мощность экспозиционной дозы за защитой;

μ – линейный коэффициент ослабления, см⁻¹;

l – толщина защиты, см;

B – фактор накопления рассеяния излучения.

Линейные коэффициенты ослабления и дозовые факторы накопления представлены в таблицах.

Расчёт по формуле (8.2) даёт хорошее совпадение с экспериментом при напряжении U_{\max} свыше 200...300 кВ. При более низких напряжениях этим методом пользоваться нельзя, для длительного излучения характерны скачки поглощения в материалах (в свинце, например, при энергии фотонов 88 кэВ). Поэтому для нахождения толщины защиты при напряжениях на рентгеновской трубке меньше 300 кВ следует использовать экспериментальные данные.

Рассмотрим несколько методов определения толщины защиты от прямого рентгеновского излучения.

По первому методу толщину защиты из свинца и бетона при напряжении на рентгеновской трубке от 75 до 300 кВ удобно определять по таблицам А.7– А.8.



Толщина защиты при этом определяется в зависимости от отношения

$$K = \frac{i \cdot t \cdot 100}{R^2 \cdot 36 \cdot D_0},$$

где i – ток в рентгеновской трубке, мА;

R – расстояние от анода рентгеновской трубки до защищаемого объекта, м;

t – время облучения за неделю, ч;

D_0 – проектная недельная экспозиционная доза излучения.

Для лиц, работающих в рентгеновских кабинетах, $D_0 = 50$ мР в неделю, и если работа проводится в течение $t = 36$ ч в неделю, формулы сводятся к выражению

$$K = \frac{2i}{R^2}.$$

Для смежных помещений (проектная мощность экспозиционной дозы $P = 0,1$ мР/ч) и для 36-часовой рабочей недели формула принимает вид:

$$K = \frac{28i}{R^2}.$$

По величине K и напряжению на трубке в таблицах А.1–А.8 находится толщина защитного слоя из свинца и бетона плотностью $2,35$ г/см³. Если плотность используемого строительного материала (кирпич, бетон) равна $2,35$ г/см³, то полученное значение толщины бетонного слоя следует умножить на $2,35/\rho$ (где ρ – плотность материала, г/см³).

Пример 3 – Определить толщину защиты из свинца или бетона для лиц, работающих на расстоянии $R = 4$ м от рентгеновской трубки в течение 36 ч в неделю, при напряжении на трубке 200 кВ и силе тока $i = 16$ мА.

Решение

Указанным величинам R и i соответствует значение

$$K = \frac{2i}{R^2} = \frac{2 \cdot 16}{4^2} = 2.$$

Согласно таблицам А.1–А.8, необходимая толщина защитного слоя составляет 5,5 мм свинца и 380 мм бетона.

Пример 4 – Определить толщину защиты из кирпича ($\rho = 1,5$ г/см³) для лиц, работающих в смежных помещениях при условиях, изложенных в примере 3.



Решение

Значение величины

$$K = \frac{28 \cdot i}{R^2} = \frac{28 \cdot 16}{4^2} = 28.$$

Необходимая толщина бетона, согласно таблицам А.1–А.8, составляет 465 мм, кирпича – $465 \cdot 2,35 / 1,5 = 730$ мм.

Второй метод – расчёт защиты по номограммам. Для определения свинцовой защиты в широком диапазоне напряжения на рентгеновской трубке (от 75 до 2000 кВ) могут служить номограммы, приведённые в таблицах А.1–А.8. Номограмма (см. таблицы А.7–А.8) основана на экспериментальных данных по ослаблению пучка рентгеновского излучения. По оси ординат номограммы отложено значение величины K , определяемой по формуле

$$K = \frac{P_m \cdot l \cdot 10^{-6} \cdot i}{P_\tau \cdot P_0 \cdot R^2},$$

где P_m – лучевая отдача данной рентгеновской трубки, $\text{Р} \cdot \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{мА})$;

P_τ – лучевая отдача рентгеновской трубки, $\text{Р} \cdot \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{мА})$;

P_0 – проектная мощность экспозиционной дозы, $\text{Р} / \text{с}$;

i – ток, мА;

R – расстояние между анодами рентгеновской трубки и рабочим местом, м.

Проектная мощность экспозиционной дозы P_0 , $\text{Р} / \text{с}$, для помещений, где постоянно пребывает персонал, при работе t , в неделю, вычисляется по формуле

$$P = \frac{1,4 \cdot 10^{-5}}{t}.$$

Пример 5 – Найти толщину свинцовой защиты при условиях $U_{\max} = 1400$ кВ, $i = 5$ мА, $R = 3$ м, $P_m = P_\tau$.

Решение

Для указанных условий

$$K = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 9} \approx 1,4.$$

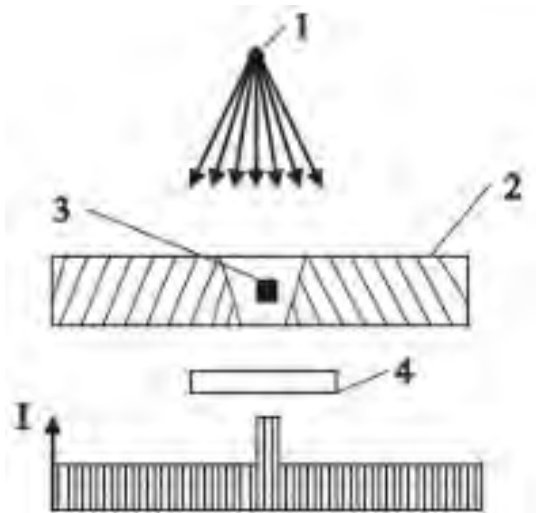
Согласно таблице А.7 найденному K при напряжении 75 кВ соответствует толщина свинца $l = 1,8$ мм.



9 Пример выполнения курсовой работы. Модернизация рентгеновского аппарата для радиационного контроля сварных соединений труб с кольцевыми швами

9.1 Анализ радиационных методов контроля сварных соединений

Выявление внутренних дефектов при просвечивании основано на способности рентгеновского и гамма-излучений неодинаково проникать через разные материалы и поглощаться в них в зависимости от толщины, рода материалов и энергии излучения. Для выявления дефектов в сварочных швах с одной стороны изделия устанавливают источник излучения (рентгеновскую трубку или радиоактивный изотоп), с другой стороны – детектор, регистрирующий информацию о дефекте (рисунок 9.1). В качестве детектора могут быть использованы рентгеновская пленка, электронно-оптический преобразователь, ксерорадиографическая пластина, фотобумага и т. д.



1 – источник; 2 – сварное соединение; 3 – дефект; 4 – детектор; I – интенсивность излучения

Рисунок 9.1 – Схема просвечивания сварного соединения

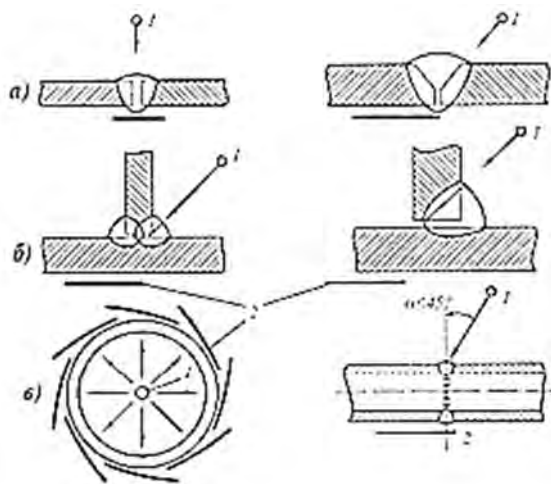
Излучение от источника 1, пройдя через сварное соединение 2, которое имеет внутренний дефект 3, в дефектном и бездефектном местах будет поглощаться по-разному и приходиться на детектор 4 с разной интенсивностью. Интенсивность излучения при прохождении сквозь дефектные места, заполненные воздухом, газом или неметаллическими включениями, ослабляется меньше, чем в сплошном металле. Разность интенсивности излучения будет зарегистрирована детектором. В дефектном месте, где интенсивность I излучения наибольшая (см. рисунок 9.1), пленка чернеет сильнее.

Применение рентгеновских пленок лежит в основе радиографического метода дефектоскопии, который занимает наибольший объем из всех известных методов радиационного контроля. Но не всегда и не при всех условиях на

пленке могут быть найдены 100 % дефектов, которые находятся внутри контролируемого объекта. Существует определенный минимальный дефект, который характеризует предельную чувствительность метода. Дефекты, которые имеют прямолинейные грани, ориентированные параллельно направлению распространения излучения, обнаруживаются значительно лучше вследствие большой резкости изображения их границ, чем дефекты цилиндрической (шлаковые включения), или шариковой (поры), или другой формы. С недостаточной достоверностью (~35...40 %) выявляются такие дефекты, как трещины, непровары, несплавления кромок, из-за малой разности в плотности потемнения пленки в дефектном и бездефектном местах. Наилучшая выявляемость наблюдается при прохождении излучения вдоль плоскостных дефектов (под углом 0°). Для получения и использования рентгеновского метода и гамма-излучений применяют разную радиационную технику: рентгеновские аппараты, гамма-аппараты, линейные ускорители и бетатроны.

