

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра приборостроения

Допущены

к проведению занятий в 2016-2017 уч.году
Заведующий кафедрой
Профессор А.И. Потапов
«01» сентября 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
для проведения практических занятий по учебной дисциплине

«ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ»

Направление подготовки: 12.03.01 «Приборостроение»

Специализация (профиль): Приборы и методы контроля качества и
диагностики»

Разработал: доцент Морокина Г.С.

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры
Протокол № 1 от 7 сентября 2016 г.*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы:

1. Изучение физических свойств излучений. Расчет основных параметров излучения.
2. Дать описание установки контроля по выбору
3. Провести расчеты.

Начинается работа с введения, заканчивается заключением списком литературы. Работа должна быть выполнена любым шрифтом, но **размером не менее 14**. Для получения отличной оценки необходимо наличие нового материала в работе.

Методические указания к выполнению практического занятия №1.

1. Мощность поглощенной дозы и поглощенная доза ионизирующего излучения

В связи с тем, что любой эффект, возникающий в облученном веществе, обусловлен не падающей, а поглощенной энергией излучения, основной количественной характеристикой является поглощенная доза излучения.

Поглощенная доза ионизирующего излучения D (или сокращенно ее иногда называют «доза излучения») определяется как отношение средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (3.9.)$$

В системе СИ поглощенная доза измеряется в греях [Гр]: один грей соответствует такой дозе ионизирующего излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг было передано 1 Дж энергии.

Для этой же характеристики излучения часто используется внесистемная единица — [рад]. Ее название происходит от английского термина «Radiation Absorbed Dose» — «поглощенная доза излучения». Она определяется как: 1 рад = 100 эрг/1 г.

Соотношение между названными единицами поглощенной дозы следующее: 1 Гр = 100 рад.

Степень воздействия ионизирующего излучения на облучаемый объект зависит не только от полученной дозы, но и от времени, за которое эта доза была получена. В радиационных расчетах важно также знать за какое время объект может получить ту или иную заранее заданную дозу.

Поэтому важной характеристикой ионизирующего излучения является мощность поглощенной дозы ионизирующего излучения D' , которая определяется как отношение приращения поглощенной дозы dD за интервал времени dt к этому интервалу времени:

$$D' = \frac{dD}{dt} \quad (3.10)$$

Другими словами, мощность поглощенной дозы — это скорость накопления дозы.

2. Материалы для защиты от гамма и рентгеновского излучения.

Физические процессы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом приводят к тому, что любой объект, который подвергается просвечиванию, сам становится источником рассеянного и флуоресцентного рентгеновского излучения.

Конструктивно досмотровые камеры рентгеновских аппаратов, внутри которых непосредственно производится рентгеновское просвечивание, выполняются так, чтобы исключить (или существенно ослабить) выход рентгеновского излучения наружу. В качестве материалов для защиты от излучения используются свинец, специальное свинцовое стекло, свинцовая резина, а для защиты помещений (как в случае стационарных и перемещаемых досмотровых комплексов) обычные строительные материалы и строительные материалы, дополнительно содержащие барит (так называют $BaSO_4$).

Защитные свойства различных материалов оцениваются их свинцовым эквивалентом. Свинцовый эквивалент защитных материалов зависит от эффективной энергии излучения. Поэтому, для расчета защиты необходимо, прежде всего, учитывать параметры используемого рентгеновского пучка. Например, на рабочих энергиях аппаратуры досмотровых комплексов свинцовая защита уже не столь эффективна, как для рентгеновских аппаратов. Поэтому здесь для защиты применяются различные марки бетона.

Таблица 3.4.1.

Свинцовые эквиваленты различных материалов

Материал (состав, массовые части)	Плотность, г/см ²	Толщина свинца, мм	Эквивалентная толщина материала (для различных напряжений на трубке), мм		
			100 кВ	200 кВ	400 кВ
Железо	7,9	1	6	13	11
		10	-	108	45
		15	-	-	55
Баритобетон (2 части кускового BaSO ₄ +2 части песка+1 часть цемента)	2,7	1	18	25	18
		10	-	250	130
		15	-	-	135
Бетон (2 части гравия + 2 части песка+1 часть цемента)	2,2	1	85	85	50
		10	-	670	220
		15	-	-	300
Кирпич желтый	1,6	1	130	130	90
		15	-	740	340
		20	-	-	450

Специальные свинцовые стекла (используемые в флюороскопических просвечиваемых аппаратах, а также для защиты телевизионных камер от «засвечивания» рентгеновским излучением) представляют собой стекла, в которые при их плавке были введены свинцово-содержащие соли различных кислот.

