

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОИЗОТОПНЫМИ МЕТОДАМИ

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

Описывается принцип работы и устройство семейства радиоизотопных приборов, применяемых в системах контроля качества при производстве бумаги, картона и других листовых материалов.

Современное производство высококачественных бумаг и картонов практически невозможно без многопараметрических методов и средств комплексного контроля параметров качества и автоматизированных систем управления основными технологическими процессами. В связи с тем, что требования потребителя к качеству постоянно возрастают, то автоматизированные системы контроля качества и регулирования параметров бумажного и картонного полотна должны обеспечивать более точное поддержание качественных показателей в более узких допусках.

Для получения максимальной эффективности в производстве высококачественных изделий изготовитель также должен уменьшать расходы энергии и материалов. Выполнить все эти условия возможно только при постоянном автоматическом контроле и управлении показателями качества бумаги и картона. К основным показателям качества, которые необходимо контролировать в процессе производства, относятся: масса метра квадратного, влажность, зольность, толщина, белизна, непрозрачность, цветность, гладкость, шероховатость и т.д. При этом ведущая роль из всех параметров качества отводится, как правило, высокоточному контролю массы метра квадратного и влажности бумажного и картонного полотна, т.к. равномерность распределения массы по площади бумажного полотна в значительной степени определяет прочностные, технологические и потребительские характеристики конечной продукции, а также толщины выпускаемого материала и его зольности.

Радиоизотопный метод контроля массы 1 м^2 листовых материалов, основанный на прохождении бета-излучения через контролируемый материал, широко используется в промышленности и является наиболее точным по сравнению с другими способами, основанными на прохождении СВЧ или инфракрасного излучения, а также ультразвуковых колебаний. Данное свойство радиоизотопного контроля массы обусловлено физикой процесса прохождения заряженных частиц через листовой материал. Для электронов с энергией меньше 2 МэВ основным взаимодействием, приводящим к потере энергии, является ионизация и возбуждение атомов среды, через которую проходят электроны. Поэтому потери энергии движущегося электрона пропорциональны количеству электронов в среде. В свою очередь количество электронов на единицу массы слабо меняется с увеличением атомного номера вещества. Исключением является водород. Количество электронов на единицу массы у водорода приблизительно в два раза больше чем у других элементов. Тем не менее, влияние водорода на результат измерения радиоизотопным плотномером составляет порядка 2 процентов и его можно учесть.

Бета-излучение имеет непрерывный колоколообразный спектр, что обуславливает приблизительно экспоненциальный закон ослабления потока бета-частиц при прохождении через среду. По закону, близкому к экспоненциальному, уменьшается как число бета-частиц, так и суммарная энергия пучка частиц, проходящего через вещество. Данное свойство делает довольно простым алгоритм расчета массы. Принцип работы радиоизотопного плотнера основан на явлении поглощения излучения материалом, описываемым уравнением:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mu_l \cdot d} = \Phi_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot d} = \Phi_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot M}$$

где Φ_0 , Φ – плотность потоков падающего и прошедшего излучения, соответственно; μ_l и μ_m – линейный и массовый коэффициенты поглощения, ρ – плотность материала, г/м^3 ; $M = \rho \cdot d$ – масса на единицу площади материала, г/м^2 (поверхностная плотность материала). Из приведенного соотношения получаем массу 1 м^2 :

$$M = \frac{1}{\mu_m} \cdot \ln \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)$$

Массовый коэффициент поглощения бета излучения ($\text{м}^2/\text{г}$) почти не зависит от вида поглотителя и является характеристикой только энергетического спектра излучения [1]:

$$\mu_m = 4.2 \cdot 10^{-4} / E_c^{4/3}$$

где E_c – средняя энергия бета-частиц, МэВ.

Применяя изотопные источники с различной энергией испускаемых бета-частиц, добиваются максимальной чувствительности приборов в различных диапазонах измеряемых масс. Для бумаг в диапазоне по массе $200 \div 700 \text{ г/м}^2$ оптимальным является применение изотопного источника Кr-85 с максимальной энергией бета-частиц 674 кэВ. Для диапазона масс $10 \div 200 \text{ г/м}^2$ наиболее подходящим является изотопный источник Pm-147 с максимальной энергией бета-частиц 224,6 кэВ.

Кроме измерения массы метра квадратного бумажного полотна, радиоизотопные приборы находят применение в измерении процентного состава минеральных наполнителей (зольности) в контролируемом полотне (мел CaCO_3 или каолин Al_2O_3). Под зольностью понимается содержание указанных наполнителей в бумаге. Контроль этих элементов основан на специфике поглощения мягкого рентгеновского излучения за счет различных по величине коэффициентов поглощения наполнителей и основы (целлюлозы). Методика определения зольности заключается в следующем: при помощи первого плотномера на Кr-85 определяется масса квадратного метра полотна, вторым прибором, использующим источник Fe-55, определяется «эффективная масса». По разности «эффективной массы» и массы производится вычисление процентного содержания наполнителя.

Форма и размеры источников Кr-85, Pm-147, Fe-55 могут значительно варьироваться. Это так же относится и к мощности амбиентной или направленной дозы гамма- или рентгеновского излучения. С целью конструкционной адаптации различных типов источников к изделиям нами разработан плотномер ЛЕБ-1БАСР. Радиационная защита указанного плотномера разрабатывалась на случай использования в нем источника Кr-85 активностью 14,8 ГБк, обладающего наиболее интенсивной линией собственного гамма-излучения по сравнению с Pm-147. После встраивания источника Кr-85 в блок излучателя мощность амбиентной дозы гамма-излучения на поверхности плотномера не превышает 20 мкЗв/час, что соответствует требованиям стандарта по эффективности радиационной защиты радиоизотопных плотномеров [2]. Указанное требование по радиационной защите будет автоматически выполняться как для Pm-147, так и для Fe-55.