Недостаток метода заключается в том, что рассеянное излучение, в зависимости от энергии первичного излучения, изменяет качество снимка, снижает контрастность и четкость изображения, а следовательно, и чувствительность самого метода. Вследствие этого дефекты малого размера тяжело различить и часто они могут быть не выявлены совсем.

Просвечивание стыковых швов (рисунок 9.2) обычно проводят перпендикулярно поверхности либо по направлению разделки кромок, т. к. возможно образование дефектов по линии сплавления.



а – стыковых; *б* – угловых швов; *в* – труб; *1* – источник излучения; *2* – пленка

Рисунок 9.2 – Схемы радиографического контроля

При контроле угловых швов направление просвечивания выбирают по биссектрисе угла либо по направлению разделки кромок. При контроле сварных соединений труб и коробчатых конструкций наилучший вариант – размещение источника излучения внутри изделия, т. к. в этом случае, во-первых, появляется возможность панорамного просвечивания за одну экспозицию, а во-вторых, стенки изделия ослабляют поток ионизирующего

излучения в окружающую среду. При невозможности помещения источника излучения внутри просвечивание проводят снаружи, в том числе через две стенки под углом к оси шва во избежание наложения изображений швов друг на друга (см. рисунок 9.2, в). Лишь около 1 % фотонов ионизирующего излучения, проходящих через пленку, взаимодействуют с ней. Поэтому для повышения чувствительности контроля и ускорения просвечивания используют усиливающие флуоресцентные или металлические экраны из фольги тяжелых металлов (чаще свинца), наклеенной на гибкий пластик.

Флуоресцентные экраны представляют собой пластмассовую или картонную подложку, на которую нанесен слой люминофора – вещества, светящегося под воздействием ионизирующего излучения. Они используются со специальными пленками, чувствительными к видимому ультрафиолетовому и инфракрасному излучениям. Наименьшие экспозиции получаются при использовании флуоресцентных экранов, а наилучшая чувствительность – металлических экранов.

Радиографические пленки характеризуются чувствительностью к излучению и контрастностью. Чем больше чувствительность пленки, тем выше производительность контроля. Чем выше контрастность пленки, тем выше чувствительность контроля. Поэтому высококонтрастные пленки применяют при просвечивании ответственных изделий, а также легких металлов и деталей малой толщины.

Выявляемость дефектов при радиографическом контроле зависит также от резкости изображения. Причинами нерезкости могут быть образование в эмульсионном слое пленки фотоэлектронов (внутренняя нерезкость), рассеяние излучения в материале изделия (особенно при просвечивании изделий большой толщины), смещение или колебания относительного расположения источника, изделия и детектора (устраняются жестким закреплением) и отличие реальной формы источника излучения от точечной (геометрическая нерезкость). Для уменьшения геометрической нерезкости применяют источники излучения с возможно меньшим размером фокусного пятна, максимально приближают пленку к контролируемому изделию и увеличивают фокусное расстояние (от источника излучения до пленки).

Ксерорадиографический метод контроля. Этот метод контроля является процессом получения изображения на поверхности пластины, электрические свойства которой изменяются пропорционально энергии воспринятого рентгеновского или гамма-излучения. Если зарядить такую пластину электрическим зарядом, а потом подвергнуть ионизационному облучению, то величина остаточного заряда на любом участке пластины будет однозначно связана с интенсивностью излучения, падающего на данный участок. Причем остаточный заряд будет тем меньше, чем больше интенсивность излучения.

Итак, в тех местах пластины, на которые попало излучение, прошедшее сквозь какой-нибудь дефект (непровар, пора, раковина), остаточный заряд будет меньше, чем в других местах пластины. Таким образом, в пластине образовывается скрытое электростатическое изображение. Скрытое изображение проявляют с помощью разных красильных мелкозернистых порошков на

основе талька, окисла цинка, мела. Порошок заранее электризуют, насыпают на пластину, и скрытое изображение превращается в видимое. Потом на пластину накладывают обычную бумагу, на которой фиксируется полученное изображение объекта. Весь процесс проявления занимает 10...40 с.

Чувствительность ксерографического метода контроля зависит от энергии излучения, степени ослабления излучения в материале, различительной способности пластин и процесса проявления. К преимуществам ксерографического метода относятся оперативность получения снимка и сухой метод проявления. Методом фотографирования с одной ксерограммы можно сделать высококачественные фотографии с большим числом копий. При ксерографии отпадает необходимость в дефицитных материалах и процессах фотообработки. Стоимость контроля, в сравнении с радиографическим, снижается в 6...7 раз.

Тем не менее ксерография имеет ряд недостатков, которые сдерживают ее массовое применение в промышленности. Прежде всего низкое качество пластин, сложность контроля больших изделий из-за ограниченных размеров пластин, возможность использования только плоских пластин. Пластины, которые выпускаются промышленностью, имеют поверхностные дефекты (сетку, трещины, царапины), которые резко снижают чувствительность метода. Кроме того, за счет неравномерной толщины покрытия селенового слоя для каждой пластины необходимо подбирать собственный режим просвечивания и проявления. Непостоянная толщина покрытия приводит к неравномерному распределению потенциала по поверхности пластины, которая в дальнейшем влияет на качество перенесения изображения. Также пластины могут реагировать на воздействие влажности и температуры.

Флюорографический метод контроля. Это один из экономных методов регистрации рентгеновского и гамма-излучения на фотобумагу или фотопленку, содержание серебра в которой в 7...9 раз меньше, чем в рентгеновской пленке. Необходимым условием при этом методе есть обязательное объединение фотобумаги (или фотопленки) и усиливающих флуоресцентных экранов. Ионизирующее излучение падает сначала на экран с флуоресцентным слоем для формирования оптического изображения. Это изображение фиксируется на фотобумаге, находящейся в контакте с флуоресцентным экраном.

Важным преимуществом при просвечивании на фоторегистратор есть резкое уменьшение времени экспозиции и обработки снимка. Время экспозиции при просвечивании на флюорографическую пленку меньше времени радиографии с применением пленок. Значительно меньше тратится времени на обработку фотобумаги в сравнении с радиографической пленкой.

К современным методам радиационной дефектоскопии относятся также радиоскопия, радиометрия, томография.

Радиоскопия. Данный метод контроля основан на просвечивании контролируемых объектов рентгеновским излучением и преобразовании радиационного изображения объекта в светотеневое или электронное. Передача этого изображения на расстояние с помощью оптики или телевизионной техники и дальнейший визуальный анализ его на исходных экранах. Назначение радиоскопического метода в основном то же, что и назначение радиографии.

Целесообразность контроля сварки этим методом определяется с учетом того, что в сравнении с радиографией чувствительность радиоскопического метода к дефектам приблизительно в 2 раза ниже, а производительность в 3...5 раз выше. Данный метод разрешает просматривать внутреннюю структуру контролируемого изделия в процессе его перемещения относительно входного экрана со скоростью от 0,3 до 1,5 м/мин в зависимости от типа преобразователя и толщины изделия.

В качестве преобразователя теневого радиационного изображения в светотеневое или электронное служат флюороскопический экран, сцинтилляционный кристалл, электронно-оптический преобразователь и жидкий электролюминисцентный экран. Особое положение занимает рентген-видикон, преобразующий рентгеновское изображение объекта непосредственно в видеосигнал без потери информации.

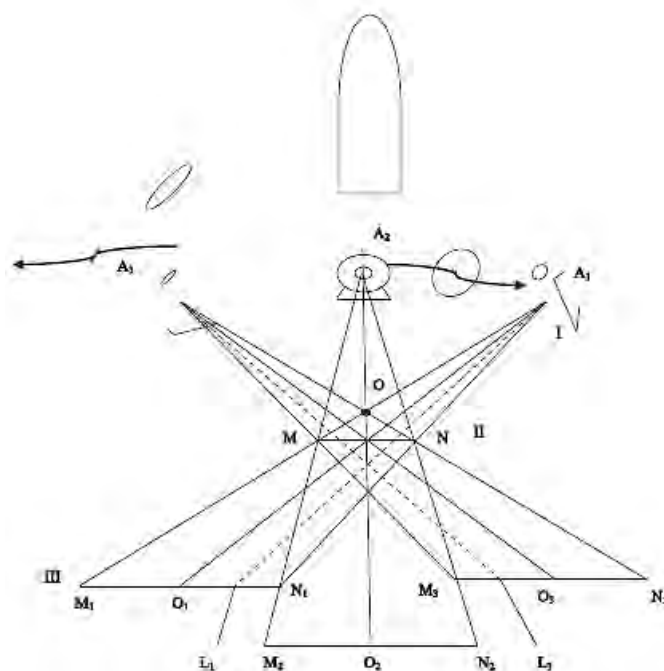
Радиометрический метод. Основан на просвечивании изделий ионизирующим излучением с преобразованием плотности потока или спектрального состава излучения, которое прошло сквозь деталь, в пропорциональный или электрический сигнал. Любая система радиометрического контроля содержит источник излучения, детектор, схему обработки и регистрации информации.

