

**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.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

для выполнения курсовой работы (проекта) по учебной дисциплине

**«ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ»**

**Направление подготовки:** 27.03.01 «Стандартизация и метрология»

**Специализация (профиль):** «Метрология и метрологическое обеспечение»

**Разработал:** *доцент Морокина Г.С.*

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры*

*Протокол № 1 от 07 сентября 2016 г.*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

**2016**

## **ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **«ОПП» И МЕТОДИЧЕСКИЕ**

### **УКАЗАНИЯ К ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ**

В процессе изучения дисциплины “**Основы проектирования продукции**” студент должен выполнить курсовую работу, включающую две задачи. При подготовке к выполнению контрольной работы необходимо ознакомиться с соответствующими разделами конспекта лекций и рекомендованной учебной литературой. Отчет должен быть написан шрифтом не менее 14, сшит в папке.

### **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ № 1.**

#### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Цель работы:** изучение основ радиационных характеристик ионизирующих излучений; дозовых факторов, влияющих на защитные свойства материалов; определение дефектных мест в цельных конструкциях.

Радиационный вид неразрушающего контроля основан на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия его с материалом. На производстве, связанном с источниками ионизирующего излучения, часто необходимо осуществлять защиту от рентгеновского и гамма излучения. Выбирая необходимый энергетический диапазон излучения, можно производить контроль объектов разных габаритных размеров, выполненных из различных веществ и материалов. По характеру взаимодействия с материалом основной применяемый способ радиационного контроля – метод прохождения. Он основан на разном поглощении ионизирующего излучения составными частями объекта, отличающегося атомным номером, в небольшой степени, толщиной исследуемого объекта.

#### **1. Задание на курсовой проект**

Так как для оценки дефектной области исследуемого объекта (неоднородность материала, внутренние пустоты, трещины, разрывы, инородные части и предметы и т.д.), то основной задачей нашего курсового проекта будет использование радиационного метода неразрушающего контроля.

#### **В процессе выполнения работы необходимо:**

- рассмотреть процесс прохождения ионизирующих лучей через исследуемый объект;

- изучить последовательность вывода выражения для определения объема дефекта и вывести окончательное расчетное выражение;

- провести анализ зависимости объема  $V_a$  дефектной области, которые можно выявить, при вариации размеров коллиматора и скорости перемещения  $v$  контролируемого объекта относительно коллиматора.

В работе требуется установить зависимости:  $V_a = f(v)$ , ( $b = const$ );  $V_a = f(d)$ ,  $V_a = f(b)$ , ( $v = const$ ). Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблицах 1, 2.

**Таблица № 1.1.**

Номер варианта (предпоследняя цифра шифра)	$b$ , мм	$v$ , мм/с				
		115	120	125	130	135
0	2	115	120	125	130	135
1	2,5	115	120	125	130	135
2	3	115	120	125	130	135
3	3,5	115	120	125	130	135
4	4	115	120	125	130	135
5	4,5	115	120	125	130	135
6	5	115	120	125	130	135
7	5,5	115	120	125	130	135
8	6	115	120	125	130	135
9	6,5	115	120	125	130	135

**Таблица № 1.2.**

Номер варианта (предпоследняя цифра шифра)	$v$ , мм/с	$b$ , мм

0	105	3	3,5	4	4,5	5
1	110	3	3,5	4	4,5	5
2	115	3	3,5	4	4,5	5
3	120	3	3,5	4	4,5	5
4	125	3	3,5	4	4,5	5
5	130	3	3,5	4	4,5	5
6	135	3	3,5	4	4,5	5
7	140	3	3,5	4	4,5	5
8	145	3	3,5	4	4,5	5
9	150	3	3,5	4	4,5	5

Методы радиационного контроля изложены в указанных ниже работах.

### **Прохождения рентгеновских лучей через объект контроля**

Радиометрия основана на измерении одного или нескольких параметров ионизирующего излучения после его взаимодействия с объектом контроля. В основном при радиометрическом контроле используют радиоактивные источники, рентгеновские аппараты и бетатроны. В качестве детекторов применяют ионизационные камеры, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы. Радиометрический контроль может быть основан на измерении параметров излучения, прошедшего объект контроля (см. рис. 1) и рассеянного.

