

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

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



Могилев 2019

УДК 320.179 : 614.876
ББК 34.9 : 26.23
П 75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «11» июня 2019 г.,
протокол № 8

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

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

Предназначены для практических занятий. 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 Практическое занятие № 1. Расчет защиты от рентгеновского излучения.....	4
2 Практическое занятие № 2. Расчет защиты от гамма-излучения.....	7
3 Практическое занятие № 3. Изучение рентгеновских аппаратов для радиационной дефектоскопии.....	10
4 Практическое занятие № 4. Изучение гамма-дефектоскопов для радиационной дефектоскопии	23
5 Практическое занятие № 5. Составление технологических карт для гамма-графического контроля сварных соединений	36
6 Практическое занятие № 6. Составление технологических карт для рентгеновского контроля сварных соединений.....	40
7 Практическое занятие № 7. Изучение радиографических снимков сварных соединений с типичными дефектами сварки	42
Список литературы.....	45



1 Практическое занятие № 1. Расчет защиты от рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение, возникающее при торможении ускоренных электронов на аноде рентгеновской трубки, имеет непрерывный энергетический спектр. Напомним, что максимальная энергия тормозного излучения E_{\max} в электрон-вольтах численно равна максимальному напряжению, приложенному к рентгеновской трубке, U_{\max} в вольтах. 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 проводят, основываясь на эффективной энергии всего спектра излучения. За эффективную обычно принимают энергию, соответствующую напряжению $2/3 U_{\max}$. В этом случае закон ослабления широкого пучка рентгеновского излучения записывают в виде формулы

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

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 находят по таблицам [5].



Расчёт по вышеприведенной формуле даёт хорошее совпадение с экспериментом при напряжении U_{\max} свыше 200...300 кВ. При более низких напряжениях этим методом пользоваться нельзя, так как 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.

Далее рассмотрено 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 таблице, взятой из «Правил устройства и эксплуатации рентгеновских кабинетов и аппаратов при дефектоскопии» № 366-61.

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 простому выражению

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

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

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

По величине K и напряжению на трубке находят толщину защитного слоя из свинца и бетона плотностью $2,35$ г/см³. Если плотность используемого строительного материала (кирпич, бетон) не равна $2,35$ г/см³, то полученное значение толщины бетонного слоя следует умножить на $2,35/p$, где p – плотность используемого материала, г/см³.

Пример 1 – 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

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

Необходимая толщина защитного слоя составляет 5,5 мм свинца и 380 мм бетона.

Пример 2 – Определить толщину защиты из кирпича ($p = 1,5$ г/см³) для лиц, работающих в смежных помещениях при условиях, изложенных в примере 1.

Решение

Значение величины

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

Необходимая толщина бетона составляет 465 мм. Необходимая толщина 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. Номограмма 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, Р·м²/(с·мА);

P_τ – лучевая отдача рентгеновской трубки, Р·м²/(с·мА);

P_0 – проектная мощность экспозиционной дозы, Р/с;

i – ток, мА;

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

Проектная мощность экспозиционной дозы P_0 , Р/с, для помещений, где постоянно пребывает персонал при работе t часов в неделю, вычисляется по формуле

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



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

Решение

По формуле вычисляем для указанных условий

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

Найденному K при напряжении 75 кВ соответствует толщина свинца $l = 1,8$ мм.

Индивидуальное задание: рассчитать толщину защиты от ионизирующего излучения для различных напряжений на рентгеновской трубке.

2 Практическое занятие № 2. Расчет защиты от гамма-излучения

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 :

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

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

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

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 , Р/ч, измеряемой на расстоянии 1 м от источника, и гамма-эквивалентом определяется как

$$1 \text{ г-экв Ra} = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ Р/с.}$$

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 на расстоянии 1 см в воздухе от источника создаёт мощность экспозиционной дозы в 2,33 Р/ч, соответственно, 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 в рентген в час, создаваемую нефльтрованным излучением точечного изотропного излучения источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него.

Приведённые формулы 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 устанавливают между источником и рабочим местом.

В дефектоскопии приходится иметь дело, в основном, с широкими пучками γ -излучения. Расчёты мощности дозы за защитой достаточно трудоёмки, так как γ -излучение большинства источников не моноэнергетическое. 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 сколько раз, во столько 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 это имеет место в радиационной дефектоскопии, предельно допустимой дозе в 5 бэр в год практически соответствует мощность 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 или $50/t$ 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 – Требуется ослабить γ -излучение ^{135}Cs 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 равна 1,4 мР/ч и необходимая кратность ослабления составляет:

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

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, пользуясь универсальными таблицами. 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 ^{60}Co (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

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

Для энергии γ -излучения 1,25 МэВ к кратности ослабления $K = 100$ находим толщину защиты из свинца $l = 8,45$ см. Этим же условиям соответствует защита из бетона толщиной $l = 54,5$ см.

Индивидуальное задание: рассчитать толщину защиты от ионизирующего излучения с различных радионуклидов, применяемых в гамма-дефектоскопии.



3 Практическое занятие № 3. Изучение рентгеновских аппаратов для радиационной дефектоскопии

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 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;
- габаритные размеры рентгеновского излучателя (моноблока).

Основным узлом рентгеновского аппарата является рентгеновская трубка.

Рентгеновская трубка (R-трубка) – электровакуумный прибор, служащий источником рентгеновского излучения. Такое излучение возникает при торможении электронов, испускаемых катодом, и их ударе об анод (антикатод); при этом энергия электронов, ускоренных сильным электрическим полем в пространстве между анодом и катодом, частично преобразуется в энергию рентгеновского излучения. Излучение представляет собой наложение тормозного рентгеновского излучения на характеристическое излучение вещества анода. Трубки различают: по способу получения потока электронов – с термоэмиссионным (подогревным) катодом, автоэмиссионным катодом, катодом, подвергаемым бомбардировке положительными ионами и с радиоактивным (β) источником электронов; по способу вакуумирования – отпаянные, разборные; по времени излучения – непрерывного действия, импульсные; по типу охлаждения анода – с водяным, масляным, воздушным охлаждением; по размерам фокуса (области излучения на аноде) – макрофокусные, острофокусные и микрофокусные; по его форме – кольцевой, круглой, линейчатой формы; по способу фокусировки электронов на анод – с электростатической, магнитной, электромагнитной фокусировкой.

Внешний вид некоторых рентгеновских трубок приведен на рисунке 3.1.

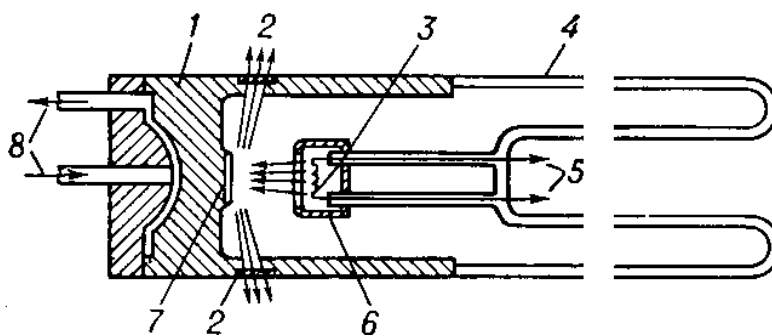
Рентгеновские трубки применяют в рентгеновском структурном анализе, рентгеновском спектральном анализе, дефектоскопии, рентгенодиагностике, рентгенотерапии, рентгеновской микроскопии и микрорентгенографии.



Наибольшее применение во всех областях находят запаянные трубки с термоэмиссионным катодом, водоохлаждаемым анодом, электростатической системой фокусировки электронов (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Общий вид рентгеновских трубок



1 – металлический анодный стакан (обычно заземляется); 2 – окна из бериллия для выхода рентгеновского излучения; 3 – термоэмиссионный катод; 4 – стеклянная колба, изолирующая анодную часть трубки от катодной; 5 – выводы катода, к которым подводится напряжение накала, а также высокое (относительно анода) напряжение; 6 – электростатическая система фокусировки электронов; 7 – анод (антикатод); 8 – патрубки для ввода и вывода проточной воды, охлаждающей анодный стакан

Рисунок 3.2 – Схема рентгеновской трубки

Термоэмиссионный катод трубки обычно представляет собой спираль или прямую нить из вольфрамовой проволоки, накаливаемую электрическим током. Рабочий участок анода – металлическая зеркальная поверхность – расположен перпендикулярно или под некоторым углом к потоку электронов. Для получения сплошного спектра рентгеновского излучения высоких энергий и интенсивности используют аноды из Au, W; в структурном анализе используются трубки с анодами из Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Ag. Основные характеристики – предельно допустимое ускоряющее напряжение (1...500 кВ), электронный ток (0,01 мА...1 А), удельная мощность, рассеиваемая анодом

(10...104 Вт/мм²), общая потребляемая мощность (0,002 Вт...60 кВт) и размеры фокуса (1 мкм...10 мм). КПД рентгеновской трубки составляет 0,1...3 %.

Ввиду очень большого разнообразия типов и конструкций трубок их классификацию целесообразно проводить по нескольким признакам, главнейшими из которых являются следующие.

1 Способ получения свободных электронов.

В различных типах рентгеновских трубок получение свободных электронов осуществляется различными способами, основанными на различных физических процессах. По этому признаку рентгеновские трубки разделяются на два класса:

1) ионные трубки, в которых свободные электроны получают в результате бомбардировки «холодного» алюминиевого катода положительными ионами, возникающими в процессе ионизации разреженного газа между электродами трубки (при давлении порядка 10^{-3} мм рт. ст.);

2) электронные трубки, в которых получение свободных электронов достигается применением накаливаемого катода, испускающего электроны в высоком вакууме (порядка 10^{-6} ... 10^{-7} мм рт. ст.).

Подгруппой этого класса являются трубки с холодным вольфрамовым катодом (в виде иглы или пластинки с острыми ребрами), в которых для получения свободных электронов используется явление электростатической (автоэлектронной) эмиссии, т. е. явление вырывания электронов в высоком вакууме из холодного катода под действием очень сильного электрического поля на остриях.

Оба класса трубок могут быть в свою очередь двух видов:

1) разборные трубки, допускающие смену катода и анода, в которых необходимый вакуум создается и поддерживается во время работы непрерывно действующими насосами;

2) запаянные трубки с неизменяющимся или мало изменяющимся вакуумом.

Современные ионные трубки изготавливаются исключительно разборными и применяются наряду с разборными электронными трубками при рентгеноструктурном и рентгеноспектральном (химическом) анализе, где необходимо наносить исследуемое вещество на анод при спектральном анализе или производить смену анодов для получения характеристического излучения различных длин волн при структурном анализе.

Запаянные ионные трубки в настоящее время почти полностью вытеснены более совершенными электронными трубками. Они исторически предшествовали электронным и применялись почти исключительно в медицине для целей рентгенодиагностики и рентгенотерапии.