Узкий пучок ионизирующего излучения перемещается по контролируемому объекту, последовательно просвечивает все его участки. Излучение, которое прошло сквозь объект, регистрируется счетчиком, на выходе которого формируется электрический сигнал с величиной, пропорциональной интенсивности излучения, зарегистрированного счетчиком. Электрический сигнал усиливается и регистрируется устройством, которым может быть самописец, осциллограф, миллиамперметр и т. д. При наличии дефекта в шве регистрирующее устройство отмечает рост интенсивности.

Преимущества радиометрии: высокая чувствительность (0,3...3,0 %); возможность бесконтактного контроля; в сравнении с радиографией высокая производительность. Недостатки: необходимость одновременно и на одинаковом расстоянии по разные стороны от объекта перемещать источник и детектор; невозможность определения формы и глубины дефекта; влияние рассеянного излучения.

Томография. Суть метода заключается в получении резкого изображения только тех частей объекта, которые находятся в тонком (не более 2 мм) слое на определенной глубине или в нескольких тонких слоях, разделенных интервалами заданной толщины (шагом томографии). Этого добиваются, например (рисунок 9.3), синхронным перемещением рентгеновской трубки (А1А3) и кассеты с экранами и пленкой (О1О3) относительно пространственного центра колебательного перемещения О. В результате получают изображение выделенного слоя MN, расположенного в плоскости, которая проходит сквозь центр колебания. Это изображение является геометрическим местом точек выделенного слоя, тени которых недвижимы по отношению к пленке. Таким образом, в томографии используется эффект динамической нерезкости изображения.





I – рентгеновская трубка; II – объект контроля; III – кассета с пленкой

Рисунок 9.3 – Схема образования томографического изображения

При этом методе синхронное движение источника излучения и пленки относительно объекта размывает изображение неанализируемых дефектов или слоев, изображение которых в обычном принятом методе радиографии накладывается одно на одно, и резче выделить изображение дефекта, который нужно проявить. Минимальная толщина слоя, который выделяется, составляет приблизительно удвоенную ширину дефекта и равняется 1,5 мм. Важным преимуществом томографии есть высокая раздельная способность по плотности до 0,2 %. Для радиографии этот показатель равняется 10...20 %.

Метод контроля выбирают окончательно исходя из требований стандартов, чертежей, технических условий или другой технической документации на изготовление, приемку, эксплуатацию и ремонт продукции с учетом надежности и производительности контроля.

Таблица 9.1 – Исходные данные для ориентированного выбора метода радиационного контроля

Контролируемый объект	Разновидность контролируемых объектов	Рекомендуемый (преимущественный) метод
1	2	3
Слитки и отливки	Слитки	Радиометрический, радиоскопический
	Отливки цветные	Радиоскопический, радиографический
	Отливки стальные	Радиографический, радиоскопический
Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением	Тонкостенные (толщиной до 10 мм по стали)	Радиографический, радиоскопический

Окончание таблицы 9.1

1	2	3
	Толстостенные (толщиной свыше 10 мм по стали) с усилением сварного шва	Радиографический, адископический
	Толстостенные (толщиной до 500 мм по стали) со снятым усилением сварного шва	Радиометрический, радиографический, радиоскопический
Сварные соединения, выполненные точечной и шовной сваркой	Без применения контрастирующих материалов	Радиографический
	С применением контрастирующих материалов	Радиоскопический, радиографический
Паяные соединения	–	Радиографический, радиоскопический
Клепанные соединения	–	Радиографический, радиоскопический
Узлы, собранные изделия	Малогабаритные приборы, узлы электронной техники	Радиоскопический, радиографический
	Крупногабаритные узлы и механизмы	Радиографический, радиоскопический

Рентгеновские пленки. Рентгеновская пленка состоит из нескольких слоев: подложки, светочувствительного слоя и защитного слоя. Подложка представляет собой тонкую пленку прозрачной и гибкой пластмассы – ацетатцеллюлозы. Чаще всего ее окрашивают в голубой или сине-зеленый цвет. На подложку с обеих сторон наносят тонкие слои специального клея, называемые подслоем. После высыхания подслоев на них наносят светочувствительные эмульсионные слои.

Подслой улучшает сцепление эмульсионных слоев с гладкой подложкой; толщина эмульсионных слоев колеблется у различных сортов пленки от 0,01 до 0,03 мм. Светочувствительный эмульсионный слой состоит из бромистого серебра и частично йодистого серебра, равномерно распределенных в желатине. Для предохранения от механических повреждений на эмульсионный слой наносится тонкий защитный слой желатина толщиной до 0,001 мм.

Фотохимическая реакция, в результате которой возникает изображение, протекает следующим путем. Фотоны ионизирующего излучения, проходя сквозь эмульсию пленки, частично поглощаются ею, ионизируя зерна бромистого серебра, и вызывают появление так называемого скрытого изображения. Проявление, по существу, представляет собой усиление скрытого радиационного изображения. Плотность атомов восстановленного серебра при проявлении увеличивается равномерно по всей пленке, и поэтому радиационное изображение сохраняется. Это металлическое серебро, имеющее в измельченном состоянии черный цвет, и образует изображение на рентгеновском снимке.

Зрительное восприятие снимка зависит от следующих факторов: яркости фона, контраста изображения, времени инерции зрения, угловых размеров дефекта и др.



Зернистость пленки проявляется в том, что изображение состоит из отдельных маленьких пятен неправильной формы. Зернистость объясняется неравномерным распределением проявленных зерен и их скоплений в эмульсии, а также тем, что при рассмотрении пленки на негатоскопе происходит наложение изображений зерен, находящихся на различном расстоянии от поверхности пленки. Зернистость возрастает с увеличением продолжительности проявления и зависит от состава проявителя.

Применение усиливающих экранов также увеличивает зернистость изображения, причем она возрастает с увеличением толщины люминесцирующего слоя. Это вызвано расхождением пучка лучей от светящегося зерна экрана. Диаметр образующегося зерна зависит от толщины люминесцирующего слоя. Увеличение расстояния между экраном и эмульсионным слоем действует так же, как увеличение толщины люминесцирующего слоя. С уменьшением расстояния от эмульсии до экрана уменьшается зернистость, следовательно, четкость изображения возрастает. Вот почему при экспозиции экраны должны быть плотно прижаты к пленке. При контроле ответственных изделий для обеспечения надежного контакта экрана с пленкой кассета заряжается в вакууме.

Чувствительность пленки измеряется в обратных рентгенах и определяется как величина, обратная экспозиционной дозе в рентгенах, при которой плотность почернения экспонированной пленки достигает 0,85 единиц оптической плотности. Чувствительность пленки к ионизирующему излучению зависит не только от ее типа, но также от энергии излучения и условий фотообработки.

Контрастность рентгеновского снимка определяется перепадом плотности почернения. Под контрастностью какого-либо элемента изображения понимают разницу в почернении этого изображения и окружающего фона. Под контрастностью рентгеновского снимка понимают разницу в почернении наиболее темного и наиболее светлого участков изображения контролируемого изделия.

По свойствам и назначению пленки делятся на четыре класса.

Класс I. Особо мелкозернистая и высококонтрастная пленка, применяется для получения рентгенограммы наивысшего качества с металлическими экранами и без них. К этому классу относится пленка РТ-5.

Класс II. Мелкозернистая высококонтрастная пленка. По зернистости она уступает пленкам класса I. Используется как с металлическими экранами, так и без них. Получила большее распространение, чем пленки класса I, вследствие большей чувствительности. К классу II относятся пленки РТ-4, РТ-3 и РНТМ-1.

Класс III. Высокочувствительная к гамма- и рентгеновскому излучению. Применяется как с металлическими экранами, так и без них. К этому классу относится пленка РТ-1.

Класс IV. Высокочувствительная экранная пленка. Обладает наивысшей чувствительностью и контрастностью с использованием люминесцирующих экранов. При использовании без экранов она мало контрастна. К этому классу относятся пленки РТ-2, РМ-1, РМ-2, РМ-3.

Особый класс представляют цветные рентгеновские пленки. Они так же, как и черно-белые, являются двухсторонними и имеют одинаковое с ними строение.



Пленка STRUCTURIX D7 – плёнка с мелкозернистой структурой, контрастностью и высоким качеством снимка. Диапазон использования рентгеновских пленок D7 велик, особенно оправдано применение в случаях, в которых акцент делается на короткое время экспозиции.

Рентгеновская пленка D7 обладает высокой чувствительностью к большой энергии излучения. Снимки с использованием D7 отличаются однородностью, приятным тоном и имеют блестящую поверхность.

Области применения следующие.

1 Классический радиографический контроль.

