

Ермакович О. Л.

## **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА, ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ РАССЕЯННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.**

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Проводится оценка точности измерения поверхностной плотности бумажного полотна посредством измерения рассеянного рентгеновского излучения. Рассматриваются факторы, влияющие на точность измерений.

В процессе производства бумаги и картона проводится непрерывный контроль качества изготавливаемой продукции. Одним из наиболее важных контролируемых параметров бумажного и картонного полотна является значение величины массы на единицу площади – поверхностная плотность. Для контроля данного параметра обычно применяются радиоизотопные приборы принцип работы, которых основан на измерении ослабления  $\beta$ -излучения [1,2]. Существует возможность измерения поверхностной плотности по рассеянному рентгеновскому излучению [3]. Измерение массы на единицу площади с помощью рассеянного рентгеновского излучения основано на том факте, что рассеяние рентгеновского излучения происходит на электронах вещества, а количество электронов в первом приближении пропорционально массе для всех элементов с отличием в два раза только у водорода.

Целью настоящей работы является следующее:

- проведение оценки физических факторов, влияющих на точность измерения поверхностной плотности бумажного полотна посредством измерения рассеянного рентгеновского излучения.
- на основании проведенных измерений поверхностной плотности выделить наиболее важные физические факторы, влияющие на точность измерений.

Элементный состав бумажного полотна.

Основная составляющая бумажного полотна – целлюлоза. Формула целлюлозы  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Кроме целлюлозы вторым по массе компонент – минеральное вещество белого цвета мел, каолин, окись титана. Наиболее часто мел -  $CaCO_3$ , каолин -  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Содержание минерального вещества может достигать 30 %.

Влияние содержания водорода.

Водород отличается от всех остальных элементов отсутствием нейтронов в ядре. Изотопы водорода: дейтерий, тритий, в ядрах которых есть нейтроны встречаются редко в природной среде. На единицу массы количество электронов у водорода приблизительно в два раза больше, чем у других элементов. В следствии, взаимодействие с ионизирующим излучением сильно отличаются от всех остальных элементов.

Влияние фотоэффекта.

Фотоэффект, вызванный рентгеновскими фотонами, с последующей потерей энергии электроном, вызывает уменьшение интенсивности рентгеновского излучения. Ослабление интенсивности происходит по экспоненциальному закону. При этом коэффициент ослабления зависит от энергии фотонов и от элементного состава вещества. На рисунке 1 приведены графики зависимости коэффициентов поглощения для пучка фотонов рентгеновского излучения, обусловленного фотоэффектом. График построен на основании данных размещенных в [4].

Приведены графики для элементов, содержащихся в бумаге. Углерод в целлюлозе, Al в каолине, Са в меле.

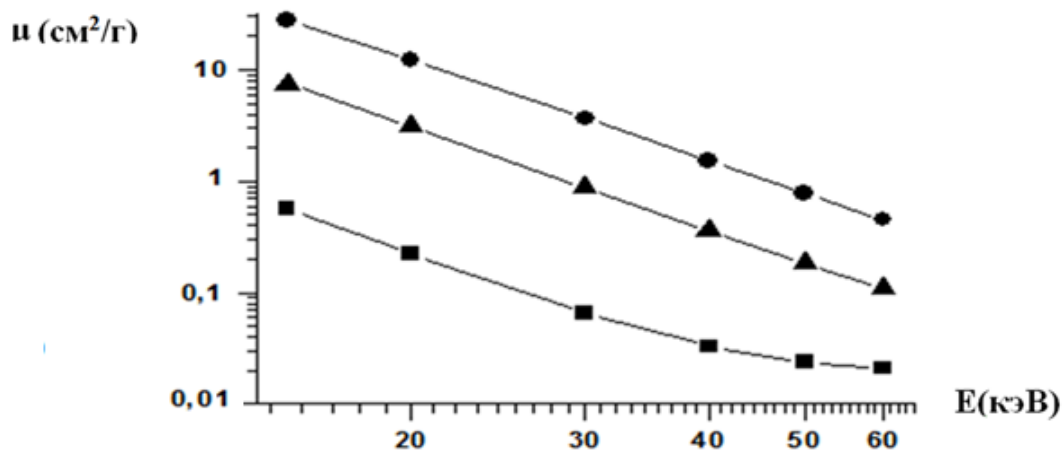


Рисунок 1 – Зависимость от энергии рентгеновского излучения коэффициентов поглощения  $\mu$  (см<sup>2</sup>/г),  
 -●- Ca, -▲- Al, -■-С.

Когерентное рассеяние.

При энергиях рентгеновских фотонов  $E_\gamma < E_{св}$ , где  $E_{св}$  – энергия связи электрона с ядром, происходит интерференция излучения рассеянного на разных электронах атома. Сечение рассеяния становится больше, чем рассеяние на одиночных электронах и зависит от угла рассеяния по-разному для различных элементов. Вводится функция атомного рассеяния  $f$  как отношение амплитуды волны, рассеянной одним атомом к амплитуде волны, рассеянной одним электроном. Функция атомного рассеяния аппроксимируется формулой:

$$f\left(\frac{\sin \theta}{\lambda}\right) = \sum_{i=1}^4 a_i \exp\left(-b_i \left(\frac{\sin \theta}{\lambda}\right)^2\right) + c, \quad (1)$$

где  $2\theta$  – угол между падающим пучком и направлением на детектор,  $\lambda$  – длина волны в ангстремах,  $a_i, b_i, c$  – табличные данные.

