

УДК 535-34; 539.1.06

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ И ЗОЛЬНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА
ПОСРЕДСТВОМ РАССЕЯННОГО И ТРАНЗИТНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Василевич Л.Н., Ермакович О.Л., Лисовский Г.А.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проводится оценка методики работы приборов, использующих рассеянное и транзитное рентгеновское излучение для их применения в системах контроля качества при производстве бумаги, картона и других листовых материалов.

Ключевые слова: контроль качества бумаги, рентгеновское излучение.

**THE METHODS DETERMINATION OF THE MASS AND ASH PAPER BY MEANS
OF DIFFUSED AND TRANSIT X-RAY RADIATION**

Vasilevich L., Lisovski G., Yermakovich O.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of BSU
Belorussian state university
Minsk, Belarus*

Abstract. It is conducted estimation of the methods of the work instrument, using diffused and transit x-ray radiation for their using in system of the checking quality at production of the paper, paperboard and other sheet material.

Key words: checking quality papers, x-ray radiation.

*Адрес для переписки: Ермакович О.Л., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: ermakovichol@tut.by*

Современное производство бумаги и картона осуществляется с применением систем контроля качества, работающих в режиме реального времени и постоянно отслеживающих параметры производимой продукции. Одним из основных параметров производимого бумажного или картонного полотна является величина массы на единицу площади (г/м^2), так же зачастую необходимо контролировать количество минеральной составляющей в бумажном полотне (зольность). Для осуществления контроля данного типа применяются радиоизотопные приборы. Контроль массы метра квадратного полотна осуществляется посредством радиоизотопного прибора с источником β -частиц [1]. Применяются изотопные источники с радионуклидами Sr90, Kr85, Pm147. Для измерения зольности применяются радиоизотопные источники содержащие радионуклид Fe55 являющийся источником мягкого рентгеновского излучения с энергией основной линии ХК_α (5,9 кэВ). Принцип измерения массы основан на том факте, что имеется слабая зависимость потери энергии пучка β – частиц от элементного состава контролируемого материала. В первом приближении потери энергии пропорциональны плотности электронов в материале (n_e). В свою очередь плотность электронов в веществе пропорциональна плотности. Ослабление рентгеновского излучения в мягкой области спектра сильно зависит от элементного состава вещества, так как основным фактором потерь энергии в этой области является фотоэффект. Энергия фотоэффекта является уникальной для каж-

дого элемента. Вследствие этого, ослабление рентгеновского излучения изотопа Fe55 зависит от минерального наполнителя бумажного полотна. Сравнивая величины ослабления излучения β – частиц и рентгеновского излучения появляется возможность определять процент минеральной составляющей в бумажном полотне.

Целью данной работы является разработка методики измерения массы квадратного метра бумажного полотна и его зольности посредством применения в качестве источника излучения рентгеновской трубки.

Радиоизотопный источник рентгеновского излучения Fe55 испускает кванты двух узких спектральных линий ХК_α (5,9 кэВ) и ХК_β (6,49 кэВ). Поэтому оценка ослабления бумажным полотном данного излучения позволяет судить о процентном содержании минерального вещества только в том случае, если заранее известен применяемый наполнитель. В качестве минеральных наполнителей обычно применяются каолин, мел, двуокись титана. Наиболее часто мел. Методика определения процентного содержания данных минеральных веществ в бумажном полотне основана на сильном отличие в поглощающей способности рентгеновского излучения Fe55 для: Al и Si содержащегося в каолине, Ca в меле и Ti в его двуокиси, от поглощающей способности веществ органики в целлюлозе.

В отличие от спектра излучения изотопа Fe55 спектр излучения рентгеновской трубки непрерывный. Вид спектральной плотности излучения трубки зависит от напряжения на аноде, материала анода и фильтра излучения на выходном окне.

Для оценки спектральной плотности излучения рентгеновской трубки применяется приближенная формула Крамерса [2]:

$$\frac{dP_\varepsilon}{d\varepsilon} = k_0 \cdot i \cdot Z(\varepsilon_{\max} - \varepsilon), \quad (1)$$

где P_ε – мощность потока рентгеновских фотонов (Вт), $k_0 = 2,2 \cdot 10^{-9}$, i – ток (А), Z – атомный номер анода трубки, ε_{\max} – максимальная энергия фотонов (эВ), ε – энергия фотонов (эВ).

Влияние ослабления в мишени анода генерируемого излучения приводит к спаду излучения в мягкой области. В [2] приводится расчет для трубки 1БПВ1-60 и делается вывод, что максимум генерируемой мощности при $\varepsilon \sim 8$ кэВ.