2 Работа со сварными швами и литыми деталями при низкой, средней и высокой энергиях излучения и различных радиационных толщинах.

3 Работа с многопленочной техникой.

Существующее разнообразие типов пленок объясняется различием требований при просвечивании материалов, изделий и сварных соединений.

Усиливающие экраны. Усиливающие экраны делятся на три типа: люминесцентные, металлические и флуорометаллические. При использовании усиливающих экранов сокращается время экспозиции. В то же время экраны вызывают размытие изображения, причем задний экран вносит более существенный вклад в размытие по сравнению с передним.

Люминесцентные экраны представляют собой тонкий лист картона (или пластмассы), на который нанесен слой люминесцирующего вещества, обычно вольфрамата кальция. Сверху этот слой покрыт защитным лаком, предохраняющим его от повреждений. Под действием ионизирующего излучения вольфрама кальция испускает сине-фиолетовый свет. Бромистое серебро фотоэмульсий весьма чувствительно к этому свечению. Рентгеновскую пленку при экспонировании помещают в кассету между двумя такими экранами. Тогда на эмульсию, наряду с ионизирующим излучением, воздействует свечение экранов.

Выпускается несколько типов различных экранов. Наибольшее распространение получили экраны типа «Стандарт».

Большим коэффициентом усиления обладают экраны типа УФДМ (увеличение фотографического действия, медицинские). Также у них повышенная светоотдача, что достигается благодаря специальному методу получения вольфраматкальциевого светящегося слоя. Качество изображения, с экранами УФДМ, равносильно качеству изображения, получаемому с экранами «Стандарт». Повышенной разрешающей способностью отличаются экраны типа ПРС.

Металлические экраны выполняются в виде тонкой фольги, наклеенной на лист картона. В металлической фольге под воздействием ионизирующего излучения возникает поток фотоэлектронов, которые также вызывают почернение пленки. Наиболее широкое распространение нашли фольги из свинца и его сплавов, а также из олова и меди.

Коэффициент усиления металлических экранов значительно меньший, чем у люминесцирующих.

Преимущество металлических экранов перед люминесцентными состоит в том, что их применение практически не уменьшает резкости изображения.



Флуорометаллические экраны сочетают преимущества люминесцентных и металлических. При использовании флуорометаллических экранов сокращение времени экспозиции может быть достигнуто без снижения качества контроля. Флуорометаллический экран состоит из поликристаллического слоя вольфрамата, нанесенного на тонкую свинцовую фольгу, помещенную на подложке. При этом люминесцентный слой находится под воздействием рентгеновского излучения и потока электронов, излучаемых свинцовой фольгой. Особенностью флуорометаллических экранов является равномерная мелкозернистая структура люминесцентного слоя, благодаря чему обеспечивается высокое качество рентгенографического снимка. Экраны достаточно гибкие. Флуорометаллические экраны характеризуются менее крутым спадом усиливающего фактора с ростом энергии излучения. Особенностью таких экранов является температурная зависимость усиливающего фактора. При повышении температуры от 20 до 50 °С усиливающий фактор уменьшается на 80 %, а при снижении температуры до минус 50 °С он возрастает в 2,5 раза; качество контроля при этом не изменяется.

В качестве источников применяют три вида ионизирующих излучений: рентгеновское, гамма- и нейтронное. Источниками рентгеновского излучения в промышленности служат ускорители электронов (рентгеновские аппараты, микротроны, бетатроны, линейные ускорители и т. п.) и источники бета-излучения. Для получения гамма-излучения используют в основном радиоактивные источники. Источниками нейтронов являются ядерные реакторы, радионуклидные источники и ускорители заряженных частиц (генераторы).

Гамма-аппараты предназначены для просвечивания изделий γ -излучением радиоактивных источников.

Аппарат «Гаммарид-170/400» предназначен для радиографического контроля качества литых, сварных, паяных, кованных, прессованных, штампованных, клепаных и др. изделий в цеховых и полевых условиях коллимированным пучком с использованием радиоактивных источников гамма-излучения.

Радиационная головка предназначена для выпуска и перекрытия пучка γ -излучения во время работы аппарата, а также для хранения и транспортирования по территории объекта источника излучения.

По своим защитным параметрам радиационная головка обладает высокой радиационной безопасностью и соответствует стандартам СЭВ.

Блок защиты помещен в прочный титановый корпус, к которому крепятся фиксирующее и блокирующее устройства, предохраняющие держатель источника от самопроизвольного выпадания источника из радиационной головки посторонними лицами.

Гамма-дефектоскоп SENTINEL (рисунок 9.4). SENTINEL™ Модель 880: Delta, Sigma, Elite и Омега – это портативные, легкие и компактные дефектоскопы для промышленного радиографического контроля.

Дефектоскоп оснащен титановой трубкой S-типа, заполненной объединенным ураном (DU). В диск из нержавеющей стали встроен механизм блокировки для обеспечения надежной защиты, в передней панели расположен выходной порт (рисунок 9.5).





Рисунок 9.4 – Гамма-дефектоскоп SENTINEL

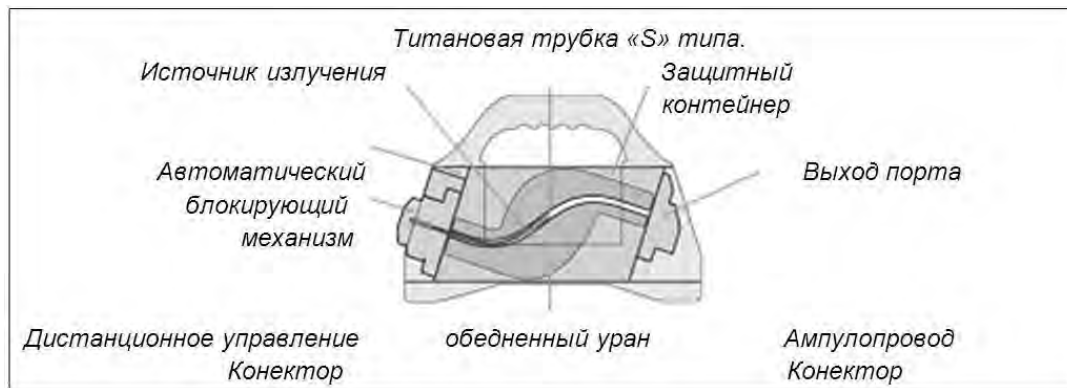


Рисунок 9.5 – Структура гамма-аппарата SENTINEL

Горизонтально ориентированная конструкция очень удобна в эксплуатации.

Внутреннее пространство заполнено твердой пеной для предотвращения попадания воды или посторонних веществ.

Гамма-дефектоскоп «Гаммарид-170/400» (рисунок 9.6) предназначен для радиографии с применением источников ионизирующих излучений на основе радионуклида Селен-75, Иридий-192 и Тулий-170, а также для перевозки этих источников с максимальной активностью до 400 Ки – для Тулия, 120 Ки – для Иридия, 4,0 Ки – для Селена.



Рисунок 9.6 – Гаммарид-170/400 в положении хранения

Панорамное и фронтальное просвечивание изделий.

Урановый блок защиты.

Соответствует требованиям правил МАГАТЭ и сертифицирован в качестве упаковочного комплекта типа В(и).

Характеристики:

- рекомендуемые источники излучения – Селен-75;
- исполнение привода управления источником – ручное;
- максимальное удаление источника излучения от радиационной головки – 0,25 м;
- диапазон толщин просвечивания стали – 5,0...30,0 мм.

Гамма-дефектоскопы затворного типа «Стапель 5 Se75 Ir192» ОАО «НИИТФА» (рисунок 9.7).



Рисунок 9.7 – Гамма-дефектоскоп «Стапель»

Гамма-дефектоскопы затворного типа для неразрушающего контроля радиографическим методом качества сварных соединений, в том числе трубопроводов и наплавки оборудования АЭС, в условиях монтажа, эксплуатации и ремонта, а также для использования в других отраслях промышленности. Эффективная энергия гамма-излучения – 0,215; 0,4 МэВ. Оптимальный диапазон толщины контролируемого металла – 5...40; 20...80 мм. Мощность экспозиционной дозы: в положении хранения до – 200; на поверхности радиационной головки до – 2 мР/ч. Габаритные размеры радиационной головки 182 × 108 × 125 мм. Масса радиационной головки до 10 кг.

Гамма-дефектоскопы предназначены для радиографического контроля металла и сварных соединений с применением источников ионизирующих излучений на основе радионуклида Селен-75, Иридий-192 и Кобальт-60, а также для перевозки этих источников с максимальной активностью до 120 Ки (4,44 ТБк).

Панорамное и фронтальное просвечивание изделий, относительно небольшие габариты и вес радиационной головки, возможность перемещения источника в ампулопроводе на значительные расстояния делают эти дефектоскопы исключительно удобными для работы в полевых, труднодоступных и затесненных условиях. Радиационные головки дефектоскопов соответствуют требованиям российских и международных стандартов и правил МАГАТЭ

и сертифицированы в качестве упаковочного комплекта типа В(и). Современная система блокировки источника и урановый блок защиты обеспечивают повышенную безопасность эксплуатации дефектоскопов.