Влияние когерентного рассеяния приводит к увеличению коэффициента рассеяния по сравнению с рассеянием на каждом электроном атома индивидуально.

Результаты измерений.

Результаты измерения образцов из бумаги с различным содержанием мела и различных по величине поверхностной плотности представлены на рисунке 2.

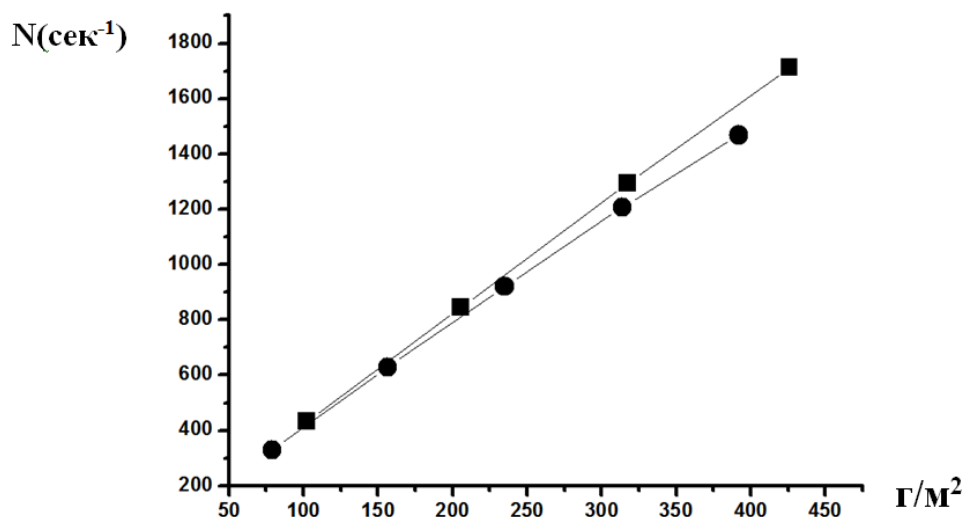


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности рассеянного излучения от величины поверхностной плотности для образцов с процентным содержанием мела -●- 26%, -■-6%.

Схема установки, на которой проводились измерения предоставлена на рисунке 3.

### Секция 3. Прикладные проблемы радиофизики

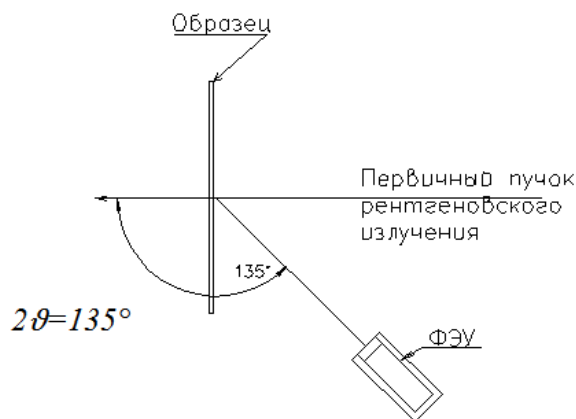


Рисунок 3 – Схема установки, на которой проводились измерения.

Источником излучения являлась рентгеновская трубка БСВ-17. Анодное напряжение 28 кэВ. Ток 120 мкА. Излучение трубки фильтровалось алюминиевым фильтром толщиной 1мм. Для регистрации рассеянного излучения применялся дозиметр ДКР – АТ1103М в счетном режиме, детектором излучения в котором является ФЭУ со сцинтиллятором NaJ(Tl).

Из графика на рисунке 2 видно, что при малых значениях поверхностной плотности разница в показаниях интенсивности рассеянного излучения от образцов с различной зольностью незначительна. Следовательно рассеяние в обратном направлении при данных условиях определяется некогерентным рассеянием. Так же заметно, что рассеяние от образца с меньшей зольностью более интенсивное, что можно объяснить большим процентным содержанием водорода.

По мере увеличения поверхностной плотности происходит отклонение графиков в сторону оси X. Отклонение для образца с большей зольностью сильнее. Данное явление объясняется большим коэффициентом поглощения рентгеновских фотонов в образце с более высокой зольностью.

Из полученных результатов следует, что для данных параметров источника и системы регистрации основным фактором, вносящим системную ошибку по измерению поверхностной плотности, является фотоэффект, значительно отличающийся для элементов целлюлозы и золы приводящий к различному ослаблению первичного и рассеянного рентгеновского излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образования Республики Беларусь в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» подпрограммы «Техническая диагностика».

#### Список литературы

1. Измерение поверхностной плотности листовых материалов радиоизотопным методом. Белячиц А. Ч., Василевич Л. Н., Говорун К. В., Кваченок В. Г., Курило Н. И., Лисовский Г. А., Титовицкий И. А. // Мат-лы междунар. н-т конф. “Приборостроение” С. 137-139. Минск 12-14 ноября 2008 г.
2. Kerry Figel, Gill John, Ross Machattie, Seyhan Nuyan, Jack Tippett. Paper Machine Quality Control Systems. – Vol 1: Measurement Systems and Product Variability// Technical Association of the Pulp & Paper. - 2010. – 120 p.
3. Методика определения массы и зольности бумажного полотна посредством рассеянного и транзитного рентгеновского излучения. / Василевич Л. Н., Ермакович О. Л., Лисовский Г. А. / Приборостроение – 2021 : Материалы 14 международной науч. – техн. конф., 17 - 19 ноября 2021г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / Минск: БНТУ, 2021 – С. 276 – 277.
4. NIST: Standard reference database126 (Last Update: July 2004); [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>