Диаметр канала зарядки плотномера 20 мм позволяет использовать также источник Pm-147 в капсуле БИП-10. Для применения источников с диаметром меньшего размера (Fe-55 в капсуле X.330, Кr-85 в капсуле КАСВ 14466) предусмотрено применение адаптирующих переходных вставок. На рисунке 1 показано применение источников различной формы в плотномере ЛЕБ-1БАСР.

В качестве детектора бета-частиц и рентгеновских фотонов используются ионизационные камеры. Отличия указанных ионизационных камер заключается в разных типах входных окон. В камерах, используемых для детектирования бета-частиц, в качестве входных окон используется тонкая фольга из титана или нержавеющей стали, а в камерах для рентгеновского излучения входные окна изготавливаются из бериллия. Существенным требованием к ионизационным камерам, используемым в радиоизотопных приборах, является их долговременная стабильность и независимость от температуры и атмосферного давления. Ионизационные камеры, применяемые для регистрации бета-частиц, имеют входные окна большего

размера, так как бета-частицы кроме потерь энергии ещё могут сильно рассеиваться. Для рентгеновского излучения 5,9 кэВ рассеяние сказывается в меньшей степени.

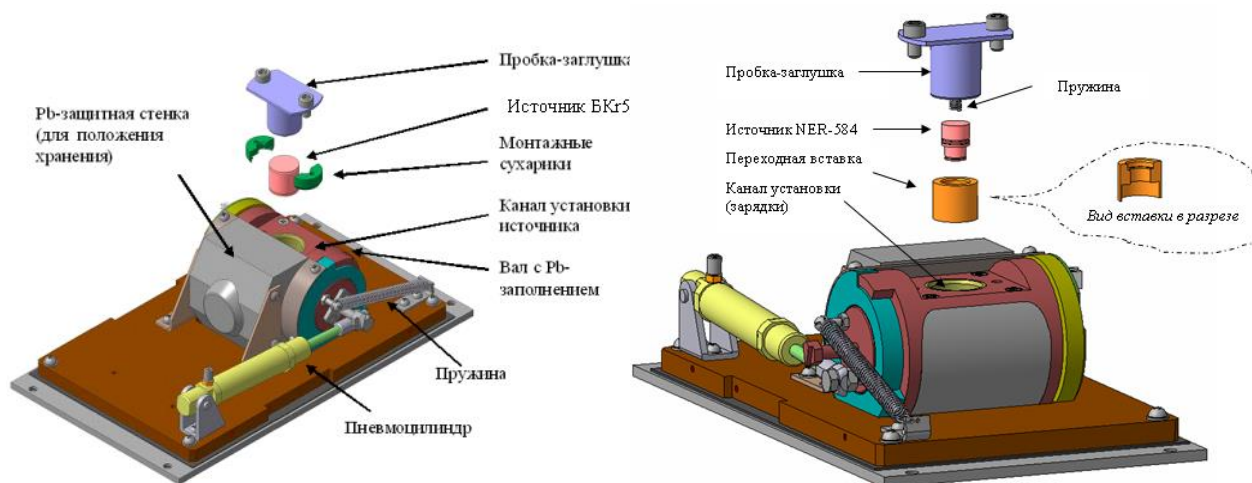


Рисунок 1 – Зарядка блока источника плотномер ЛЕБ-1 БАСР радиоизотопными источниками Кг-85 в капсулах ВКг5.Р02 и NER584.

В унифицированной конструкции радиоизотопного плотномер ЛЕБ-1БАСР предусмотрена возможность использования ионизационных камер с различными входными окнами и различных размеров за счет вставок, в которые помещается ионизационная камера.

На рисунке 2 показано сканирующее устройство, в котором радиоизотопный плотномер ЛЕБ-1БАСР расположен внутри подвижных платформ.

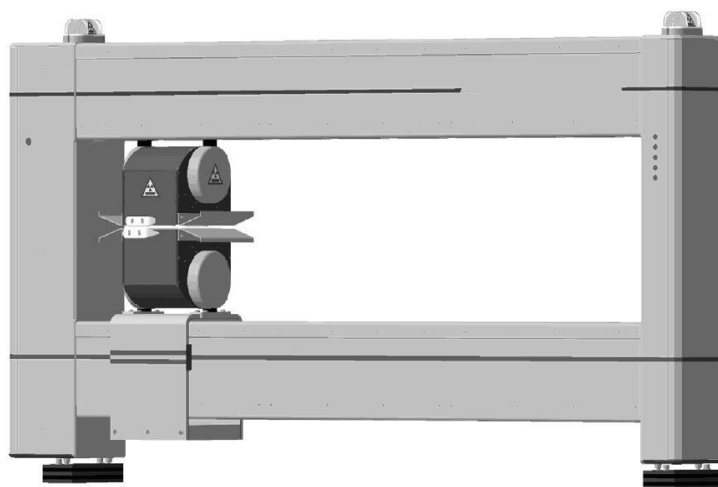


Рисунок 2 – Сканирующее устройство с радиоизотопным плотномером ЛЕБ-1БАСР.

Радиоизотопный плотномер ЛЕБ-1 БАСР сертифицирован в системе ОИТ (сертификация оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения) с правом серийного производства.

Список литературы

1. Е.А. Солдатов//Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия. 2004. Т.45. №3. С.213-215.
2. ГОСТ 18061-90 Толщиномеры радиоизотопные.