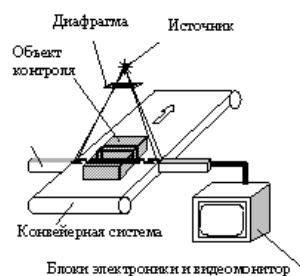


Рис. 1. Схема радиометрического контроля: источник, диафрагма, контролируемый объект в направлении перемещения, сцинтилляционные кристаллы с ФЗУ, блок электроники.

### **Схема прохождения излучения через дефектную область**

При контроле свойств защитного материала на целостность, однородность и т.д. большое значение играет размер дефектной области. Большие дефекты пропускают пучок лучей, а это, в свою очередь, приводит к повышенному рассеянному излучению за объектом контроля, что может привести к переоблучению персонала или населения, в зависимости от целей использования рентгеновского аппарата. Если физические свойства дефекта (т.е. эффективный атомный номер) отличаются от физических свойств материала, то такое дефектное место будет надёжно выявляться (см. рис. 3).

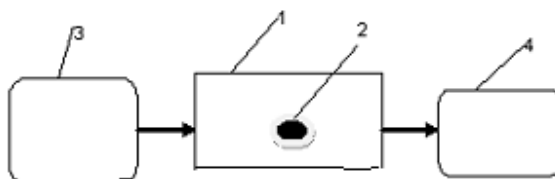


Рис. 3. Схема проведения контроля

1 – свинцовое защитное средство или средство из обедненного урана, редкоземельных элементов, 2 – дефектная область, 3 – излучатель, 4 – приемник

Таким образом, в данной работе определяется дефектное место в защитном изделии. Для количественного описания процесса поглощения вводят понятие линейного коэффициента ослабления рентгеновских лучей. Интенсивность рентгеновского пучка после прохождения слоя вещества толщиной  $x$  уменьшается до величины  $I$ :

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (1)$$

где:  $I_0$  – интенсивность исходного пучка;  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления. Если излучение проходит через дефектную область с коэффициентом линейного поглощения  $\mu_a$  и размером  $x$  в направлении распространения излучения, интенсивность излучения будет равна:

$$I_a = I_0 \cdot (R_0/R)^2 e^{-\mu \cdot (h-\varepsilon) - \mu_a \cdot \varepsilon}, \quad (2)$$

где:  $I_0$  – интенсивность излучения, создаваемая источником;  $R_0$  – фокусное расстояние;  $R$  – расстояние от фокусного пятна до дефекта;  $h$  – толщина контролируемого объекта;  $\varepsilon$  – толщина дефекта.

Рассмотрим связь между входными параметрами схем регистрации и параметрами объекта контроля. Пусть источник создаёт на входе объекта контроля плотность потока фотонов  $\varphi_{no}$ , который перпендикулярен плоскости объекта контроля. Радиационный дефектоскоп имеет коллиматор с

прямоугольным окном размерами  $d$  (высота) и  $b$  (ширина). Объект контроля, выполненный из материала с коэффициентом  $\mu$  линейного ослабления излучения источника и имеющий внутреннюю полость в виде куба размером  $\varepsilon \ll h$ , где  $h$  – толщина объекта контроля, перемещается со скоростью  $v$  относительно коллиматора. Тогда средняя скорость счёта регистрируемых импульсов:

$$v = \begin{cases} v_0 \cdot [(\mu \cdot \varepsilon^3)/(d \cdot b) + 1] & \text{при } 0 \leq t \leq d/v, \\ v_0 & \text{при других } t, \end{cases}$$

где:  $v_0$  – эффективное число статистических импульсов при сканировании участков без дефекта объекта контроля при условии, что вклад рассеянного объекта контроля излучения в сигнал сведён к минимуму;  $Q_D$  – обобщённый квантовый выход детектирующей системы.

$$v_0 = Q_D \cdot \varphi_{no} \cdot A_k. \quad (4)$$

При поступлении нормированных импульсов с частотой  $v$  на интегрирующую ячейку сигнал на ней напряжение  $u(t)$  описывается соотношением:

$$u(t) = \begin{cases} u_0 \cdot \{[(\mu \cdot \varepsilon^3)/(d \cdot b)] \cdot (1 - e^{-t/\tau}) + 1\} & \text{при } 0 \leq t \leq d/v, \\ u_0 \cdot \{[(\mu \cdot \varepsilon^3)/(d \cdot b)] \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \cdot e^{-(t-d/\tau)/\tau} + 1\} & \text{при } t > d/v. \end{cases} \quad (5)$$