Применение высокоактивного острофокусного источника ионизирующих излучений на основе радионуклида Селен-75 (рисунок 9.8), не имеющего альтернативы на мировом рынке, позволяет обеспечить надежность радиографического контроля на уровне, приближающемся к уровню рентгенографического контроля в наиболее ходовом диапазоне контролируемых толщин металла.



Рисунок 9.8 – Гамма-дефектоскоп Рид-Se 4P

Источник излучения на основе радионуклида Селен-75 (Se-75).

Материал блока защиты РИД–Se4P – Обедненный уран U-238.

Перемещение источника по ампулопроводу до 8 м.

Масса радиационной головки 7,3 кг.

Габаритные размеры 224 × 100 × 175 мм.

Интервал рабочих температур составляет от –50 до + 50° С.

Рентгеновские аппараты классифицируют:

- по конструктивному исполнению – моноблочные и кабельные;
- по способу применения – стационарные, передвижные и переносные;
- по углу выхода рабочего пучка излучения – с направленным выходом и панорамным.

Основные параметры рентгеновских аппаратов:

- номинальное напряжение (максимальное значение), создаваемое аппаратом на рентгеновской трубке;
- ток рентгеновской трубки (среднее значение) при номинальном напряжении;
- диапазон регулирования напряжения на трубке;
- размер эффективного фокусного пятна трубки;
- мощность экспозиционной дозы;
- диапазон времени экспозиции;
- продолжительность работы аппарата в номинальном режиме;
- мощность потребления;
- масса рентгеновского излучателя (моноблока);

– габаритные размеры рентгеновского излучателя (моноблока).

Рентгеновские аппараты серии «Бастион» (рисунок 9.9) предназначены для проведения радиографии и радиоскопии в стационарных условиях.



Рисунок 9.9 – Рентгеновский аппарат «Бастион»

Аппараты изготовлены на базе самых последних достижений в области высоковольтной техники с применением металлокерамических рентгеновских трубок производства швейцарской фирмы COMET.

В состав аппарата входят:

- высоковольтный генератор;
- блок питания и управления;
- рентгеновская трубка COMET;
- высоковольтный кабель;
- комплект кабелей;

– автономная система жидкостного охлаждения с комплектом кабелей и шлангов;

– выносной пульт управления.

Технические характеристики аппаратов серии «Бастион» приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Технические характеристики аппаратов серии «Бастион»

Характеристика	Бастион 225/320	Бастион 225/640	Бастион 225/1000
Макс. анодное напряжение, кВ	30 ± 225	30 ± 225	30 ± 225
Макс. мощность анода, Вт	320	640	1000
Диапазон установки анодного тока, мА	0,5...3,0	0,5...10,0	0,5...20,0
Угол излучения, град	30	40	40
Фокус, мм: по стандарту EN336/EN12543	0,2 / 0,5	0,4 / 1,0	1,5 / 3,0

Высоковольтный генератор выполнен в виде металлического цилиндрического корпуса, в торце которого установлено гнездо разъема для подклю-

чения высоковольтного кабеля. С противоположного торца расположены маслорасширитель и низковольтный разъем для подключения кабеля, идущего к блоку питания и управления.

В вакуумной среде генератора заполнено специально подготовленное трансформаторное масло, которое играет роль изолирующей среды и теплоносителя. Стабильность тока и напряжения составляет 0,05 % в час – для кратковременной составляющей и 0,1 % – для долговременной.

Рентгеновские аппараты ПИОН-2М (рисунок 9.10). Аппарат рентгеновский «ПИОН» (переносной, импульсный, одноблочный, наносекундный) предназначен для неразрушающего контроля сварных стыков трубопроводов и других металлоконструкций в любых климатических условиях.



Рисунок 9.10 – Рентгеновские аппараты ПИОН-2М

Преимущества перед другими аппаратами:

- небольшой вес и габариты аппарата позволяют успешно проводить эффективный контроль в сложных полевых условиях и в любых пространственных положениях;

- расположенные внутри аппарата свинцовые необслуживаемые аккумуляторы дают возможность использовать его без дополнительных источников питания и подзарядки в течение рабочей смены.

В таблице 9.3 приведены технические характеристики флюороскопа «ПИОН».

Комплект поставки:

- рентгенаппарат;
- выносной пульт управления;
- коллиматор (2шт.);
- устройство «ПАУК» (для закрепления аппарата на трубе);
- секундомер;
- защитный чехол для защиты от влаги;
- сумка;
- автоматическое зарядное устройство для аккумуляторов.

Портативный импульсный рентгеновский аппарат ШМЕЛЬ-250 (рисунок 9.11).

Таблица 9.3 – Технические характеристики флюороскопа « ПИОН»

Параметры	Величина
Минимальная экспозиционная доза излучения на расстоянии 500 мм от торца рентгеновской трубки, мР/мин	300
Максимальная для рентгенографирования толщина стали на расстоянии 500 мм от торца рентгенаппарата, мм	35
Питание автономное от встроенных аккумуляторов фирмы «Зонненшайн» (Германия), В	18
Рабочее положение аппарата в пространстве	Любое
Максимальное время одной экспозиции, мин	2
Длина кабеля пульта управления, м	20
Габаритные размеры, мм	120 × 460 × 230
Масса нетто, кг	8
Интервал рабочих температур, °С	От минус 30 до плюс 40
Допустимая относительная влажность при $t +20$ °С	До 80 %



Рисунок 9.11 – Портативный импульсный рентгеновский аппарат ШМЕЛЬ-250

Области применения: рентгенография сварных соединений в полевых условиях при прокладке и обслуживании газо- и нефтепроводов. Дефектоскопия муфт, кабелей, железобетонных и сотовых конструкций.

Наилучшие соотношения массы и потребляемой мощности к просвечивающей способности.

Простота, удобство в обслуживании и эксплуатации.

Питание от промышленной сети или аккумуляторных батарей.

Возможность применения в передвижных дефектоскопических лабораториях.

Рентгеновский аппарат состоит из двух блоков: рентгеновского моноблока и пульта управления.

Межблочное соединение выполнено морозостойким низковольтным кабелем длиной 25 м.

Аппараты имеют биологическую защиту от обратного и рассеянного излучения, что обеспечивает безопасную работу оператора без использования специальных средств защиты.

Возможность эксплуатации при любых атмосферных условиях в температурном диапазоне от минус 40 до плюс 60 °С.

Возможность применения в схемах фронтального и панорамного просвечивания.

Напряжение на рентгеновской трубке 250 кВ; фокусное пятно (диаметр) 2,0 мм; угол излучения: с щелевым коллиматором 70 x 20 град, без коллиматоров 180 град; максимальная толщина стали, доступная при рентгенографии на пленку: РТ-2 с флуоресцентными экранами типа ВП-2 – 54 мм; F8 с металлическими экранами RCF (AGFA) – 34 мм; D7 с Рb фольгами 0,027 мм – 26 мм; потребляемая мощность 120 Вт; напряжение питания ~ 220 В. Масса: моноблок 8,2 кг; пульт управления 1,9 кг. Габаритные размеры: моноблок 451 × 112 × 210 мм; пульт управления 245 × 75 × 155 мм.

Портативный рентгеновский аппарат ИНТРОВОЛЬТ-120. Характерные особенности:

- высокая эффективность позволяет уменьшить время экспозиции;
- жидкостная система охлаждения с замкнутым циклом (вода или антифриз);
- расстояние от блока управления до излучателя до 800 м;
- непрерывная работа до 24 ч при температуре окружающей среды до 40 °С;
- преобразование на высокой частоте;
- микропроцессорное управление;
- встроенная сигнальная лампа;
- часы и календарь;
- полностью автоматическое включение и тренировка трубки;
- сохранение до 256 программ в энергонезависимой памяти;
- сохранение 1024 режимов последних измерений;
- большой графический LCD-дисплей с подсветкой;
- подсветка клавиатуры.

Промышленный рентгеновский аппарат РАП-160 предназначен для просвечивания материалов в условиях лаборатории, цеха, строительной площадки и в полевых условиях для контроля трубопроводов.

Передвижной рентгеновский промышленный аппарат РАП-160 (рисунок 9.12) состоит из пульта управления, генераторного устройства и передвижного штатива с моторным приводом каретки, на которой закрепляют защитный кожух либо с рентгеновской трубкой, имеющей вынесенный анод, либо с острофокусной рентгеновской трубкой. РАП-160 работает по схеме удваивания с постоянным напряжением и заземленным положительным плюсом высокого напряжения. Высокое напряжение от генераторного устройства к рентгеновской трубке подводится высоковольтным кабелем.

В аппарате предусмотрены блокировки и автоматические устройства, не позволяющие включать аппарат или автоматически отключающие его при



нарушении нормального водяного охлаждения трубки, коротких замыканиях, снижении вакуума в трубке и сбросе нагрузки.