2 Основная область применения.

Электронные рентгеновские трубки в настоящее время широко применяются в медицине и технике. В медицине они используются для рентгенодиагностики, которая производится путем рассматривания теневых картин исследуемого объекта на флюоресцирующем экране или фотопленке, и рентгенотерапии, осуществляющейся путем облучения больного рентгеновскими лучами.

В технике рентгеновские трубки применяются для структурного анализа и просвечивания материалов. При структурном анализе исследуется тонкая структура вещества путем получения и анализа диффракционных картин (рентгенограмм), возникающих при прохождении рентгеновских лучей через исследуемое вещество. Просвечивание материалов производится для обнаружения в них внутренних неоднородностей и различных дефектов (раковины, трещины и т. п.) и заключается в рассматривании теневых картин просвечиваемого объекта на экране или рентгеновском снимке.

В некоторых случаях при исследованиях быстро протекающих процессов возникает необходимость в получении снимков в течение очень коротких промежутков времени (до долей 1 мкс). Для этих целей нужны специальные импульсные трубки, позволяющие получать очень большие анодные токи (до 2000 А в импульсе).

По назначению рентгеновские трубки разделяются на следующие основные типы:

- диагностические;
- терапевтические;
- трубки для структурного анализа;
- трубки для просвечивания материалов.

Это подразделение в значительной степени условно. Трубки диагностические могут применяться в некоторых случаях для терапии или просвечивания материалов, а трубки для просвечивания материалов вполне пригодны для всех видов рентгенотерапии. Однако каждая область применения рентгеновского излучения предъявляет особые требования к рентгеновским трубкам и при рассмотрении типов и конструкций трубок удобно пользоваться приведенной классификацией.

Все перечисленные типы трубок выполняются в следующих трех вариантах:

- 1) трубки без защиты – имеют ограниченное применение (устаревший тип);
- 2) трубки защитные, т. е. трубки с защитой от неиспользуемого излучения – имеют более широкое применение в аппаратах открытого типа;
- 3) трубки безопасные, т. е. трубки без защиты или с неполной защитой, но предназначенные для работы в защитном металлическом заземленном (безопасном) кожухе с воздушной или масляной изоляцией (в общем баке с высоковольтной частью аппарата), который обеспечивает защиту одновременно от неиспользуемого излучения и от поражения высоким напряжением – современной основной тип трубок.

3 Особенности конструкции.

Большинство рентгеновских трубок, имеющих массовое применение, в процессе своего развития достигло известного конструктивного однообразия. Почти все они состоят из двух электродов – анода и катода, впаянных в стеклянный баллон и расположенных по оси трубки друг против друга. Рентгеновское излучение в большинстве случаев выходит из середины трубки перпендикулярно ее оси.

Имеется, однако, ряд специализированных трубок, конструкции которых сильно отличаются от «нормальной» конструкции трубок широкого приме-



нения. К ним относятся:

- трубки с выносным полым анодом, применяющиеся для полостной терапии и просвечивания полых изделий;
- трубки с вращающимся анодом, позволяющие получать большие кратковременные мощности при малом фокусе, применяющиеся в некоторых видах рентгенодиагностики;
- трубки мягколучевые большой мощности излучения, которые могут применяться при исследовании и использовании бактерицидных и фотохимических свойств рентгеновского излучения;
- трубки импульсные, используемые для микросекундной рентгенографии быстро протекающих процессов;
- трубки миниатюрные для легких переносных аппаратов;
- трубки высоковольтные для глубокой терапии и просвечивания ответственных толстых промышленных изделий;
- острофокусная трубка – рентгеновский теневой микроскоп.

Из вышеизложенного видно, что с точки зрения конструктивных особенностей можно различать:

- трубки нормальной двухэлектродной конструкции;
- трубки специализированных конструкций.

О работе рентгеновской трубки судят по ее основным параметрам: величине тока и напряжению накала, величине анодного тока и высокого напряжения.

Эмиссионная, или накальная, характеристика устанавливает зависимость между током накала и анодным током. Электронная эмиссия на катоде проявляется при токе накала в 2,8...3 А и относительно медленно нарастает по мере нагревания нити накала. Начиная с 4 А отмечается чрезвычайно резкое возрастание анодного тока до максимальных его величин. Отсюда делается важный в практическом отношении вывод, что регулировку накала трубки следует производить плавно, во избежание ее перегрузки и искажения рабочего режима.

Анодная (вольт-амперная) характеристика показывает зависимость анодного тока трубки от величины приложенного к ней высокого напряжения при неизменном накале. При определенном (для данного тока накала) напряжении все электроны переносятся от катода к аноду, и величина анодного тока становится постоянной, не зависящей от изменения высокого напряжения. Такое состояние получило название режима насыщения.

Для увеличения в этом случае анодного тока необходимо увеличить ток в цепи накала. Режим насыщения обеспечивает электронам быструю скорость, необходимую для генерирования рентгеновского излучения на аноде.

Электрическая (мощностная) характеристика устанавливает зависимость между мощностью трубки и длительностью нагрузки.

Мощность рентгеновской трубки P равняется произведению максимального напряжения V в киловольтах на величину анодного тока I в миллиамперах и выражается в киловаттах:

$$P = V \cdot I . \quad (3.1)$$



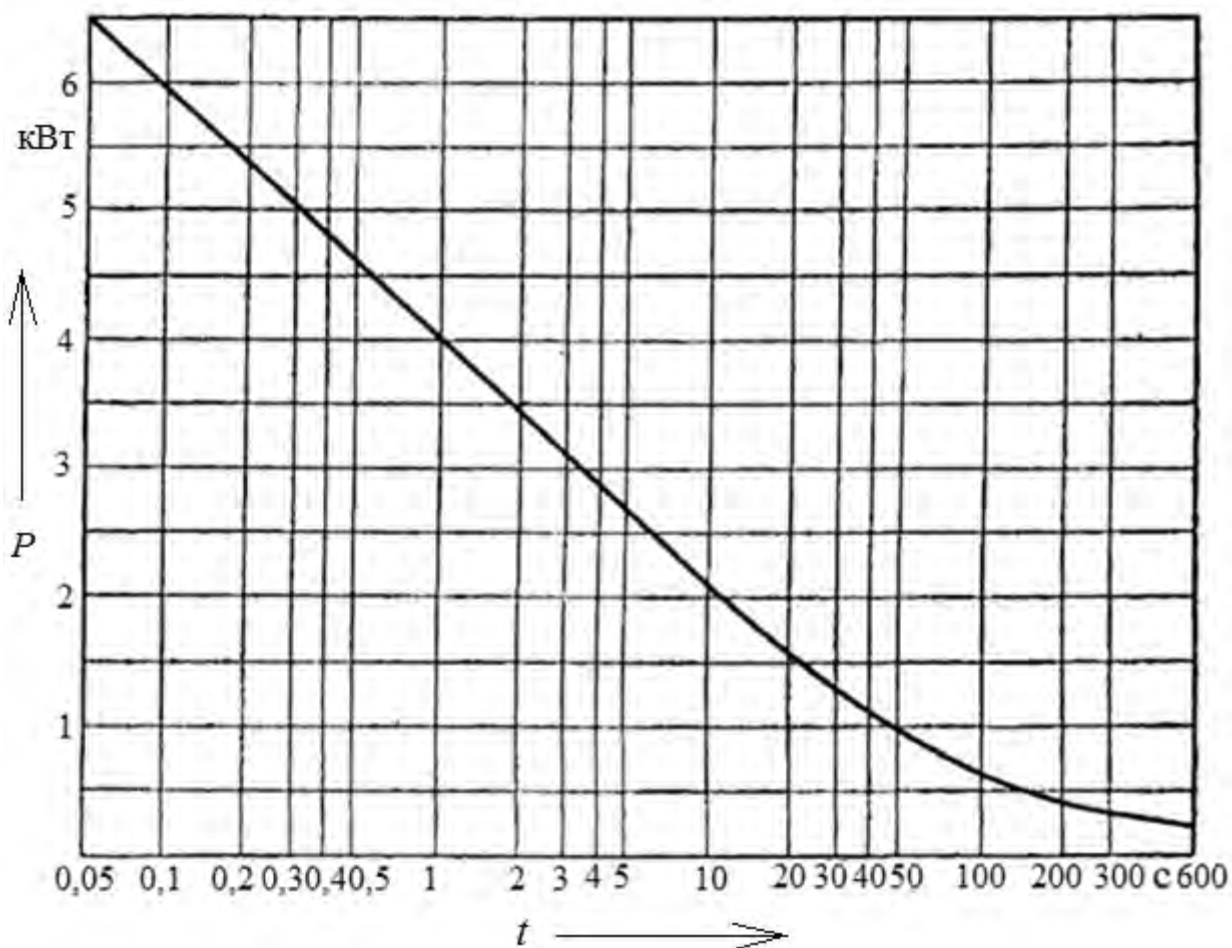


Рисунок 3.3 – Кривая зависимости мощности трубки от длительности нагрузки

Мощность рентгеновской трубки зависит также от формы кривой напряжения, питающего данную трубку. Поэтому в формулу мощности вводится коэффициент K , равный для безвентильных, одновентильных и двухполупериодных схем питания трубок 0,7, а для шести- и двенадцативентильных – 1.

$$P = K \cdot V \cdot I. \quad (3.2)$$

За номинальную мощность рентгеновской трубки принимают мощность, которую трубка выдерживает за 1 с. Она указывается в паспорте и называется еще паспортной.

Оптические и электрические свойства рентгеновских трубок. Различают действительные и эффективные фокусные пятна рентгеновских трубок.