Пусть  $\rho_N$  – случайные величины с нулевым средним, т. к. аномалии вносят незначительные возмущения в регистрируемый поток.

$$\rho_N = N - N_0 / N_0, \rho_u = (u - u_0) / u_0. \quad (6)$$

Если  $N_0$  или  $u_0$  – средние величины на участках, не содержащих аномалий, то  $\sigma(\rho_N) = \delta_N$ , а  $\sigma(\rho_u) = \delta_u$ . В дальнейшем предполагается, что аппаратная погрешность не превышает статистическую и  $\sigma_p = \sigma_a$ .

Для счётных схем регистрации при времени накопления сигнала  $t = d/v$  отношение сигнал/шум:

$$q = \Delta v / \sigma_N = \rho_N / \sigma(\rho_N) = \mu \cdot V_a \cdot k \sqrt{Q_D \cdot \varphi_{no} \cdot A_k} / \sqrt{\Pi}, \quad (7)$$

где:  $V_a = \varepsilon^3$  – объём дефекта;  $\Pi = b \cdot v$  – производительность контроля по площади;  $k = 0,5 \dots 1$  – коэффициент, учитывающий, что в момент окончания и начала отсчёта в канал регистрации поступает информация не от всего дефекта.

Критерием выявляемости дефекта считается условие  $q \geq K$  (где, например,  $K = 3$ ), тогда (7) с учетом (4):

$$K = \mu \cdot V_a \cdot k \sqrt{\frac{v_0}{A_k}} / \sqrt{\Pi} \quad (8)$$

где:  $A_k = d \cdot b$  – площадь коллиматора.

Преобразуем (8) для токовых схем регистрации при  $\tau = 0,8 d/v$  и  $t = d/v$ :

$$V_a \geq \frac{K}{0,9 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{A_k}{v_0}} \cdot \sqrt{\Pi}, \quad (9)$$

Оценим объем  $V_a$  дефекта, которые можно выявить, в алюминиевом объекте контроля с помощью радиометрического дефектоскопа, работающего в токовом режиме при помощи дозы излучения в зоне преобразователя 400 мкР/с, его квантовой эффективности  $Q_D = 0,8$ , энергии рентгеновских фотонов  $E = 100$  кэВ, размере коллиматора  $b$ , скорости контроля  $v$ .

Для фотонов с энергией  $E = 100$  кэВ для ОК из алюминия  $\mu = 0,5 \text{ см}^{-1}$ , а мощности дозы излучения 400 мкР/с соответствует  $\varphi_n = 4 \cdot 10^4$  фотонов/(мм<sup>2</sup>·с).

В работе требуется установить зависимости:  $V_a = f(v)$ , ( $b = const$ );  $V_a = f(b)$ , ( $v = const$ ). Исходные данные для проведения расчётов приведены в таблицах 3, 4.

**Таблица № 1.3.**

Ширина коллиматора $b$ , мм	Скорость перемещения ОК относительно коллиматора $v$ , мм/с				
	4	115	120	125	130

**Таблица № 1.4.**

Скорость перемещения ОК относительно коллиматора	Ширина коллиматора $b$ , мм
--	--------------------------------

<b><math>v</math>, мм/с</b>					
125	3	3,5	4	4,5	5

Произведём расчёт для первого случая, когда ширина коллиматора  $b$  неизменна, скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$  варьируется. Производительность контроля по площади:

$$P = b[\text{мм}] \cdot v[\text{мм/с}] = [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_1 = b \cdot v_1 = 4 \cdot 115 = 460 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_2 = b \cdot v_2 = 4 \cdot 120 = 480 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_3 = b \cdot v_3 = 4 \cdot 125 = 500 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_4 = b \cdot v_4 = 4 \cdot 130 = 520 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_5 = b \cdot v_5 = 4 \cdot 115 = 540 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

Во втором случае неизменна скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$ , а ширина коллиматора  $b$  варьируется.