Рисунок 9.12 – Рентгеновский аппарат РАП-160-5

Аппарат защищен от перегрузок и коротких замыканий. В нем имеются блокировки:

БТ – выключающая аппарат при температуре масла в блок-трансформаторе свыше допустимой;

БВ – не допускающая включения высокого напряжения, если ручка регулятора высокого напряжения не выведена в исходное (начальное) положение.

Аппарат РАП 150/300 (рисунок 9.13), который предназначен для рентгеновского контроля металлических и неметаллических изделий, а также качества литья и сварки в условиях цеха или заводской лаборатории. Его отличительная особенность – блочная конструкция. Рентгеновский аппарат РАП 150/300 состоит из законченных функциональных блоков, составляющих (в соответствии с профилем применения) шесть различных модификаций.



Рисунок 9.13 – Рентгеновский аппарат РАП 150/300

Четыре рентгеновские трубки, каждая из которых имеет свою область применения, определяют универсальность аппарата и большой диапазон толщин просвечиваемых материалов.

Рентгеновский аппарат РАП 150/300 обеспечивает:

- рентгенографию малых толщин стали (от 10 мкм) с применением рентгеновской трубки 1БПВ15-100;
- просвечивание толстостенных материалов (стали до 70 мм, алюминия до 250 мм) с помощью трубки 1,2-ЗБПМ5-300 (на 300 кВ);
- получение панорамных рентгенограмм полых изделий, применяя трубку с круговым выходом излучения (1,5ВПВ7-150 на 150 кВ, 10 мА).

Аппарат РАП 150/300 имеет шесть модификаций (РАП 150/300-11, РАП 150/300-12, РАП 150/300-13, РАП 150/300-14, РАП 150/300-15, РАП 150/300-16), отличающихся комплектностью.

Аппарат состоит из следующих основных частей и комплектов: пульта управления, генератора (анодный и катодный элементы), излучателя рентгеновского, щитка сетевого, насоса масляного, тележки генератора, комплекта высоковольтных кабелей, блока фокусировки, штатива ШРК.

В комплект рентгенаппарата РАП 150/300-12 дополнительно входят: три рентгеновских излучателя со следующими рентгеновскими трубками:

- 1БПВ15-100 на 100 кВ, 10 мА – малогабаритная с направленным бериллиевым выходом излучения и заземленным вынесенным анодом;
- 0,3БПВ6-150 на 150 кВ, 2 мА – острофокусная с направленным бериллиевым выходом излучения;
- 1,5БПВ7-150 на 150 кВ, 10 мА – с круговым выходом излучения и вынесенным анодом, позволяющим производить панорамную рентгенографию полых изделий;
- блок фокусировки;
- колонковый штатив, на тележке которого закрепляются одно генераторное устройство и рентгеновские излучатели.

Из анализа радиационных методов выбираем рентгеновский аппарат «Бастион», в котором можно регулировать напряжение и ток.

9.2 Модернизация электрической принципиальной схемы прибора

Если рассматривать вопрос модернизации рентгеновского аппарата «Бастион», то необходимо выделить в нем отдельные блоки. Модернизация многих блоков будет нецелесообразна из-за возможных финансовых потерь, изменения в габаритных размерах прибора, увеличения его времени работы. Наиболее оптимальной будет модернизация блока управления.

На сегодняшний день существует широкий ряд элементов, аналогичных по своему функциональному назначению, но отличных по электрическим параметрам и быстродействию. Опираясь на доступную базу элементов, можно значительно сократить количество используемых в устройстве элементов.

Электрическая схема измерения и защиты по току и напряжению рентгеновского аппарата «Бастион» собрана на основе дифференциальных

усилителей, резисторов подстройки, детекторов, компараторов, на которых выполнена защита. Проведем замену элементов платы измерения и защиты по току и напряжению на более современные и экономичные.

Электрическая принципиальная схема измерения и защиты представлена на рисунке 9.14.

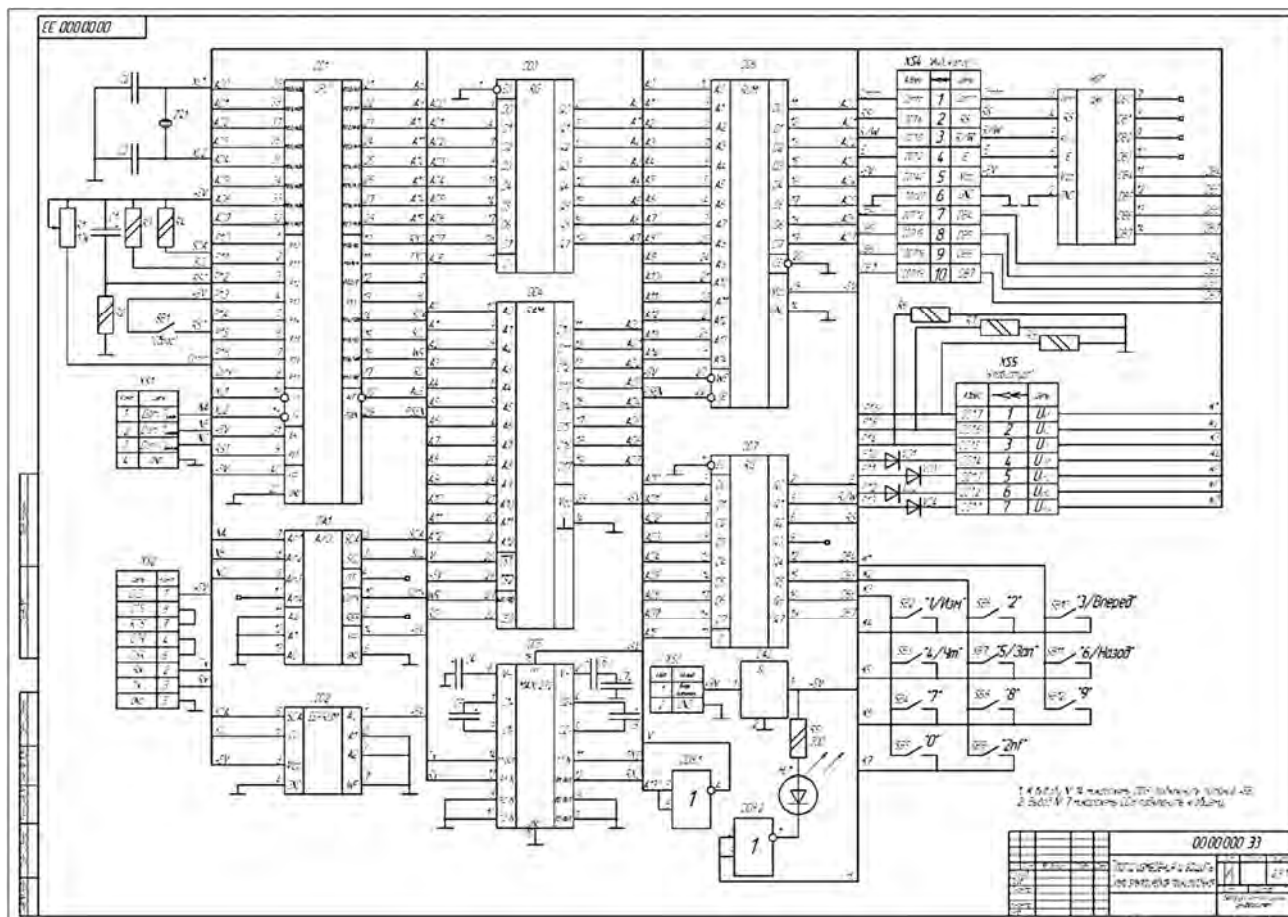


Рисунок 9.14 – Электрическая принципиальная схема измерения и защиты

Основными структурными элементами проектируемого прибора будут следующие: микропроцессор (МП), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), цифровое отсчетное устройство (ЦОУ), электрически перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ), клавиатура (КЛ). Электрическая связь между перечисленными элементами осуществляется посредством совокупности проводников, объединенных по функциональному назначению и называемых шинами адреса (ША), данных (ШД) и управления (ШУ). Передача данных между отдельными элементами может осуществляться также в последовательном коде по двухпроводной шине I_2C .

При появлении высокого напряжения через высоковольтные делители сигнал с генератора поступает на схему измерения и защиты. Сигналы, полученные на выходах датчика тока анода, датчика тока катода генератора и датчика напряжения на рентгеновской трубке поступают на входы АЦП. АЦП выполняет преобразование аналоговых сигналов в пропорциональный

цифровой двоичный код. Далее полученная с помощью АЦП измерительная информация поступает в МП, который выполняет функцию управления работой всей схемы и играет роль связующего звена между всеми ее элементами. Передача данных от АЦП в МП осуществляется по шине I²S.

ОЗУ выполняет функцию временного хранения данных. ПЗУ служит для хранения выполняемых МП программ. Для записи результатов измерения применяется ППЗУ, которое обеспечивает запись информации в его ячейки в процессе работы прибора без использования специальных программирующих устройств, а также длительное хранение данных после отключения источника питания. Управление прибором осуществляется при помощи КЛ. ЦОУ предназначено для отображения измерительной и вспомогательной информации в форме, удобной для считывания пользователем.