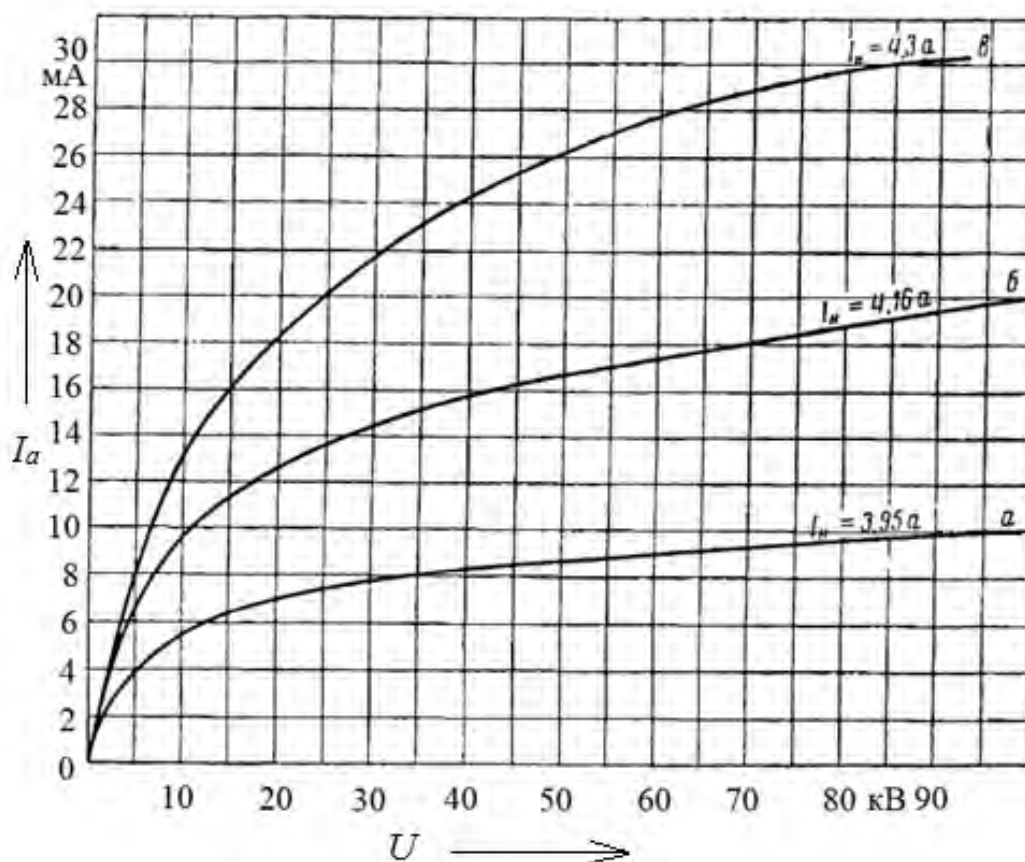
Длительное фокусное пятно – сечение, в котором анод рентгеновской трубки пересекается электронным потоком.

Линейное фокусное пятно – действительное фокусное пятно резко выраженной прямоугольной формы, для которого характерно максимальное распределение интенсивности излучения вблизи центра прямоугольника.

Обычно для получения необходимой площади эффективного фокусного пятна при проектировании под небольшими углами выбирают отношение длины к ширине линейного фокусного пятна не менее двух.

Эффективное фокусное пятно – проекция действительного фокусного пятна на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению. Обычно это направление совпадает с направлением центрального луча, выходящего из центра фокусного пятна через центр выходного окна.

Электрические свойства рентгеновской трубки характеризуются анодным напряжением U , анодным током I_a и током накала I_n (рисунок 3.4). На начальном участке вольт-амперных кривых увеличение анодного напряжения вызывает увеличение анодного тока. Это объясняется тем, что по мере увеличения напряжения все большее число электронов из электронного облака, образованного раскаленной спиралью, приобретает скорость, достаточную для преодоления тормозящего поля пространственного заряда у катода трубки. При определенном для данного тока накала анодном напряжении все электроны, покинувшие катод, достигают анода, при этом наступает режим насыщения, при котором дальнейшее увеличение анодного напряжения не вызывает увеличения анодного тока. На этом участке характеристики, называемом участком насыщения, анодный ток зависит только от тока накала, т. е. от числа свободных электронов. Участок насыщения является рабочим участком рентгеновской трубки. В условиях эксплуатации регулирование энергии рентгеновского излучения осуществляется изменением анодного напряжения, а регулирование интенсивности излучения – изменением тока накала.



$a - 3,95$ А; $b - 4,16$ А; $в - 4,3$ А

Рисунок 3.4 – Вольт-амперная характеристика рентгеновской трубки

Простейшая рентгеновская трубка состоит из запаянного стеклянного или керамического баллона с разрежением $1,33 \cdot 10^{-4} \dots 6,66 \cdot 10^{-5}$ ($10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.) с закрепленными внутри баллона на фиксированном расстоянии друг от друга катодными и анодными узлами. Баллон одновременно является корпусом рентгеновской трубки. В рентгеновских трубках с накаливаемым катодом последний изготавливается в виде спирали из вольфрамовой проволоки, размещенной в специальном фокусирующем цилиндре. Анод представляет собой массивный медный стержень с напаянной на него пластинкой из тугоплавкого металла. Пластинка является мишенью. На части ее поверхности – действительном фокусном пятне – тормозятся разогнанные в электрическом поле электроны, испускаемые нагретым до $2200 \dots 2500$ °С катодом.

При бомбардировке фокуса рентгеновской трубки пучком электронов часть первичных электронов отражается от поверхности анода под различными углами. Скорости отраженных электронов различны. При этом образуются быстрые электроны, почти не потерявшие при столкновении своей энергии, и более медленные, потерявшие при неупругом столкновении часть энергии.

Электроны, отраженные и выбитые из атомов вещества анода, называются вторичными электронами и образуют вторичную электронную эмиссию в рентгеновской трубке, которая оказывает вредное влияние на нормальную работу трубки.

Число вторичных электронов характеризуется коэффициентом вторичной эмиссии G , который постепенно уменьшается с ростом напряжения, прикладываемого к рентгеновской трубке, и затем, достигнув определенного минимума, почти не меняется при дальнейшем росте напряжения. Минимальное количество вторичных электронов составляет значительную часть от первичного пучка электронов. Например, для вольфрама $G_{\min} = 53$ %, для меди $G_{\min} = 37$ %.

Вторичные электроны, попадая на стекло баллона трубки, вызывают местный нагрев стекла и его электролиз, вследствие которого может возникнуть газоотделение в трубке.

Вторичные электроны, тормозящиеся электрическим полем, изменяют свою траекторию и в основном снова возвращаются на анод, вызывая афокальное излучение, т. е. рентгеновское излучение, возбужденное вне фокуса рентгеновской трубки.

Доля энергии афокального излучения из фокуса трубки для вольфрамового анода определенной формы при следующих напряжениях составляет:

- 100 кВ – 20 %;
- 90 кВ – 18 %;
- 60 кВ – 14 %;
- 40 кВ – 11 %;
- 20 кВ – 8,5 %.

Афокальное излучение ухудшает качество рентгеновского изображения объекта, уменьшая его резкость. Основные меры борьбы с влиянием вторичных электронов – применение корпуса трубки с оптимальной геометрией из высококачественного тугоплавкого стекла или металла либо с металлической



средней частью (попадание вторичных электронов на оболочку трубки не вызывает таких вредных последствий, как при стеклянной средней части); установка на аноде для предотвращения разлета вторичных электронов.

Изготавливаются следующие типы рентгеновских трубок (рисунок 3.5).

Схема однофокусной рентгеновской трубки приведена на рисунке 3.2.

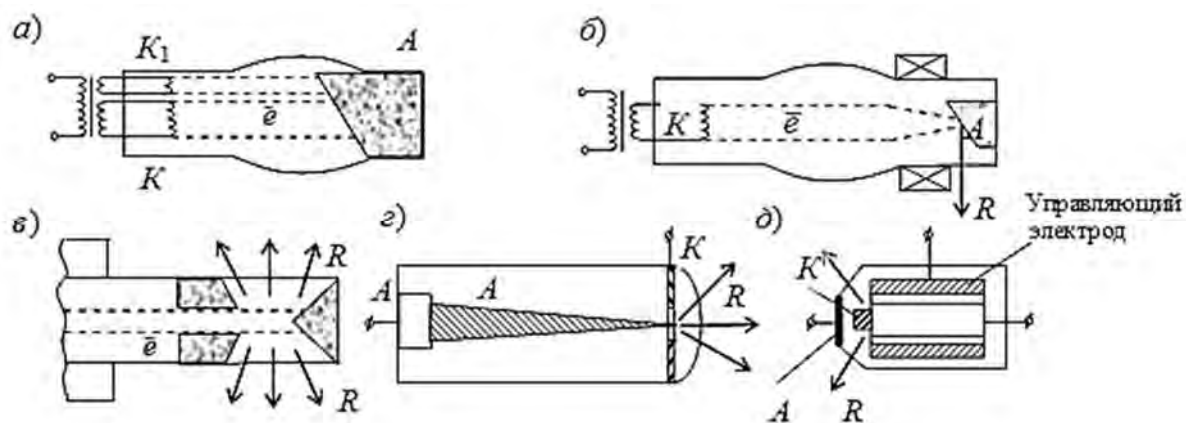


Рисунок 3.5 – Типы рентгеновских трубок

Рисунок 3.5, а соответствует двухфокусной трубке с двумя катодами и двумя фокусными пятнами Φ ($\Phi_1 \approx 1 \dots 1,5$ мм, $\Phi_2 \approx 4 \dots 5$ мм).

Рисунок 3.5, б соответствует острофокусной трубке с $\Phi \leq 0,3$ мм. Острый фокус реализуется за счет сжатия электронного пучка магнитным полем охватывающих трубку катушек с электрическим током. Такие трубки применяются для просвечивания толщин до 10 мм.

Рисунок 3.5, в соответствует рентгеновской трубке для панорамного просвечивания. Такие трубки чаще всего имеют вынесенный анод с конической мишенью.

Рисунок 3.5, г соответствует импульсной двухэлектродной трубке типа ИМА 5-320Д. Применяется в рентгеновских аппаратах АРИНА-05-2М и АРИНА-3.

Рисунок 3.5, д соответствует импульсной трехэлектродной трубке типа ИМА 2-150Д. Применяется в рентгеновском аппарате АРИНА-1.

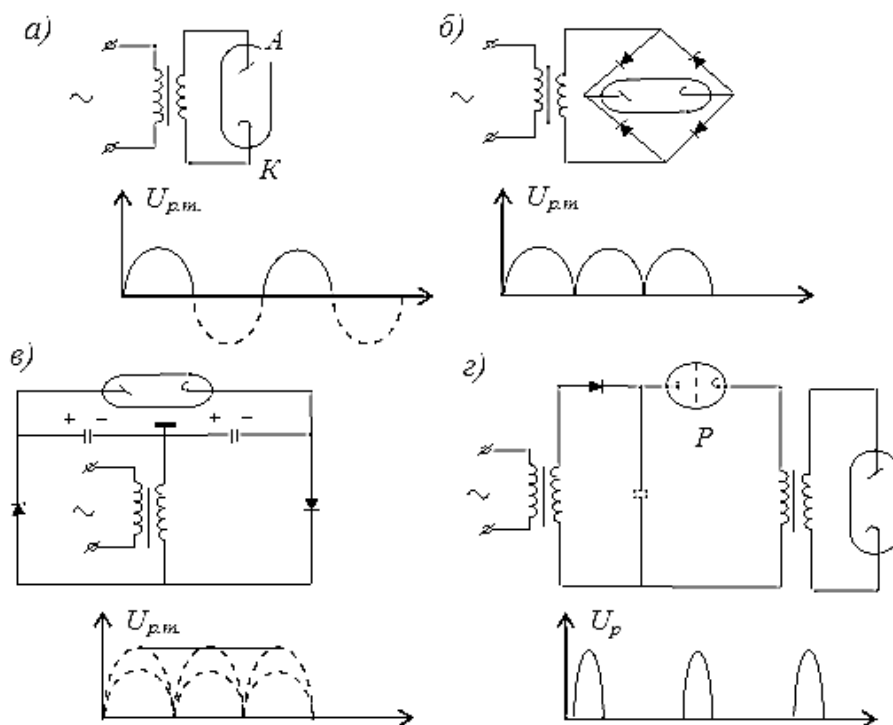
Электрическое питание рентгеновских трубок. Генератор высокого напряжения преобразует сетевое напряжение в высокое напряжение питания R-трубки. Состоит из высоковольтного трансформатора, выпрямителя, трансформатора накала, выключателей и защитных устройств.