Производительность контроля по площади:

$$P_1 = b_1 \cdot v = 3 \cdot 125 = 375 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_2 = b_2 \cdot v = 3,5 \cdot 125 = 437,5 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_3 = b_3 \cdot v = 4 \cdot 125 = 500 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_4 = b_4 \cdot v = 4,5 \cdot 125 = 562,5 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

$$P_5 = b_5 \cdot v = 5 \cdot 125 = 625 [\text{мм}^2/\text{с}].$$

Преобразуем формулу (3.8) и выведем расчётную формулу для определения объёма дефекта  $V_a$ , которые можно выявить в алюминиевом объекте контроля с помощью радиометрического прибора, работающего в токовом режиме:

$$V_a \geq \frac{K}{0,9 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{A_k}{v_0}} \cdot \sqrt{P},$$

$$V_a \geq \frac{K}{0,9 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{1}{Q_D \cdot \Phi_n}} \cdot \sqrt{P} \quad (10)$$



$$V_a \geq \frac{30}{0,9 \cdot 0,5} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,8 \cdot 4 \cdot 10^4}} \cdot \sqrt{\Pi} = 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\Pi}, \quad (11)$$

Оценим объём дефекта  $V_a$  для первого случая, когда ширина коллиматора  $b$  неизменна, а скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$  варьируется.

$$V_{a1} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{460} \approx 7,9 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a2} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{480} = 8,1 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a3} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{500} = 8,3 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a4} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{520} = 8,4 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a5} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{540} = 8,6 [\text{мм}^3]$$

Построим график зависимости  $V_a = f(v)$ , ( $b = \text{const}$ ) (см. рис. 4).

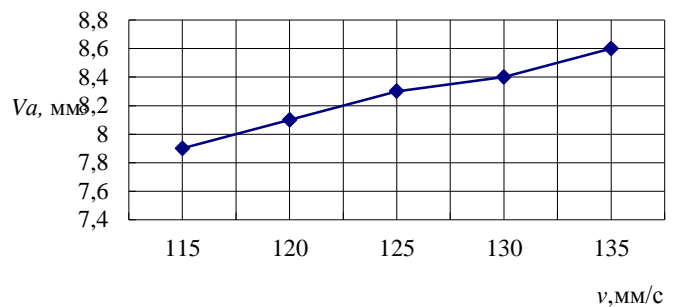


Рис. 4. График зависимости  $V_a = f(v)$ , ( $b = \text{const}$ )

Оценим объём дефекта во втором случае, когда неизменна скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$ , а ширина коллиматора  $b$  варьируется.

$$V_{a1} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{375} = 7,2 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a2} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{437,5} = 7,7 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a3} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{500} = 8,3 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a4} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{562,5} = 8,8 [\text{мм}^3]$$

$$V_{a5} \geq 37 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{625} = 9,3 [\text{мм}^3]$$

Построим график зависимости  $V_a = f(b)$ , ( $v = \text{const}$ ) (см. рис.5).

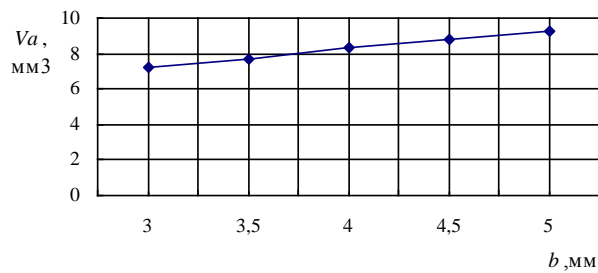


Рис. 5. График зависимости  $V_a = f(b)$ , ( $v = const$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные зависимости, устанавливаем следующее. Объем, выявляемых дефектов  $V_a$  для случая, когда ширина коллиматора  $b$  неизменна, а скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$  варьируется, линейно возрастает. Таким образом, для выявления дефекта малого размера, необходимо снижать скорость контроля. Объем, выявляемых дефектов для случая, когда неизменна скорость перемещения ОК относительно коллиматора  $v$ , а ширина коллиматора  $b$  варьируется, линейно возрастает. Таким образом, для выявления дефекта малого размера, необходимо ширину коллиматора уменьшать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 4. Контроль излучениями: Практическое пособие/