После включения питания на вывод 9 (RST) МС DD1 подается сигнал высокого уровня, после чего параметры всей микропроцессорной системы (МПС) устанавливаются в исходное состояние. Для сброса МПС в исходное состояние во время работы прибора используется клавиша «RESET» (SB1). К выводам XL1 и XL2 МС DD1 подключен кварцевый резонатор, с помощью которого формируется последовательность прямоугольных импульсов, вырабатываемых встроенным в МП генератором тактовых импульсов. Она синхронизирует во времени работу всех элементов МПС. Порт P0 в МП DD1 используется для выдачи младшего байта адреса и для обмена данными. Для того чтобы зафиксировать младший байт адреса, используется МС DD3 – восьмиразрядный регистр. При подаче стробирующего импульса на вывод 11(C) микросхемы DD3 с выхода ALE (вывод 30) МП DD1 происходит фиксация младшего байта адреса. После этого порт P0 DD1 используется для обмена данными с внешними устройствами. На выводах DD3 формируется младший байт системной шины адреса A0...A7. Старший байт шины адреса A8...A15 начинается с выводов порта P2 МП. В качестве микросхемы ПЗУ используется микросхема DD6. На ее адресные входы A0...A14 поступают сигналы с системной ША. Выводы D0–D7 соединены с выводами порта P0 МП DD1. Считывание данных происходит при подаче сигнала на вывод 22(OE) МС DD6, который формируется на выводе 29(PSEN) МС DD1. В микросхеме DD6 хранятся программы, выполняемые МПС.

Активизация МС ОЗУ DD4 происходит при подаче сигнала низкого уровня на выводы 20(CS1). Чтение данных из МС DD4 осуществляется при подаче сигнала низкого уровня на выводы 22(CEO), который формируется на выводе 17(P3.7/RD) МС DD1. При записи данных в ОЗУ подается сигнал низкого уровня на выводы 27(WR\RD) МС DD4 с вывода 16(P3.6\WR) МП DD1.

Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой начинается при поступлении на вывод 15(C) АЦП (DA1) импульса длительностью более 4 мкс. Этот импульс формируется программно на выводе 8(P1.7) МС DD1. Если же импульс не подается, то преобразование происходит непрерывно. АЦП DA1 преобразует аналоговые сигналы, поступающие на входы Ain1, Ain2, Ain3 (выводы 7–9), в двоичное число и записывает его в ячейку внутреннего ОЗУ АЦП DA1. Шина I²S начинается с выводов 14(P3.4) и 15(P3.5) МП DD1. Для



управления шиной I²C применяются выходные каскады с открытым коллектором, поэтому линии SDA и SCL должны быть подтянуты к источнику питания +5 В через резисторы R3 и R5 (сопротивлением 1...10 кОм). Удобства применения шины I²C очевидны – малое количество проводников и достаточно высокая скорость побитного обмена между МП и внешними устройствами, простота аппаратной реализации линий связи. Для записи и хранения результатов измерения используется микросхема электрически перепрограммируемого ПЗУ DD2. Управление этой микросхемой происходит по шине I²C.

Выводы порта P1 (P1.0...P1.6) МП DD2 используются для подключения клавиатуры. Управление клавиатурой осуществляется программным путем. Клавиша «1/Измерение» (SB2) переводит прибор в режим измерения. Клавиша «Чтение» (SB3) – для вывода результатов измерений на ЦОУ. Клавиши «Вперед» (SB10) и «Назад» (SB11) – для перехода к следующему или предыдущему значению результата измерения, записанного в памяти. Клавиша «Запись» (SB7) – для записи чисел в ППЗУ. Клавиша «ЦИФР» (SB9) – для переключения клавиатуры в числовой режим, т. е. для использования клавиш не как функциональных, а для ввода цифр от 0 до 9 (соответственно клавиши SB2...SB11).

В случае превышения высокого напряжения или тока заданного уровня сигнал с вывода P3.3 МС DD1 поступает на логический элемент DD8.1 и загорается светодиод HL1.

Питание схемы осуществляется за счет платы питания, которая расположена непосредственно в блоке управления, через микросхему стабилизатора напряжения DA2.

В схеме предусмотрено подключение блока управления к персональному компьютеру для обработки информации через микросхему DD5, которая подключается через выводы порта P3 (P3.1, P3.2) к МП DD1.

Такая модернизация не изменила функционального назначения данного блока, но позволила снизить энергетические затраты всего блока, повысить быстродействие системы.

Также были внесены некоторые изменения в структурные узлы блока управления: все лампы заменены на миниатюрные светодиоды, на передней панели вставлены клавиатура и жидкокристаллический символьный индикатор HG1, имеющий две строки по 16 символов. Индикатор работает под управлением встроенного контроллера. Клавиатура и индикатор облегчают работу пульта управления.

Назначение и взаимосвязь частей аппарата показаны на структурной электрической схеме (рисунок 9.15).



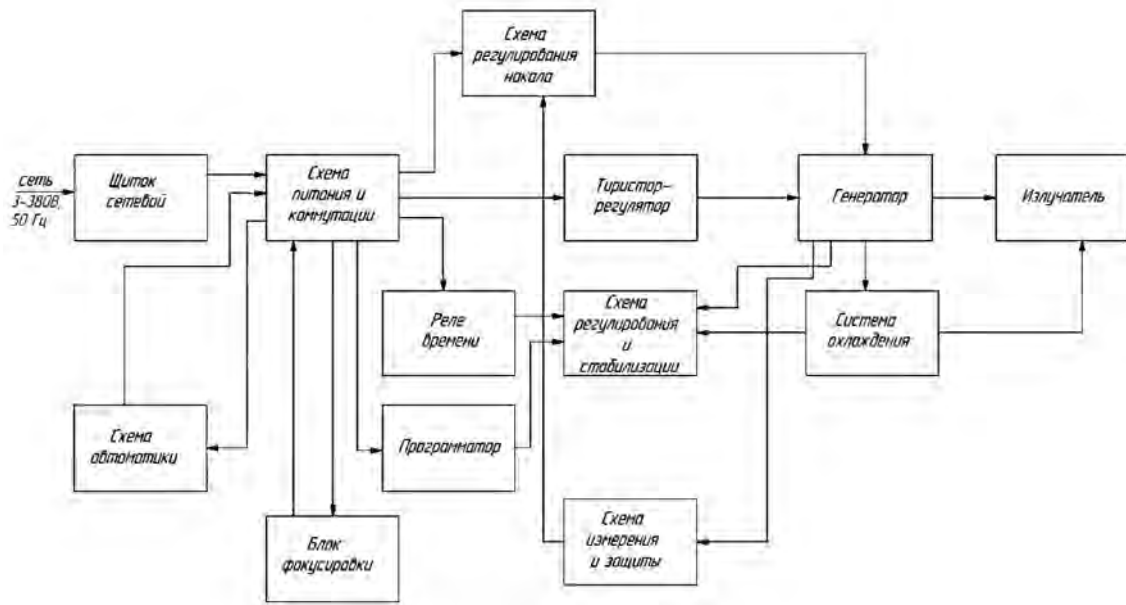


Рисунок 9.15 – Структурная электрическая схема аппарата «Бастион»

Список литературы

- 1 **СанПиН 2.6.1.8-8-2002.** Санитарные правила и нормы. Основные санитарные правила и нормы обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002). – Введ. 2002-03-14. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 98 с.
- 2 **СанПиН 2.6.1.8-12-2004.** Санитарные правила и нормы. Обеспечение радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии. – Взамен СП № 2191-80; введ. 2005-04-01. – Минск: Изд-во стандартов, 2004. – 24 с.
- 3 **Маслов, Б. Г.** Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие для вузов / Б. Г. Маслов. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.
- 4 **Овчинников, В. В.** Дефекты сварных соединений: учебное пособие / В. В. Овчинников. – 5-е изд., стер. – Москва : Академия, 2014. – 64 с.
- 5 **Неразрушающий контроль : справочник в 8 т. Т. 1, кн. 1 : Визуальный и измерительный контроль, кн. 2: Радиационный контроль / Под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2008.**
- 6 **Новокрещенов, В. В.** Неразрушающий контроль сварных соединений в машиностроении: учебное пособие для академ. бакалавриата / В. В. Новокрещенов, Р. В. Родякина; под науч. ред. Н. Н. Прохорова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2017. – 274 с.
- 7 **Алешин, Н. П.** Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений : учебник / Н. П. Алешин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2013. – 576 с. : ил.
- 8 **Стерман, Л. С.** Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. – 5-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2010. – 464 с.