Типовые схемы питания R-трубок приведены на рисунке 3.6.

Аппаратура управления служит для управления рентгеновским аппаратом и позволяет устанавливать и поддерживать во время работы определенную интенсивность, энергию и продолжительность излучения. В импульсных регулируется только время экспозиции (в импульсах). Энергия R-излучения зависит только от напряжения на R-трубке. Интенсивность R-излучения зависит от тока и напряжения на R-трубке.

С увеличением тока трубки при постоянном напряжении увеличивается интенсивность излучения. Увеличение ускоряющего напряжения при заданном

анодном токе изменяет спектр излучения со смещением максимума излучения в сторону коротких волн.



a – полуволновая без выпрямителя, используется в портативных аппаратах-моноблоках; *б* – полуволновая (однофазная) мостовая схема выпрямления; *в* – схема удвоения или умножения с постоянным напряжением, используется в мощных кабельных *R*-установках; *г* – схема импульсного питания с разрядником-обострителем *P* и импульсным трансформатором, используемая в моноблочных импульсных рентгеновских аппаратах

Рисунок 3.6 – Типовые схемы питания рентгеновских трубок

Вышеописанные рентгеновские аппараты применяются в импульсных рентгеновских аппаратах и рентгеновских аппаратах непрерывного действия. Рассмотрим некоторые рентгеновские аппараты.

Рентгеновский аппарат РАП-160И. Переносной рентгеновский аппарат РАП-160И применяется для неразрушающего контроля строительных конструкций, а также сварных соединений направленным пучком рентгеновского излучения с максимальной энергией до 160 кэВ. Аппарат позволяет также выявлять детали и узлы средств съема информации, скрытно установленные в строительных конструкциях. Для регистрации рентгеновского излучения используется рентгеновская пленка с усиливающими экранами или рентгенотелевизионные преобразователи (до 10 тыс. изображений в электронной памяти).

Самоходный рентгеновский аппарат СИРЕНА-6. Самоходный рентгеновский аппарат (мини-кроулер) СИРЕНА-6 предназначен для рентгенографического контроля сварных соединений магистральных нефте- и газопроводов методом панорамного просвечивания.

Основным отличием мини-кроулера СИРЕНА-6 от отечественных и зарубежных аналогов является отсутствие изотопного командного аппарата, представляющего опасность для оператора.

Подача команд на движение самоходного аппарата внутри трубы, его остановку и включение рентгена осуществляется с помощью стандартного портативного импульсного излучателя АРИНА-1, устанавливаемого на наружную поверхность трубы и управляемого выносным ручным пультом.

В качестве панорамного излучателя для просвечивания кольцевых сварных швов в мини-кроулере СИРЕНА-6 используется второй импульсный рентгеновский аппарат АРИНА-1, который устанавливается на самоходную тележку, снабженную двигателем постоянного тока и аккумулятором емкостью 11 А/ч. Там же крепится электронное устройство, воспринимающее команды внешнего аппарата АРИНА-1, управляющее тележкой.

Командный и основной аппараты АРИНА-1 могут использоваться в составе мини-кроулера либо самостоятельно для просвечивания труб через две стенки. В этом случае тележка может служить источником питания.

Переносной импульсный рентгеновский аппарат АРИНА-05-2М. Аппарат предназначен для рентгенографического контроля различных металлоконструкций в нестационарных условиях и, в частности, контроля качества сварных соединений магистральных газо- и нефтепроводов (рисунок 3.7).

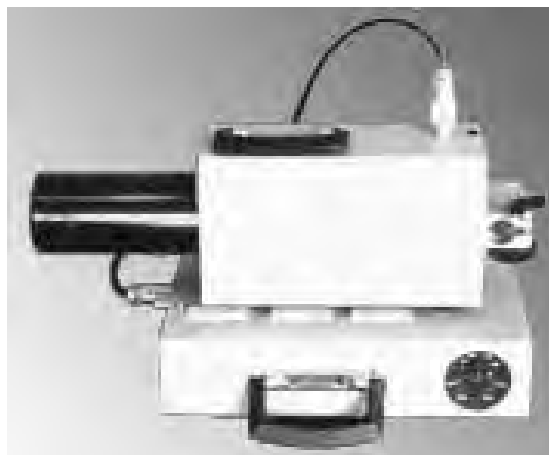


Рисунок 3.7 – Аппарат АРИНА-05-2М

При использовании высокочувствительной пленки типов РТ-1, РТ-2, Structurix D6, Structurix D8 и флуоресцентных усиливающих экранов типов ВП-2, RCF аппарат просвечивает стальные изделия толщиной до 40...50 мм в соответствии с ГОСТ 20426-82.

При использовании высококонтрастной пленки типов РТ-5, Structurix D7 и свинцовой фольги приемлемая толщина просвечиваемой стали составляет 20 мм.

В аппарате используется острофокусная рентгеновская трубка типа ИМ-320Д, обеспечивающая получение рентгеновских снимков с контрастной чувствительностью 1...1,5 %. Ресурс работы трубки составляет 300 ч.

Аппарат питается как от сети переменного тока 220 В 50 Гц, так и от аккумулятора 12 или 24 В.

Вес рентгеновского блока составляет 5,5 кг. Вес пульта управления – 4,5 кг. Длина кабеля, соединяющего рентгеновский блок с пультом управления в штатном исполнении, составляет 20 м, но может быть увеличена по требованию заказчика.

Аппарат упаковывается в кожаный футляр и доставляется к месту работы одним человеком любым видом транспорта.

Аппарат выгодно отличается от своих предшественников более острым фокусом, высокой мощностью излучения, универсальностью источников питания и существенно большим ресурсом при меньшей стоимости.

Автономный импульсный рентгеновский наносекундный аппарат АРИНА-1. Аппарат АРИНА-1 предназначен для рентгенографического контроля сварных соединений различных металлоконструкций и, в частности, нефте- и газопроводов в полевых условиях (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Аппарат АРИНА-1

Основным достоинством аппарата АРИНА-1 является отсутствие внешних источников питания. Аппарат питается от малогабаритного встроенного аккумулятора, емкости которого достаточно для непрерывной работы аппарата в течение 30...40 мин. Это означает, что при средней экспозиции порядка 500 импульсов одного цикла зарядки аккумулятора хватает для производства 30...40 снимков.

Аппарат состоит из рентгеновского моноблока и выносного ручного пульта управления, соединяемых между собой кабелем длиной 20 м, что обеспечивает полную безопасность оператора.

Диаграмма направленности рентгеновского блока обеспечивает как направленное, так и панорамное просвечивание трубопроводов.

Малые габариты и вес позволяют установить рентгеновский блок в любом положении снаружи трубы, а с помощью простых приспособлений и внутри ее.

Рентгеновские аппараты серии РАП. Сильноточные аппараты с микро-процессорным управлением и регулируемым уровнем высокого напряжения. Переносные моноблочные аппараты предназначены для использования в качестве источника излучения при неразрушающем контроле. Используются при контроле материалов и изделий, сварных соединений, литых конструкций и т. п.

Аппараты предназначены для использования в качестве источника излучения при неразрушающем контроле материалов и изделий, сварных

соединений и литья методом рентгенографии и рентгеноскопии.

Рентгеновские трубки имеют малые размеры фокусного пятна при большой мощности излучения; высокий рентгеновский выход по сравнению с сетевыми моноблочными аппаратами; низкий вес аппаратов; возможность широкой регулировки параметров излучения.

Рентгеновские аппараты серии НОРКА. Портативная рентгено-телевизионная установка НОРКА предназначена для проверки почтовой корреспонденции, багажа, мебели, различных бытовых предметов в целях выявления взрывных устройств, контейнеров с опасными вложениями, а также скрытно установленных средств съема информации. Обеспечивает высокую производительность при хорошей выявляющей способности и слабом радиационном воздействии на окружающих и обслуживающий персонал (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Аппарат НОРКА

Норка очень удобна и проста в эксплуатации, быстро переводится в рабочее состояние. От оператора не требуются специальные знания в области рентгеновского контроля для работы с комплексом. Используемые микрофокусные излучатели позволяют выявлять в контролируемых объектах включения с очень тонкой структурой (например, проводники толщиной 15...25 мкм, детали детонаторов и т. д.). Использован модульный принцип построения. В состав комплекта могут входить различные излучатели, преобразователи и блоки управления. По желанию заказчика можно подобрать конфигурацию системы, наилучшим образом отвечающую его требованиям. Основным преимуществом микрофокусных излучателей, по сравнению с импульсными (используемыми в системах типа Шмель, Vidisco, Inspector, Арина) и сильноточными аппаратами, является возможность получения изображений отдельных областей контролируемого объекта с большим геометрическим увеличением (4–12 раз). Данные излучатели позволяют плавно регулировать высокое напряжение для достижения наилучшей выявляемости посторонних включений при контроле объектов разной толщины (что невозможно при использовании импульсных аппаратов с фиксированной энергией излучения). Несмотря на небольшую выходную мощность излучения

(8 Вт – для РИ-100М и 30 Вт – для РИ-150М), максимальная толщина объекта контроля составляет для указанных излучателей 40 и 70 мм соответственно. Ресурс рентгеновской трубки – 300 ч, что позволяет сделать не менее 150000 снимков. Конструкция излучателя дает возможность производить замену рентгеновской трубки без применения специального вакуумного оборудования. В излучателях могут использоваться трубки с торцевым, панорамным и боковым выходом пучка излучения. Установка может комплектоваться различными блоками управления (БУ-2М или БУ-4), отличающимися размерами монитора и емкостью памяти изображений. БУ-2 являются малогабаритным блоком управления, удобно размещаемым как на теле оператора, так и на столе. В БУ-2 применяется TFT-дисплей 6,5" и память до 128 изображений с возможностью их перезаписи на персональный компьютер. БУ-4 имеет 12" TFT-дисплей, компактные размеры (толщина не отличается от БУ-2М) и большую емкость памяти, позволяющую хранить до 10000 изображений со звуковыми комментариями. Установка комплектуется сменным блоком телекамеры, который может стыковаться с любым из четырех преобразователей (152 × 11; 250 × 190; 550 × 410 и 410 × 546 мм). Применение конкретного преобразователя обусловлено габаритами контролируемого объекта и требуемым пространственным разрешением. В комплект поставки могут входить один, два либо несколько преобразователей.