Для оценки величин транзитного рентгеновского излучения воспользуемся данными, приведенными в [3]. В табл. 1 приведены данные по коэффициенту взаимодействия рентгеновского излучения с веществом в диапазоне 6–60 кэВ.

Таблица 1. Коэффициенты взаимодействия рентгеновского излучения с веществом

ε (кэВ)	Майлар μ (см ² /г)	Al μ (см ² /г)	Ca μ (см ² /г)	Ti μ (см ² /г)
6	16,08	115,3	373,1	432,3
8	6,75	50,33	172,6	202,3
10	3,481	26,23	93,41	110,7
15	1,132	7,955	29,76	35,87
20	0,5798	3,441	13,06	15,85
30	0,3009	1,128	4,08	4,972
40	0,2304	0,5686	1,83	2,214
50	0,202	0,3681	1,019	1,213
60	0,1868	0,2778	0,6578	0,7661

Таблица 2. Разность коэффициентов взаимодействия μ и коэффициентов поглощения энергии μ_ε

ε (кэВ)	Майлар $\mu - \mu_\varepsilon$ (см ² /г)	Al $\mu - \mu_\varepsilon$ (см ² /г)	Ca $\mu - \mu_\varepsilon$ (см ² /г)	Ti $\mu - \mu_\varepsilon$ (см ² /г)
6	0,47	2	34,4	63,2
8	0,38	1,23	12,6	23
10	0,328	0,83	5,97	10,6
15	0,2652	0,468	1,72	2,76
20	0,2336	0,347	0,86	1,2
30	0,20118	0,2502	0,415	0,484
40	0,18345	0,2085	0,292	0,31
50	0,17118	0,1841	0,2368	0,2393
60	0,16172	0,1679	0,2058	0,2027

Данные по майлару приводятся вследствие того, что это органика и по поглощающей способности близка к целлюлозе. Заметно сильное отличие коэффициентов взаимодействия в мягкой области (6–10 кэВ). Следовательно, при проведении измерений транзитного излучения в этом диапазоне получим значительное отличие показаний для веществ с одинаковой массой на единицу площади, но с разным составом.

Данные приведенные в табл. 2 позволяют произвести оценку рассеянного рентгеновского излучения. Из приведенных данных следует, что результат проведения измерений рассеянного излучения в жесткой области спектра в основном определяется массой на единицу площади.

Таким образом, проводя измерения транзитного рентгеновского излучения в диапазоне –10 кэВ и рассеянного в диапазоне выше 20 кэВ, можно одновременно получать данные по массе и элементному составу контролируемого бумажного полотна.

Для расчета массы на единицу площади и процента зольности необходимо решить систему уравнений. В первом приближении из-за незначительного поглощения в жесткой части спектра излучения, система уравнений следующая:

$$I_{\text{рас.в.}} / I_{0.в.} = \mu_{\text{рас.цел.}} * M_{\text{цел.}} + \mu_{\text{рас.з.}} * M_{\text{з.}}, \quad (2)$$

$$\ln \left(I_{0.н.} / I_{\text{пр.н.}} \right) = \mu_{\text{вз.ц.}} * M_{\text{цел.}} + \mu_{\text{вз.з.}} * M_{\text{з.}}, \quad (3)$$

где $I_{0.в.}$ – интенсивность входного излучения в жесткой части спектра, $I_{0.н.}$ – интенсивность входного излучения в мягкой части спектра, $I_{\text{рас.в.}}$ – интенсивность рассеянного излучения в жесткой части спектра, $I_{0.н.}$ – интенсивность прошедшего излучения в мягкой части спектра, $M_{\text{цел.}}$ – масса целлюлозы, $M_{\text{з.}}$ – масса золы, $\mu_{\text{рас.цел.}}$ – коэффициент рассеяния целлюлозы, $\mu_{\text{рас.з.}}$ – коэффициент рассеяния золы, $\mu_{\text{вз.цел.}}$ – коэффициент взаимодействия целлюлозы, $\mu_{\text{вз.з.}}$ – коэффициент взаимодействия золы.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержки Министерства Образования Республики Беларусь. В рамках научной программы «Разработка методики получения информации о внутренней структуре и плотности объектов и материалов с использованием проходящего и рассеянного рентгеновского излучения».

Литература

1. Измерение поверхностной плотности листовых материалов радиоизотопным методом / А. Ч. Беяичиц [и др.]. – НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ. – С. 202–204.
2. Иванов, С. А. Рентгеновские трубки технического назначения / С. А. Иванов, Г. А. Щукин. // Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 200 с.
3. NIST: Standard reference database126 (Last Update: July 2004). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMascCoef/tab3.html>.