Таблица 3.4.2.

Свинцовые эквиваленты специальных стекол

Толщина стекла, мм	Свинцовые эквиваленты при напряжении 180...200 кВ, мм, не менее
10	2,5
15	4,0
20	5,0
25	6,5
50	13,5

Рентгенозащитная резина применяется в сканирующих рентгеновских аппаратах для изготовления раздвижных шторок досмотровой камеры, для изготовления спецодежды, предназначенной для индивидуальной защиты и др. (см. таблицы 4 и 5).

Таблица 3.4.3.

Размеры рентгенозащитной резины

	Пластины прессованные	Пластины рулонные
Длина, мм	100 ± 5,0	—
Ширина, мм	600 ± 3,0	(60...750) ± 3,0
Толщина, мм	3,5 ± 0,3	(0,8...1,5) ± 0,1

Таблица 3.4.4.

Свинцовые эквиваленты изделий из рентгенозащитной резины

Изделие	Его свинцовый эквивалент, мм
Юбки резиновые рентгенозащитные	не менее 0,4
Фартуки резиновые рентгенозащитные	0,3
Пластина толщиной 1...1,2 мм	0,3
Пластина толщиной 3,2...4,0 мм	1,0

При проектировании защитных экранов из свинцово-содержащих материалов необходимо учитывать тот факт, что при энергии излучения более 100 кэВ вследствие фотоэффекта происходит эмиссия вторичного характеристического излучения свинца с энергией около 88 кэВ. Поэтому для излучений выше 100 кэВ рекомендуется использовать комбинированные экраны из сплавов свинца с элементами со средним атомным номером (Sn, Sb, Ba). Характеристическое излучение эффективно поглощается подбором декоративных красящих веществ, покрывающих наружную сторону защитной конструкции моноблоков, излучателей, а также переносных и передвижных защитных приспособлений. Как правило, защитное покрытие состоит из последовательно нанесенных слоев окислов свинца, железа и кальция в следующем соотношении: 70...90 % PbO; 5...25 % Fe₂O₃; 5...10 % CaCO₃.

При проектировании комбинированного покрытия материалы с большим атомным номером следует располагать первыми по ходу пучка рентгеновского излучения.

Рассчитать основные физические параметры рентгеновского излучения по таблице 5.

Таблица 3.4.5.

Значения параметров	Вариант										Цифра шифра студента
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Послед. цифра
U, кВ	40	60	80	100	120	140	160	180	200	240	Послед. цифра
Z	37	62	42	67	34	87	88	56	45	93	Послед. цифра
Название элемента	Al	Cu	Mn	Co	U	Pb	Th	Ag	Ir	Wo	Послед. цифра

Отчет. Указать параметры рентгеновского излучения и выбрать рентгеновскую трубку или установку досмотрового контроля, работающую с данными параметрами.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2.

РАСЧЕТ ЦВЕТОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы:

1. Изучение влияния интенсивности рентгеновского излучения на построение изображения на экране монитора в зависимости от атомного номера, просвечиваемого вещества.
2. Провести анализ устройств отображения изображения в досмотровых рентгеновских установках, применяемых для контроля багажа.
3. Провести расчеты эффективного атомного номера для веществ.
4. Дать статистический анализ процесса ионизации в рентгеновской трубке в зависимости от величины вакуума.

Таблица 3.4.6

Значения параметров	Вариант										Цифра шифра
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Последняя
Z	54	78	45	78	33	66	88	54	101	104	последняя
Название элемента	Al	Cu	Mn	Co	U	Pb	Th	Ag	Ir	Wo	последняя

Методические указания к выполнению практического занятия № 2

Установлено, что разные материалы в различной степени поглощают рентгеновское излучение разных длин волн. Очевидно, что вещества, из которых состоят реальные предметы, содержат в себе атомы различных химических элементов:

$$Z_{\text{эфф}} = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (3.11)$$

где m_i — массовые доли химических элементов, входящих в вещество, Z_i — их атомный номер.