Индивидуальное задание: изучить рентгеновские аппараты для радиационной дефектоскопии и дать рекомендации по их применению в промышленности.

4 Практическое занятие № 4. Изучение гамма-дефектоскопов для радиационной дефектоскопии

За рубежом, наряду с применением переносных блочных рентгеновских аппаратов, для контроля качества материалов и изделий в различных отраслях промышленности используют гамма-аппараты (таблица 4.1). Наибольшее распространение в металлообрабатывающей и сталелитейной промышленности получили радиоактивные источники излучения $Co60$, $Cs137$, $Ir192$ и др. Эти же источники применяют для контроля сварных соединений в монтажных условиях, на строительных площадках и при прокладке газо- и нефтепроводов.

К преимуществам использования гамма-аппаратов вместо рентгеновских (даже малогабаритных, блочных) следует отнести:

- полную независимость их от источников питания (электроэнергии и воды);
- возможность контроля в сложных монтажных условиях (на высоте, в стесненных отсеках и т. д.);
- возможность контроля разнотолщинных изделий за одну экспозицию;
- простоту управления и эксплуатации.



Таблица 4.1 – Основные технические данные гамма-аппаратов, выпущенных зарубежными фирмами

Тип аппарата	Радио-активный изотоп	Актив-ность, Ки	Угол пучка получения, град	Перемеще-ние источника	Параметры аппарата		Фирма, страна
					Габариты, мм	Вес, кг	
WK-S-3	Ir192 (Cs137)	25	40; 80	Ручное	175 × 200 × 175	9,4	Гер-мания
WK-S-4	Ir192	50	360; 18	Ручное	135 × 135 × 280	14	
TWK-B-1	Ir192	150	25; 45	Ручное	310 × 170 × 160	45	
TWK-B-2	Ir192	150	45; 360	Ручное	310 × 170 × 160	150	
TuRM Co	Co60	1,3	60; 180	От электро-двигателя		98	
M3-1	Cs137 Ir192 Tm170	7,5 25 150	360	Пневмати-ческое		70	Чехия
M3-3	Co60 Eu152	4,6 33	360	Пневмати-ческое		320	
M3-8	Co60 Eu152	52 460	360	Пневмати-ческое		480	
GTR-65	Cs137 Ir192	6,5 25		Ручное			Гер-мания
GTR-780	Co60 Cs137 Ir192	60		Ручное			Гер-мания
GTR-20	Ir192			Ручное			
R-22 360	Ir192 Co60	35 6		Ручное		16,5	
R32 (на два источника)	Ir192 Co60	35 6	360	Ручное			
Bombe500	Co60 Ir192 Cs137	0,2; 0,35; 0,5; 0,8; 1,0 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 0,35; 1,0; 5,0; 10,0		Ручное		35	Valteau (Бель-гия)
Picker-489	Ir192 Tm170	10 150		Ручное		26	Picker (США)
Picker-490	Ir192	100		Ручное			
Iritron L-192-5	Ir192			Ручное			США
Panantron L-60	Co60	1,5... 1600		Ручное			



В отличие от рентгеновских аппаратов конструкции гамма-аппаратов, выпускаемых зарубежными фирмами, более однотипны и отличаются друг от друга лишь некоторыми элементами, связанными с манипулированием источником излучения в зависимости от номенклатуры контролируемых изделий, а также с толщиной защиты, определяемой энергией и активностью используемого источника. Для контроля качества сварки в труднодоступных местах паротрубопроводов в Германии выпускают переносные гамма-установки типов WK-S-3 и WK-S-4 (см. таблицу 4.1). Конструкция этих установок позволяет просвечивать объекты направленным пучком (WK-S-3), а также осуществлять панорамное просвечивание (WK-S-4).

Рассмотрим некоторые гамма-дефектоскопы.

Серия гамма-дефектоскопов универсальных шлангового типа с универсальным коллиматором Гаммарид 2010Р (рисунок 4.1). Переносные аппараты общепромышленного назначения типа В(У), класса «Р», востребованные на внутреннем и внешнем рынках. В соответствии с нормативными документами РФ и требованиями МАГАТЭ модельный ряд оснащен 6-ступенчатой системой блокировок от несанкционированного доступа к ИИИ (ампулопровод, привод, ключ, одноразовый цикл, неприсоединение транспортера, неприсоединение зубчатого троса), трехцветной системой сигнализации режимов работы и индивидуальным закрывающим ключом. В стандартный комплект γ -дефектоскопа входят РГ и ТПК с блоками биологической защиты из обедненного урана.



Рисунок 4.1 – Гамма-дефектоскоп Гаммарид 2010Р

Гамма-дефектоскоп УНИГАМ Р (рисунок 4.2). В конструкции базовой модели гамма-дефектоскопа УНИГАМ Р реализована комбинированная система средств блокирования выпуска пучка излучения и сигнализации, выполненная с учетом регламентированных требований безопасности.

УНИГАМ Р оснащены:

– средством блокирования замкового механизма, исключающим возможность его открывания без предварительного подсоединения штуцеров ампулопровода и соединительного рукава пульта дистанционного управления;

- средствами блокирования исполнительных механизмов радиационной головки при отсоединенных штуцерах ампулопровода и соединительного рукава пульта управления;
- замковым механизмом, исключающим возможность несанкционированного выпуска пучка излучения в положении «ЗАКРЫТО» и блокирующим штуцеры ампулопровода и соединительного рукава пульта управления в присоединенном состоянии в положении «ОТКРЫТО»;
- устройством одноразового рабочего цикла, исключающим несанкционированный либо повторный выпуск пучка излучения без перевода в рабочее положение;
- устройством цветовой сигнализации состояния пучка излучения, адаптированного к рабочему алгоритму.



Рисунок 4.2 – Гамма-дефектоскоп УНИГАМ Р

Гамма-дефектоскопы затворного типа Стапель 5 Se75 Ir192 (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Гамма-дефектоскоп Стапель 5 Se75Ir192

Серия делится на три вида аппаратов.

Гамма-дефектоскоп Стапель 5 Se75 Ir192 (eИИ.570.243-02). Радиационная головка (РГ) гамма-дефектоскопа включает в себя блок биологической защиты из обедненного урана (транспортно-перезарядным контейнером (ТПК) гамма-дефектоскоп не комплектуется), позволяет работать с источниками

ионизирующего излучения (ИИИ) Se-75 с вложенной активностью до 120 Ки или Ir-192 с вложенной активностью до 25 Ки.

Гамма-дефектоскоп Станель 5 Se75Ir192 (eИИ.570.243). Позволяет работать с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) Se-75 с вложенной активностью до 90 Ки, Ir-192 с вложенной активностью до 7,85 Ки. В стандартный комплект γ -дефектоскопа входят РГ и ТПК с блоками биологической защиты из обедненного урана.

Гамма-дефектоскоп Станель 5 Se75 W позволяет работать с ИИИ Se75 V с вложенной активностью до 90 Ки. В стандартный комплект γ -дефектоскопа входят РГ (блок биологической защиты из вольфрама) и ТПК (блок биологической защиты из обедненного урана).

Гамма-дефектоскоп универсальный шланговый РИД КТМ-6 (рисунок 4.4). Предназначен для контроля сварных швов с применением ионизирующего источника на основе Co-60. Применяется в тепловой и атомной энергетике, судостроении, машиностроении, нефтегазовых комплексах, химических производствах. Активность источника – не более 400 Ки. Эффективная энергия гамма-излучения – 1,25 МэВ. Диапазон контролируемых толщин (сталь) – от 30 до 200 мм. Материал биологической защиты – обедненный уран. Максимальное расстояние от радиационной головки до устройства перемещения источника – 16 м. Оборудование позволяет осуществлять гамма-графический контроль сварных швов толщиной не более 200 мм.



Рисунок 4.4 – Гамма-дефектоскоп РИД КТМ-6

Гамма-дефектоскоп Exertus Vox 100 (рисунок 4.5). Гамма-дефектоскоп шлангового типа для проведения контроля качества промышленных изделий методом радиографии с использованием источника излучения на основе радионуклида кобальт-60 активностью до 100 Ки.

В данной модели предусмотрено использование электромеханического устройства для автоматического перемещения источника из положения «хранение» в положение «просвечивание» и обратно.

Материал биологической защиты – обедненный уран. Расстояние от пульта управления до радиационной головки – 16 м. Оборудование позволяет осуществлять гамма-графический контроль сварных швов толщиной не более 200 мм.



Рисунок 4.5 – Гамма-дефектоскоп Exertus Vox 100

Приборы дозиметрического контроля гамма-излучения.

Дозиметры ДРГ-01Т1 и ДБГ-06Т (рисунки 4.6 и 4.7). Предназначены для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы МАД гамма-излучения и могут применяться для оперативного контроля работниками служб радиационной безопасности, дефектоскопических лабораторий, станций и т. п., на предприятиях народного хозяйства, в медицинских учреждениях. Широко используются также в структурах МЧС и Министерства обороны.



Рисунок 4.6 – Дозиметр ДРГ-01Т1



Рисунок 4.7 – Дозиметр ДБГ-06Т

Дозиметры имеют подсветку шкалы, что позволяет использовать их в условиях плохой видимости, имеется встроенный контроль разряда батареи. Признаны эталонными в странах СНГ и показали себя при работе на Чернобыльской АЭС на уровне лучших зарубежных дозиметров этого класса.

Диапазон измерения МАД для дозиметра ДРГ01Т составляет 10 мкР/ч...100 Р/ч, для дозиметра ДБГ-06Т – 0,01...99,99 мкЗв/ч; 10...999,99 мкЗв/ч с погрешность не более 15 %. Дозиметры могут работать в режимах поиска и измерения в интервале энергий от 50 кэВ до 3,0 МэВ. Питание дозиметров осуществляется

от автономного источника (гальванический элемент типа «Корунд»). Дозиметры имеют малый вес и габариты.

Дозиметр-радиометр МКС-05 «ТЕРРА» (рисунок 4.8). Предназначен для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ гамма-излучения, измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ гамма-излучения, измерения плотности потока бета-частиц.