Приложение А (рекомендуемое)

Таблица А.1 – Толщина защиты из свинца $\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
5	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,5	1,9	2,2	2,5	2,8
10	0,3	0,55	0,9	1,3	1,6	2,1	2,6	3,05	3,5	3,8
30	0,35	0,7	1,15	1,7	2,3	3,0	3,65	4,3	4,95	5,5
50	0,4	1,85	1,4	1,95	2,6	3,25	3,96	4,6	5,3	6,0
80	0,45	0,1	1,55	2,15	2,8	3,7	4,5	5,3	6,0	6,7
100	0,5	1,0	1,6	2,3	3,0	3,85	4,7	5,5	6,3	7,0
500	0,65	1,4	2,2	3,1	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2
2000	0,85	1,7	2,7	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,0	11,1
10000	1,05	2,1	3,3	4,55	5,9	7,5	9,1	10,6	12,0	13,2
50000	1,15	2,35	3,7	5,2	6,9	8,7	10,5	12,3	14,0	15,6
200000	1,3	2,6	4,1	5,7	7,6	9,6	11,6	13,6	15,5	17,5
500000	1,4	2,8	4,4	6,1	8,2	10,2	12,3	14,4	16,5	18,5

Таблица А.2 – Толщина защиты из свинца $\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,95	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
5	3,4	3,8	4,1	4,3	4,4	4,6	4,5	3,8	3,3	3,0
10	4,5	5,1	5,6	5,9	6,1	6,5	6,4	5,5	4,9	4,2
30	6,5	7,3	8,0	8,5	8,8	9,3	9,2	8,0	7,2	6,3
50	7,2	8,2	9,0	9,6	10,0	10,8	10,5	9,2	8,3	7,3
80	8,0	9,2	10,1	10,7	11,1	11,7	11,6	10,4	9,4	8,2
100	8,45	9,65	10,6	11,3	11,7	12,2	12,1	10,9	9,9	8,7
500	11,3	12,9	14,2	15,0	15,4	16,3	16,1	14,9	13,3	11,9
2000	13,5	15,4	16,8	17,9	18,5	19,7	19,5	18,1	16,6	14,8
10000	16,1	18,3	20,1	21,3	22,1	23,5	23,4	22,0	20,1	18,0
50000	18,8	21,4	23,3	24,7	25,5	27,3	27,2	25,8	23,7	21,5
200000	21,3	24,1	26,1	27,6	28,5	30,5	30,5	29,2	26,9	24,3
500000	22,3	25,4	27,8	29,5	30,4	32,7	32,7	31,4	28,9	26,3



Таблица А.3 – Толщина защиты из железа $\rho = 7,89 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,85	2,0	2,05	2,1
5	1,4	2,5	3,4	4,1	4,8	5,1	5,5	5,1	6,1	6,4
10	1,9	3,5	4,6	5,6	6,3	6,8	7,3	7,7	8,1	8,5
30	2,4	4,5	6,2	7,5	8,5	9,2	9,8	10,4	10,9	11,4
50	2,9	5,2	7,1	8,4	9,5	10,3	11,0	11,6	12,2	12,7
80	3,2	5,9	7,7	9,2	10,4	11,2	12,0	12,7	13,4	14,0
100	3,4	6,1	8,1	9,6	10,8	11,7	12,5	13,2	13,9	14,5
500	4,4	7,7	10,1	12,0	13,4	14,9	16,0	17,0	17,9	18,7
2000	4,9	9,0	12,1	14,4	16,2	17,7	19,3	20,2	21,2	22,2
10000	6,8	11,5	14,7	17,1	19,0	20,7	22,3	23,6	24,9	26,0
50000	8,6	13,8	17,0	19,6	21,8	23,6	25,2	26,9	28,4	29,9
200000	11,3	15,9	19,3	21,8	24,1	26,1	28,1	29,9	31,6	33,3
500000	12,0	16,9	20,4	23,2	25,6	27,8	29,9	31,8	33,6	35,4

Таблица А.4 – Толщина защиты из железа $\rho = 7,89 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	2,4	2,0
5	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,9	9,4	9,6	9,0	8,0
10	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4
30	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	17,0	17,7	18,8	18,0	17,0
50	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	19,1	20,0	21,5	20,6	19,6
80	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	21,2	22,2	24,0	23,0	22,0
100	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	22,1	23,3	25,0	24,0	23,1
500	20,6	23,3	23,7	25,0	25,9	28,8	30,6	32,7	32,0	31,2
2000	24,5	26,5	28,3	30,0	31,2	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
10000	28,8	31,3	33,6	35,5	36,9	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
50000	33,0	35,9	38,4	40,8	42,3	47,2	50,4	55,0	54,0	53,0
200000	36,8	40,1	43,0	45,4	47,1	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
500000	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	56,1	60,2	66,0	65,0	64,0

Таблица А.5 – Толщина защиты из бетона $\rho = 3,35 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,5	2,6	4,7	6,3	7,5	8,2	8,2	8,2	8,3	8,3	8,5
5	5,6	11,0	15,5	18,8	21,1	21,8	22,3	22,6	23,0	23,5
10	8,2	14,6	19,7	23,7	25,8	26,8	27,6	28,4	29,1	29,9
30	8,5	16,4	22,8	27,7	32,8	34,8	36,4	37,8	39,2	40,5
50	9,9	18,8	25,1	30,8	35,0	37,6	39,4	41,2	42,8	44,6
80	11,0	20,0	26,1	31,7	36,4	38,5	40,5	42,5	44,1	45,8
100	11,5	21,1	28,9	35,2	39,9	43,0	45,3	47,2	48,8	50,5
500	13,8	24,6	35,2	43,9	50,5	54,5	57,3	58,8	62,5	64,6
2000	17,6	30,5	42,3	52,4	59,9	64,1	67,4	70,4	73,2	75,7
10000	18,6	35,2	48,5	60,3	69,3	74,7	79,1	82,9	86,2	89,2
50000	23,3	42,3	56,4	68,6	78,1	83,4	88,7	93,4	97,9	102
200000	38,3	56,7	69,8	79,4	86,9	92,4	97,7	103	108	113
500000	49,3	66,4	79,8	89,8	97,4	104	109	114	119	124

Таблица А.6 – Толщина защиты из бетона $\rho = 3,35 \text{ г/см}^3$ для различной кратности ослабления K γ -излучения (широкий пучок)

Номер K	Толщина защиты при энергии γ -излучения, МэВ									
	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,4	32,9	35,9	38,7	39,3	39,9
10	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0
30	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
50	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	68,9	72,8	81,6	83,9	89,8
80	50,1	54,0	57,5	65,5	62,7	69,8	74,0	85,1	88,0	93,9
100	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	77,5	84,5	95,1	98,0	105,1
500	69,8	74,8	79,8	85,4	88,5	101	110	124	130	140
2000	82,2	88,5	94,6	100	104	121	132	150	156	169
10000	97,2	105	112	119	125	143	157	179	188	201
50000	112	120	128	136	142	165	181	207	218	234
200000	125	136	145	153	160	177	202	201	245	263
500000	140	150	160	171	178	205	225	261	274	296



Таблица А.7 – Толщина защиты из свинца $\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$ и бетона $\rho = 3,35 \text{ г/см}^3$ для прямого рентгеновского излучения

K	$U_{\max}, \text{ кВ}$							
	75		100		125		150	
	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон
0,001	–	–	–	–	0,05	–	0,5	–
0,062	0,75	–	0,5	–	0,5	–	1	–
0,01	1	–	1	70	1,25	100	1,5	140
0,02	1,25	–	1	85	1,5	140	1,75	150
0,1	1,75	–	1,5	130	1,75	160	2,25	200
0,5	2	–	2,25	170	2,5	200	3	250
1	2,25	–	2,5	170	3,75	220	3,25	270
2	2,75	–	2,75	200	3	240	3,5	290
5	2,75	–	3	220	3,5	300	4,25	340
10	2,75	–	3,25	240	3,75	320	4,5	360
20	3	–	3,5	250	4	340	4,75	400
50	3,25	–	3,75	270	4,5	360	5,25	420
100	3,5	–	4	300	4,75	380	5,5	480

Таблица А.8 – Толщина защиты из свинца $\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$ и бетона $\rho = 3,35 \text{ г/см}^3$ для прямого рентгеновского излучения

K	$U_{\max}, \text{ кВ}$							
	175		200		250		300	
	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон
0,001	1	–	1	–	1,5	–	2	–
0,062	1,5	–	1,5	–	2	–	3	–
0,01	2	170	2,25	180	3,5	200	6	260
0,02	2	170	2,5	200	4	230	7,2	290
0,1	2,75	230	3,5	270	5,75	300	11,5	370
0,5	3,5	280	4,5	320	7,5	370	14,5	430
1	3,75	300	5	350	8,5	400	16,5	460
2	4,25	330	5,5	380	9,5	430	18	490
5	5	360	6	400	10,5	460	20	520
10	5,25	380	6,5	430	11,5	490	21,5	560
20	5,75	430	7	460	12	520	23,5	600
50	6,5	450	7,75	480	13,5	570	25,5	620
100	6,75	470	8,25	500	14	580	27	650