Для оценки эффективного атомного номера нужно иметь численную оценку интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего сквозь объект. Наиболее удобно использовать сканирующие системы с веерообразным пучком рентгеновских лучей. Причем в них применяют специальные «сдвоенные» линейки детекторов. Дело в том, что различие в форме спектров излучения, прошедшего через различные вещества, наблюдается, в основном, в той части, которая отвечает большим длинам волн.

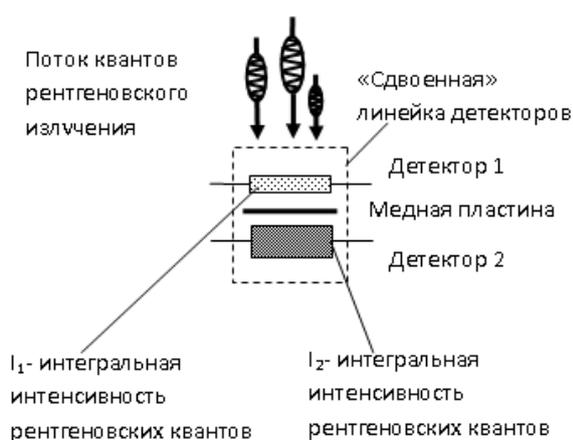


Рис.3.4.1. Регистрация интегральной интенсивности рентгеновских квантов различных длин волн детекторами

Разница их показаний будет чувствительна к форме спектра падающего на «сдвоенный» детектор излучения. Построение цветной рентгеновской теневой картины проводится в соответствии со схемой, показанной на рис.3.4.1. Сначала производится считывание показателей детекторов обеих линеек до того момента, когда в зону рентгеновского пучка войдет досматриваемый объект. Полученные калибровочные значения интенсивностей I_{1K} и I_{2K} будут соответствовать исходному спектру рентгеновской трубки.

Для большинства аппаратов, наиболее распространенных в практике отечественной таможенной службы, принято, что в оранжевых тонах представляются органические материалы с $Z_{\text{эфф}} < 10$, в зеленых — материалы с $Z_{\text{эфф}}$ от 10 до 18, в синих — неорганические материалы с $Z_{\text{эфф}} > 18$. Непрозрачные предметы на экране будут выглядеть черными. В отчете указать цветное изображение для данных выше веществ.

Отчет: в отчете представить вычисления и рентгенограммы соответствующих изображений.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

РАСЧЕТ СЛОЕВ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ

Цель работы:

1. Изучение зависимости цвета взрывчатых веществ от эффективного атомного номера при построении изображения на экране монитора.
2. Провести анализ составов взрывчатых веществ и изображения на досмотровых рентгеновских установках, применяемых для контроля различных материалов.
3. Провести расчеты эффективного атомного номера для взрывчатых веществ.

Цель работы:

1. Изучение защиты от рентгеновского излучения, рассчитать слои половинного ослабления излучения.
2. Провести анализ досмотровых рентгеновских установок на соответствие радиационных норм.
3. Провести расчеты слоя половинного ослабления для эффективного атомного номера для отдельных веществ.

Выбираем из таблицы значения физических величин, соответствующие номеру в зачетной книжке (последняя цифра). Рассчитать количество слоев половинного ослабления для свинца при толщине контролируемого объекта (взять из таблицы 3.14) при значении коэффициента ослабления ($\mu_{\text{СВИНЕЦ}} = 0,798 \text{ см}^{-1}$) для некоторой длины волны излучения λ ;

Таблица 3.4.7.

Значения параметров	Вариант										Цифра шифра студента
	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Название элемента	Pb(свинец)										
Толщина объекта (см)	3.24	4.21	5.64	8.97	1.92	9.23	7.23	100	56.1	873	Четыре последних цифры

Пример: рассчитаем слои половинного ослабления для свинца:

$$\Delta_{1/2} = 0,697/\mu, \quad n = 1 \quad (3.14)$$

где μ - коэффициент ослабления для некой длины волны излучения λ ;

$$\mu_{\text{СВИНЕЦ}} = 0,798 \text{ см}^{-1}$$

$$\Delta_{1/2(\text{СВИНЕЦ})} = 0,697/0,798 = 0,873 \text{ см}$$

Количество слоев половинного ослабления определяется по формуле: $n = \Delta/\Delta_{1/2}$

где n - количество слоёв половинного ослабления ионизирующего излучения для свинца.