Рисунок 4.8 – Дозиметр-радиометр МКС-05 «ТЕРРА»

Дозиметр-радиометр имеет двухтональную звуковую сигнализацию превышения запрограммированных пороговых уровней, цифровой дисплей с подсветкой, три независимых измерительных канала с поочередным выводением информации. В качестве детектора ионизирующего излучения в дозиметре используется газоразрядный счетчик. Диапазон измерения мощности дозы $H^*(10)$ составляет 0,1...10,0 мЗв/ч, дозы $H^*(10)$ – 1,0 мкЗв...10,0 Зв, плотности потока бета-частиц (по $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$) – 10...10⁵ см⁻²·мин⁻¹. Диапазон энергий гамма-излучения – 0,05...3,0 МэВ. Питание дозиметра-радиометра осуществляется от второго элемента типа ААА, габаритные размеры (масса) – 120 × 52 × 26 мм (0,1 кг).

Дозиметр индивидуальный гамма- и рентгеновского излучения ДКГ-АТ2503/2503А (рисунок 4.9). Представляет собой миниатюрный микропроцессорный прямопоказывающий индивидуальный дозиметр.



Рисунок 4.9 – Дозиметр ДКГ-АТ2503/2503А

Совместно с устройством считывания (УС), подключаемым к ПЭВМ, он обеспечивает создание системы автоматизированного контроля дозовых нагрузок на персонал.

Дозиметр ДКГ-АТ2503/2503А может проводить одновременное измерение индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ и мощности индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ непрерывного рентгеновского и гамма-излучения.

Программное обеспечение, поставляемое с УС, позволяет осуществлять:

- считывание/установку индивидуального и заводского номеров дозиметра;
- изменение порогов по дозе и мощности дозы;
- запрет/разрешение выбора порогов от кнопки на передней панели дозиметра;
- изменение интервала накопления доз от 1 до 255 мин и возможность определения накопленных доз за любой интервал в течение рабочей смены;
- автоматическую запись в память не менее 800 значений дозы, накопленных за выбранный интервал накопления;
- сброс (обнуление) накопленной дозы;
- запрет/разрешение сброса накопленной дозы от кнопки на передней панели дозиметра;
- автоматическую запись информации в базу данных, документирование.

В качестве детектора ионизирующего излучения в дозиметре используется газоразрядный счетчик. Диапазон измерения составляет:

- дозы $H_p(10)$ – 1 мкЗв...10 Зв;
- мощности дозы $H_p(10)$:
 - а) ДКГ-АТ2503А – 0,1 мкЗв/ч ...0,1 Зв/ч;
 - б) ДКГ-АТ2503 – 0,1 мкЗв/ч ...0,5 Зв/ч.

Основная относительная погрешность измерения составляет ± 15 %. Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения – 0,05...1,5 МэВ. Энергетическая зависимость в диапазоне 0,05...1,5 МэВ – ± 30 %. Время установления рабочего режима составляет не более 1 мин. Прибор обладает звуковой и световой сигнализацией.

Дозиметр гамма- и нейтронного излучения индивидуальный ДВС-01С (рисунок 4.10). Представляет собой прямопоказывающий электронный дозиметр для контроля дозовой нагрузки на персонал. Он предназначен для измерения индивидуального эквивалента дозы (ИЭД) гамма- и нейтронного излучения, в частности:

- измерение текущего индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ смешанного гамма- и нейтронного излучения;
- измерение текущего индивидуального эквивалента дозы нейтронного излучения;
- измерение мощности индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ смешанного гамма- и нейтронного излучения.

Дозиметр обладает следующими свойствами:

- запоминание в энергонезависимой памяти до 900 историй накопления ИЭД смешанного гамма- и нейтронного излучения и до 300 историй



накопления ИЭД нейтронного излучения, при этом запись во встроенную память приращения ИЭД гамма- и нейтронного излучения ведется через заданные промежутки времени;

- отображение на дисплее значения суммарного ИЭД гамма- и нейтронного излучения либо значения ИЭД нейтронного излучения;
- двусторонняя инфракрасная связь с компьютером через считывающее устройство либо через IRDA-порт компьютера;
- выключение, очистка памяти, настройка осуществляются программно с помощью компьютера, персонал без права доступа не может вмешаться в работу дозиметра;
- плавная установка порогов звуковой и световой сигнализации по ИЭД и мощности ИЭД во всем диапазоне измерения с помощью компьютера;
- возможность подсвета дисплея.



Рисунок 4.10 – Дозиметр гамма- и нейтронного излучения индивидуальный ДВС-01С

Технические характеристики дозиметра:

- диапазон измерения ИЭД гамма-излучения – $1 \dots 1,5 \cdot 10^7$ мкЗв;
- рабочий диапазон мощности ИЭД гамма-излучения – $1 \dots 10^7$ мкЗв/ч;
- диапазон измерения ИЭД нейтронного излучения – $20 \dots 1,5 \cdot 10^7$ мкЗв;
- рабочий диапазон мощности ИЭД нейтронного излучения $1 \dots 2 \cdot 10^6$ мкЗв/ч;
- диапазон энергий нейтронного излучения – $0,025 \cdot 10^{-6} \dots 20$ МэВ;
- энергетическая зависимость чувствительности для типовых спектров нейтронного излучения относительно спектра Pu-Be источника – от -50 до $+80$ %;
- диапазон энергий гамма-излучения – $0,05 \dots 6$ МэВ;
- энергетическая зависимость чувствительности к гамма-излучению относительно излучения источника Cs-137 – ± 35 %;
- погрешность измерения – ± 10 %.

Дозиметр гамма-излучения индивидуальный ДКГ-05Д (рисунок 4.11). Прямопоказывающий электронный дозиметр для контроля дозовой нагрузки на персонал.

Дозиметр ДКГ-05Д предназначен для измерения текущего индиви-

дуального эквивалента дозы $H_p(10)$ и мощности индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$.



Рисунок 4.11 – Дозиметр гамма-излучения индивидуальный ДКГ-05Д

Свойства дозиметра:

- запоминание в энергонезависимой памяти до 1900 историй накопления дозы;
- двусторонняя инфракрасная связь со считывающим устройством либо с IRDA-портом компьютера;
- выключение, очистка памяти, настройка осуществляются программно через считывающее устройство, персонал без права доступа не может вмешаться в работу дозиметра;
- плавная установка порогов по дозе и мощности дозы во всем диапазоне измерения.

В качестве детекторов ионизирующего излучения используются полупроводниковые кремниевые детекторы.

Технические характеристики:

- диапазон измерения:
- дозы $H_p(10)$ – $0,001 \dots 1,5 \cdot 10^4$ мЗв;
- мощности дозы $H_p(10)$ – $0,0001 \dots 1 \cdot 10^4$ мЗв/ч;
- диапазон энергий – $0,05 \dots 3,0$ МэВ.

Звуковая и световая сигнализация срабатывает при превышении порогов по дозе, превышении порогов по мощности дозы, превышении пределов измерения и разряде элементов питания. Время измерения мощности дозы составляет от 1 до 255 с и уменьшается с ростом мощности дозы. Установка порогов измерения осуществляется с шагом 1 мкЗв/ч по МЭД и 1 мкЗв по дозе. Память прибора может хранить до 1900 результатов измерений.

Программное обеспечение:

- программа «Метролог» предназначена для настройки и поверки дозиметра ДКГ-05Д, установки порогов по дозе, мощности дозы, просмотра и стирания архива дозиметра;

– программа «Внесистемный пользователь» предназначена для установки порогов по дозе, мощности дозы, просмотра и стирания архива, установки персонального номера;

– программа «Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля предприятия (АСИДК)» предназначена для установки порогов по дозе, мощности дозы, просмотра и стирания архива, ведения базы данных индивидуального дозиметрического контроля предприятия на основе системы управления базами данных (СУБД), включающей в себя:

- а) таблицу персонала;
- б) таблицу цехов/отделов;
- в) таблицу должностей;
- г) таблицу категорий персонала;
- д) таблицу видов работ;
- е) таблицу выдачи дозиметров;
- ж) временные картограммы дозиметра;
- з) установку запретов;
- и) формирование отчетов.

Краткое описание работы с дозиметром. При работе в составе АСИДК предприятий с большим числом контролируемого персонала работа с дозиметром максимально автоматизирована: работник достает любой дозиметр из кассетного зарядного устройства, расположенного у входа в контролируемую зону, помещает его в считывающее устройство и набирает свой персональный код (табельный номер). Считывающее устройство передает код работника и номер дозиметра в компьютер. Программное обеспечение АСИДК проверяет код доступа работника, записывает номер дозиметра в ячейку работника и записывает разрешенную работнику дозу в память дозиметра как пороговое значение по дозе. При выходе из контролируемой зоны работник также помещает дозиметр в считывающее устройство. Доза, полученная работником, передается в компьютер. Если доза, полученная работником, превысила разрешенную дозу, то в компьютер передается 1900 результатов дозы из памяти дозиметра («история накопления дозы по времени»). Для предприятий с небольшим числом контролируемого персонала эти работы выполняются дежурным дозиметристом.

Дозиметр индивидуальный гамма- и рентгеновского излучения ДКС-АТ3509 (рисунок 4.12). Миниатюрный микропроцессорный прямопоказывающий индивидуальный дозиметр. Совместно с устройством считывания (УС), подключаемым к ПЭВМ, обеспечивает создание системы автоматизированного контроля дозовых нагрузок на персонал.

Свойства:

- измерение дозы и мощности дозы $H_p(10)$ непрерывного рентгеновского и гамма-излучения (ДКС-АТ3509, ДКС-АТ3509А);
- измерение дозы и мощности дозы $H_p(10)$ непрерывного и кратковременного рентгеновского и гамма-излучения (с длительностью импульса от 30 мс) (ДКС-АТ3509С);

- самоконтроль детектора и разряда батарей;
- звуковая и светодиодная сигнализация;
- системное или автономное применение.



Рисунок 4.12 – Дозиметр индивидуальный гамма- и рентгеновского излучения ДКС-АТ3509

Программное обеспечение позволяет осуществлять:

- считывание/установку индивидуального и заводского номеров дозиметра;
- изменение порогов по дозе и мощности дозы;
- запрет/разрешение выбора порогов от кнопки на передней панели дозиметра;
- изменение интервала накопления доз от 1 до 255 мин и возможность определения накопленных доз за любой интервал в течение рабочей смены;
- автоматическую запись в память не менее 800 значений дозы $H_p(10)$;
- сброс (обнуление) накопленной дозы;
- запрет/разрешение сброса накопленной дозы от кнопки на передней панели дозиметра, представление доз в виде графиков, формирование отчетов;
- автоматическую запись информации в базу данных, документирование.

Технические характеристики:

- детектор – кремниевый планарный;
- диапазон измерения:
- дозы – 1 мкЗв...10 Зв;
- мощности дозы:
- ДКС-АТ3509, ДКС-АТ3509А - 0,1 мкЗв/ч...1 Зв/ч;
- ДКС-АТ3509С – 0,1 мкЗв/ч...5 Зв/ч;
- основная относительная погрешность измерения дозы – $\pm 15\%$;
- основная относительная погрешность измерения мощности дозы – $\pm 15...30\%$;
- диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения:
- ДКС-АТ3509, ДКС-АТ3509С – 15 кэВ...10 МэВ;
- ДКС-АТ3509А – 30 кэВ...10 МэВ;

- энергетическая зависимость:
- в диапазоне 15 кэВ...1,5 МэВ – $\pm 25\%$;
- в диапазоне 1,5...10 МэВ – $\pm 60\%$;
- время установления рабочего режима – не более 1 мин.

Дозиметры ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123 (рисунок 4.13). Представляют собой портативные широкодиапазонные многофункциональные приборы для дозиметрии непрерывного, кратковременного и импульсного рентгеновского и гамма-излучения.



Рисунок 4.13 – Дозиметры ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123

Основные функции приборов – дозиметрия импульсного, кратковременного и непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в широких диапазонах мощности амбиентного эквивалента дозы и энергии. Дополнительные функции – обнаружение источников мягкого и жесткого гамма-излучения, бета-излучателей, кратковременно действующего и импульсного излучения с оценкой длительности воздействия, а также движущихся излучателей. Дозиметры автоматически фиксируют максимальное значение мощности дозы за время работы и позволяют запомнить 999 результатов измерений с долговременным хранением их в памяти с последующей передачей информации в ПЭВМ. Самоконтроль приборов обеспечивается автоматически как при их включении, так и в процессе работы. Для проведения дистанционных измерений к дозиметрам могут быть подключены выносной пульт управления и внешнее устройство сигнализации (рисунки 4.14 и 4.15).

Особенности дозиметров:

- тканеэквивалентный детектор – сцинтилляционная пластмасса с добавками тяжелых металлов;
- измерение кратковременного от 30 мс (ДКС-АТ1121) и импульсного от 10 нс (ДКС-АТ1123) излучения;
- оценка длительности воздействия излучения;

- большой специализированный цифроаналоговый ЖК-индикатор с подсветкой;
- встроенная светодиодная стабилизация измерительного тракта;
- звуковая и визуальная индикация превышения пороговых уровней;
- возможность дистанционных измерений с помощью выносного пульта;
- возможность стационарного размещения и использования в качестве дозиметра-сигнализатора с дистанционным управлением на расстоянии до 25 м;
- три вида источников питания;
- жесткие условия эксплуатации.



Рисунок 4.14 – Дозиметр с выносным пультом управления



Рисунок 4.15 – Дозиметр с выносным пультом управления и внешним устройством сигнализации

Индивидуальное задание: изучить гамма-дефектоскопы для радиационной дефектоскопии и выбрать для них радиоизотопные источники. Сделать обоснование. Изучить приборы для контроля радиационной обстановки и провести измерение доз ионизирующего излучения.

5 Практическое занятие № 5. Составление технологических карт для гамма-графического контроля сварных соединений

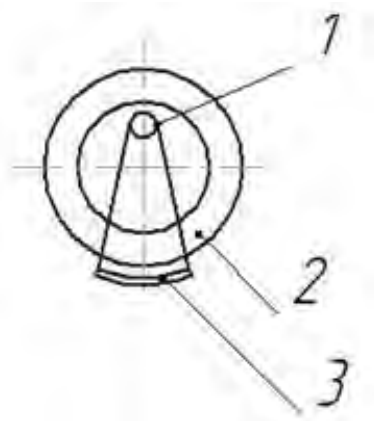
Объект контроля – кольцевое сварное соединение диаметром 426×12 мм. Схема контроля – СТБ 1428–2003, ГОСТ 7512–82 (рисунок 5.1).

Основные характеристики объекта контроля:

- материал – углеродистая сталь;
- номинальная толщина стенки трубы – 12 мм;
- объем контроля – 100 %;
- вид сварки – ручная электродуговая;
- разделка кромок – V-образная.

Нормативные документы:

ГОСТ 7512–82; ГОСТ 23055; ГОСТ 20426; СТБ 1428–2003.



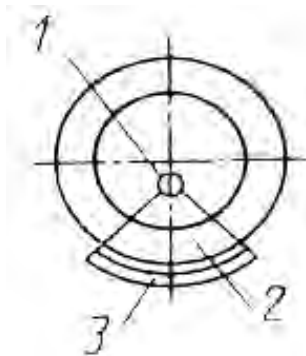
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 5.1 – Схема радиографического контроля

Требования к контролю качества сварного соединения:

- категория сварного соединения – III категория;
- чувствительность РГК в соответствии с СТБ 1428–2003 – $K = 0,3$ мм;
- плотность почернения снимка – не менее 1,5 Б;
- методика РГК – СТБ 1428–2003;
- персонал, занятый РГК, должен пройти обучение и аттестацию и иметь вторую степень подготовки, дающую право выдачи заключения по результатам РГК.

Объект контроля – кольцевое сварное соединение трубы диаметром 820×10 мм. Схема контроля – СТБ 1428–2003, ГОСТ 7512–82 (рисунок 5.2).



1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 5.2 – Схема радиографического контроля

Основные характеристики объекта контроля:

- материал – углеродистая сталь;
- номинальная толщина стенки трубы – 10 мм;
- объем контроля – 25 %;
- вид сварки – ручная электродуговая;
- разделка кромок – V-образная.

Нормативные документы:

ГОСТ 7512–82; ГОСТ 23055; ГОСТ 20426; СТБ 1428–2003.

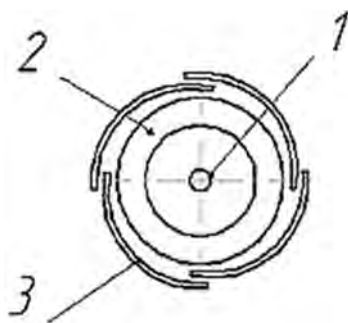
Требования к контролю качества сварного соединения:

- категория сварного соединения – III категория;
- чувствительность РГК в соответствии с СТБ 1428–2003 – $K = 0,3$ мм;
- плотность почернения снимка – не менее 1,5 Б;
- методика РГК – СТБ 1428–2003;
- персонал, занятый РКГ, должен пройти обучение и аттестацию и иметь вторую степень подготовки, дающую право выдачи заключения по результатам РГК.

Пример составления технологической карты

Разработать технологическую карту радиографического контроля кольцевых сварных соединений трубы диаметром 426 × 12 мм.

Объект контроля – кольцевое сварное соединение трубы диаметром 426 × 12 мм. Схема контроля – СТБ 1428–2003, ГОСТ 7512–82 (рисунок 5.3).



1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 5.3 – Схема радиографического контроля

Основные характеристики объекта контроля:

- материал – углеродистая сталь;
- номинальная толщина стенки трубы – 12 мм;
- объем контроля – 100 %;
- вид сварки – ручная электродуговая;
- разделка кромок – V-образная.

Нормативные документы:

ГОСТ 7512–82; ГОСТ 23055; ГОСТ 20426; СТБ 1428–2003.

Требования к контролю качества сварного соединения:

- категория сварного соединения – III категория;
- чувствительность РГК в соответствии с СТБ 1428–2003 – $K = 0,3$ мм;
- плотность почернения снимка – не менее 1,5 Б;
- методика РГК – СТБ 1428–2003;
- персонал, занятый РКГ, должен пройти обучение и аттестацию и иметь вторую степень подготовки, дающую право выдачи заключения по результатам РГК.

Выбор источника излучения. При панорамном контроле кольцевого сварного соединения трубы диаметром 426×12 мм минимальная просвечиваемая толщина (толщина околосшовной зоны) равна 12 мм. Панорамный контроль осуществляется радионуклидными источниками. Для просвечивания стали толщиной 12 мм по ГОСТ 20426 следует использовать радионуклидный источник Иридий-192.

Рассчитаем параметры контроля для источника Иридий-192. При панорамном контроле кольцевых сварных соединений отношение внутреннего диаметра d к внешнему диаметру D контролируемого сварного соединения должно быть не менее 0,8, а максимальный размер фокусного пятна источника излучения Φ , мм, должен быть более

$$\Phi = \frac{KD}{2(D-d)},$$

где K – абсолютная чувствительность контроля.

Первое условие выполнено: $\frac{d}{D} = 0,94 > 0,8$. Из второго условия

$\Phi = \frac{kD}{2(D-d)} = 2,5$ мм следует, что для панорамного контроля фокусное пятно

должно быть не более 2,5 мм. Этому требованию отвечает радионуклидный источник Иридий-192, ГИИД-3, у которого размер активной части $1,5 \times 1,5$ мм.

Особенностью панорамного РГК кольцевых соединений является установка источника излучения на оси трубы в плоскости сварного шва. Для этого используют центраторы, позволяющие устанавливать источник излучения внутри трубы в нужном положении.

Центратор, рассчитанный на РГК труб диаметром от 270 до 1000 мм, входит в комплект гамма-дефектоскопа Гаммадрид 192/120, который можно заряжать различными радионуклидными источниками, включая ГИИД-3.

Выбор радиографической пленки и усиливающих экранов. Для РГК кольцевого сварного соединения труб диаметром 426×12 мм по III категории СТБ 1428–2003 следует использовать радиографическую пленку III класса по отечественной классификации или С5 по классификации EN 584-1. Эти классам соответствуют пленки РТ-1 и Д7.

Расчет геометрии просвечивания. В соответствии со схемой контроля просвечивание выполняется панорамно, поэтому $f \cong 213$ мм.

Выбор эталона чувствительности. Абсолютная чувствительность K при контроле сварного соединения толщиной 12 мм по III категории СТБ 1428–2003 должна быть не более 0,3 мм. В данном случае могут быть использованы как канавочный эталон № 1 ГОСТ 7512–82 с канавками от 0,1 до 0,6 мм, в том числе канавкой глубиной 0,3 мм, так и проволоочный эталон № 2, ГОСТ 7512-82, содержащий проволочку диаметром 0,32 мм.

Расчет времени экспозиции. Для расчета времени экспозиции используем номограмму экспозиций при просвечивании стали излучением радионуклида Иридий-192 на радиографическую пленку Д7. Эта номограмма построена



для фокусного расстояния 500 мм и плотности почернения снимка 1,5 Б.

Экспозиция для просвечивания сварного соединения рассчитывается исходя из его радиационной толщины, которая равна 16 мм (номинальная толщина стенки трубы плюс толщина усиления шва).

Экспозиция, определенная по номограмме, для просвечивания 16 мм стали составляет $\approx 2,5 \text{ Ки} \cdot \text{ч}$ (при фокусном расстоянии 1000 мм).