Ответ: количество слоёв половинного ослабления ионизирующего излучения для свинца для толщин ... составляет соответственно

ОБРАЗЕЦ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Задание к практической работе. Расчет количества слоев половинного ослабления для свинца при заданной толщине контролируемого объекта.

Требуется рассчитать количество слоев половинного ослабления для свинца при заданной толщине контролируемого объекта (взять из таблицы 3.4.8 четыре значения толщины, соответствующие четырем последним цифрам шифра студента) при значении коэффициента ослабления $\mu_{\text{Pb}} = 0,798 \text{ см}^{-1}$ для некоторой длины волны излучения λ .

Таблица 3.4.8.

Параметры	Цифра шифра студента										Цифра шифра студента
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
	Название элемента – Свинец (Pb)										
Толщина объекта d_i (см)	3,24	4,21	5,64	8,97	1,92	9,23	7,23	100	56,1	873	Последняя цифра

Исходные данные для решения задачи:

Дано:

1. Толщина объекта $d_1 = 873$ (см).
2. Толщина объекта $d_2 = 1,92$ (см).
3. Толщина объекта $d_3 = 4,21$ (см).
4. Толщина объекта $d_4 = 5,64$ (см) – т.к. две цифры в шифре студента – одинаковые.
5. Коэффициент ослабления для некоторой λ длины волны излучения $\mu_{\text{Pb}} = 0,798 \text{ см}^{-1}$.

Требуется рассчитать количество слоев половинного ослабления n_1, n_2, n_3, n_4 для свинца при заданных значениях толщины контролируемого объекта d_1, d_2, d_3, d_4 .

Решение:

При просвечивании объектов контрастность изображения обуславливается разницей в поглощении лучей отдельными деталями объекта. Рентгеновские лучи поглощаются в той или иной степени всеми веществами, через которые они проходят. Доля энергии лучей, поглощенной в веществе, зависит от толщины поглощающего слоя, природы вещества и длины волны лучей. Для количественного описания процесса поглощения вводят понятие линейного коэффициента ослабления рентгеновских лучей.

Интенсивность рентгеновского пучка после прохождения слоя вещества толщиной x уменьшается до величины I :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.15)$$

где I_0 - интенсивность исходного пучка; μ - линейный коэффициент ослабления.

Иными словами μ характеризует относительное уменьшение интенсивности пучка на пути в 1 см в данном веществе. Из приведенной выше формулы нетрудно подсчитать толщину слоя вещества D , в котором интенсивность пучка уменьшается в два раза (так называемый слой половинного ослабления):

$$D = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} \quad (3.16)$$

Если слой половинного ослабления известен, например, определен экспериментально, то с помощью этого соотношения может быть вычислен коэффициент μ . Количество слоев

$$n = \frac{d}{D}$$

половинного ослабления n определяется по формуле: (3.17)

1. Толщина объекта $d_1 = 873$ (см). Слой половинного ослабления $D = 0,8684$ (см):

$$D = \frac{\ln 2}{\mu_{Pb}} = \frac{0,693}{0,798} = 0,8684 \text{ (см)} \quad (3.18)$$

Количество слоев половинного ослабления n_1 : $n_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{873}{0,8684} = 1005,3$

2. Толщина объекта $d_2 = 1,92$ (см). Слой половинного ослабления $D = 0,8684$ (см).

Количество слоев половинного ослабления n_2 : $n_2 = \frac{d_2}{D} = \frac{1,92}{0,8684} = 2,21$

3. Толщина объекта $d_3 = 4,21$ (см). Слой половинного ослабления $D = 0,8684$ (см).

Количество слоев половинного ослабления n_3 : $n_3 = \frac{d_3}{D} = \frac{4,21}{0,8684} = 4,85$

4. Толщина объекта $d_4 = 5,64$ (см). Слой половинного ослабления $D = 0,8684$ (см).

Количество слоев половинного ослабления n_4 : $n_4 = \frac{d_4}{D} = \frac{5,64}{0,8684} = 6,49$

Ответ: Для толщины объекта $d_1 = 873$ (см) количество слоев половинного ослабления $n_1 = 1005,3$, для толщины объекта $d_2 = 1,92$ (см) количество слоев половинного ослабления $n_2 = 2,21$, для толщины объекта $d_3 = 4,21$ (см) количество слоев половинного ослабления $n_3 = 4,85$, для толщины объекта $d_4 = 5,64$ (см) количество слоев половинного ослабления $n_4 = 6,49$.