Для определения экспозиции при фокусном расстоянии 200 мм воспользуемся законом обратных квадратов (время экспозиции обратно пропорционально квадрату фокусного расстояния). В данном случае экспозиция составит около $\sim 410 \text{ Ки} \cdot \text{с}$.

Время экспозиции рассчитывают с учетом реальной активности применяемого радионуклидного источника на момент проведения РГК, используя при этом коэффициенты относительной эквивалентности радиографических пленок.

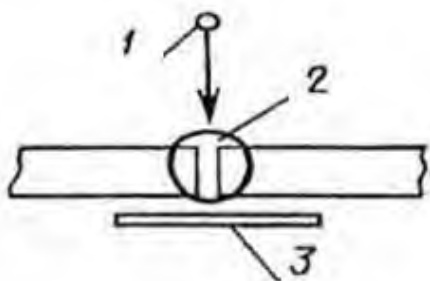
Рассчитаем время экспозиции для радионуклидного источника ГИИД-3 стандартной поставки активностью 10 Ки. В этом случае для радиографической пленки Д7 и фокусного расстояния 213 мм время экспозиции составит 40 с. Для пленки РТ-1 коэффициент экспозиционной активности относительно пленки Д7 равен 0,7. В этом случае время экспозиции для пленки РТ-1 составит $\sim 30 \text{ с}$.

Полученные расчетные значения времени экспозиции являются ориентировочными и требуют корректировки при отработке режимов РГК.

Индивидуальное задание: по заданию преподавателя составить технологическую карту для гамма-графического контроля сварных соединений.

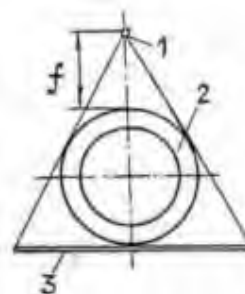
6 Практическое занятие № 6. Составление технологических карт для рентгеновского контроля сварных соединений

Разработать технологические карты радиографического контроля для следующих типовых схем просвечивания сварных соединений (рисунки 6.1–6.5). В таблице 6.1 приведена технологическая карта радиографического контроля.



1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – кассета с пленкой

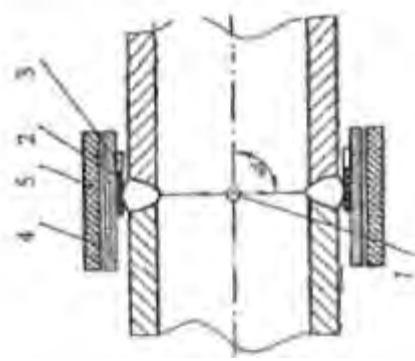

Рисунок 6.1 – Схема радиографического контроля листового сварного соединения

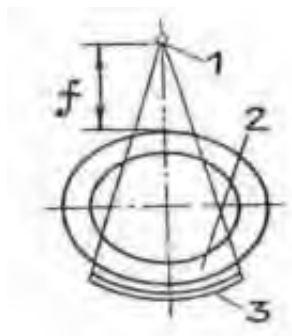


1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 6.2 – Схема радиографического контроля

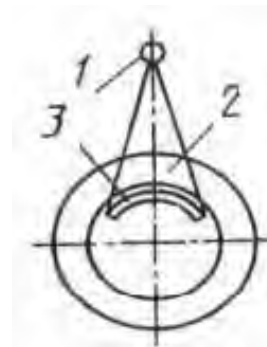
Таблица 6.1 – Технологическая карта радиографического контроля

Схема радиографического контроля	Параметры контроля	Значение
 <p>1 – источник излучения; 2 – эталон чувствительности; 3 – маркировочные знаки; 4 – кассета с радиографической пленкой; 5 – защитный свинцовый экран; 6 – контролируемый участок</p>	<p>Наружный диаметр сварного соединения, мм</p> <p>Номинальная толщина, мм</p> <p>Материал</p> <p>Вид и способ сварки</p> <p>Источник излучения</p> <p>Размер активной части (фокусное пятно), мм</p> <p>Тип радиографической пленки</p> <p>Толщина свинцового экрана, мм</p> <p>Размер кассет (длина × ширина), мм</p> <p>Время экспозиции, с</p> <p>Требуемая чувствительность снимков, мм</p> <p>Эталон чувствительности</p> <p>Расстояние от источника до кассет</p> <p>Количество экспозиций</p> <p>Объем контроля</p> <p>Маркировочные знаки</p> <p>Нормативный документ</p>	<p>426</p> <p>12</p> <p>Углеродистая сталь</p> <p>Ручная электродуговая</p> <p>Радионуклид Ir-192, ГИИД-3</p> <p>1,5 мм</p> <p>РТ-1, Д7</p> <p>0,09</p> <p>400 × 100</p> <p>40 (Д7), 30 (РТ-1)</p> <p>0,3</p> <p>№ 1 (ГОСТ 7512–82) канавочный</p> <p>213 мм</p> <p>1</p> <p>100 %</p> <p>№ 2, № 6</p> <p>СТБ 1428–2003, III категория</p>
<p>Схема зарядки кассет</p> 	<p>Браковочный признак: сварные соединения следует браковать при наличии:</p> <ul style="list-style-type: none"> трещин, прижогов, незаваренных кратеров; непроваров по разделке сварного шва; непроваров в конце шва и между валиками; <p>если размеры несплошностей превышает установленные для III категории СТБ 1428–2003</p>	



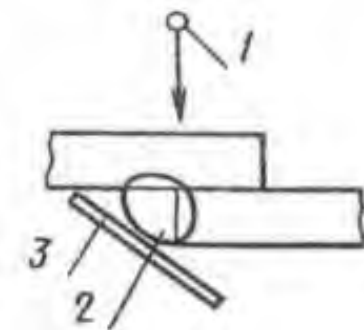
1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 6.3 – Схема радиографического контроля



1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 6.4 – Схема радиографического контроля



1 – источник излучения; 2 – объект контроля; 3 – кассета с пленкой

Рисунок 6.5 – Схема радиографического контроля

Индивидуальное задание: по указанию преподавателя составить технологическую карту для рентгеновского контроля сварных соединений.

7 Практическое занятие № 7. Изучение радиографических снимков сварных соединений с типичными дефектами сварки

1 Расшифровка снимков. Просмотр и расшифровку радиографических снимков следует производить после полного высыхания в затемненном помещении с применением специальных осветителей-негатоскопов. Рекомендуется использовать негатоскопы с регулируемой яркостью и размерами освещенного поля. Размеры освещенного поля должны регулироваться при помощи подвижных шторок или экранов-масок в таких пределах, чтобы освещенное поле полностью перекрывалось снимком.

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять следующим требованиям:

– на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, повреждений эмульсионного слоя и других дефектов, затрудняющих их расшифровку;

– на снимках должны быть видны изображения ограничительных меток, маркировочных знаков и эталонов чувствительности.

2 Условная запись дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля. При расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля должны использоваться условные обозначения дефектов, приведенные в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Условные обозначения дефектов

Вид, обозначение дефекта	Условное обозначение		Характер дефекта	Цифровое обозначение дефекта по ГОСТ 30242	Условное обозначение	
	Русский алфавит	Латинский алфавит			Русский алфавит	Латинский алфавит
Трещины	Т	Е	Трещина вдоль шва	101	Тв	Еа
			Трещина поперек шва	102	Тп	Еб
			Трещина азветвленная	106	Тр	Ес
Непровары	Н	D	Непровар в корне	4013	Нк	Da
			Непровар между валиками	4012	Нв	Db
			Непровар по боковой стороне	4013	Нр	Dc
Поры	П	А	Отдельная пора	2011	П	Aa
			Цепочка	2014	ЦП	Ab
			Скопление	2013	СП	Ac
Оксидные включения	О	О		303		
Вольфрамовые включения	В	С	Отдельное включение	3041	В	Ca
			Цепочка		ЦВ	Cb
			Скопление		СВ	Cc
Вогнутость корня шва	Вкш	Fa		515		
Превышение проплава	Ппр	Fb		504		
Смещение кромок	Скр	Fd		507		

3 Примеры сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля. Примеры сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов радиографического контроля представлены далее.

3.1 На снимке обнаружены изображения пяти пор диаметром 3 мм каждая,

цепочки пор длиной 30 мм и максимальными длиной и шириной пор в цепочке 5 и 3 мм и шлакового включения длиной 15 мм и шириной 2 мм. Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 36 мм.

Запись в документации: 5ПЗ; ЦЗОП 5×3; Ш 15×2; Σ36.

3.2 На снимке обнаружены изображения двух скоплений пор (длина каждого скопления 10 мм, максимальный диаметр пор 0,5 мм) и скопление шлаковых включений (длина скопления 8 мм, максимальная длина и ширина включений 2 и 1 мм). Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 18 мм.

Запись в документации: 2С10ПО,5; С8Ш 2×1; Σ18.

3.3 На снимке выявлены изображения пяти пор средним диаметром 3 мм и высотой 20 % каждая, цепочки пор длиной 30 мм, максимальная длина пор в цепочке 2 мм, ширина 1 мм и высота 15 %, шлакового включения длиной 8 мм, шириной 3 мм и высотой 10 % толщины свариваемых элементов сварного соединения.

Запись в документации: 5П 3 – 20 %; ЦЗОП 2×1 – 15 %; Ш 8×3 – 10 %.

3.4 На снимке выявлены изображения скопления пор (длина скопления 15 мм, максимальный диаметр пор 2,5 мм и высота 20 %), еще одного скопления пор (длина скопления 25 мм, максимальный диаметр пор 2,5 мм и высота 20 %), скопления шлаковых включений (длина скопления 20 мм, максимальная длина включений 5 мм, ширина 2 мм и высота 8 %).

Запись в документации: С15П 2,5 – 20 %; С25П 2,5 – 20 %; С20Ш 5 × 2 – 8 %.

3.5 На снимке выявлены изображения двух непроваров в корне шва длиной 25 мм и высотой 15 % каждый и трещины вдоль шва длиной 50 мм.

Запись в документации: 2Нк 25 – 15 %; Тв50.



Список литературы

- 1 **ГН 2.6.1.8-127–2000.** Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). – Введ. 2000-04-19. – Минск : Изд-во стандартов, 2000. – 128 с.
- 2 **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.
- 3 **СП 2.6.1.8-9–2004.** Обеспечение радиационной безопасности при радионуклидной дефектоскопии. – Взамен СП № 1171-74; введ. 2005-01-03. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 24 с.
- 4 **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.
- 5 **Румянцев, С. В.** Радиационная дефектоскопия / С. В. Румянцев. – Москва: Атомиздат, 1974. – 512 с.
- 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 **Овчинников, В. В.** Дефекты сварных соединений: учебное пособие / В. В. Овчинников. – 5-е изд., стер. – Москва: Академия, 2014. – 64 с.

