

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ИЗМЕРЕНИИ ВЛАЖНОСТИ

В. И. ГОРБУНОВ, В. Б. ЕЛАГИН, Г. Ш. ПЕКАРСКИЙ

Одним из основных экспресс-методов измерения влажности является метод измерения влажности с помощью нейтронов [1—4]. Метод основан на том, что в состав воды входит легкий элемент водород, а на легких ядрах при упругом столкновении теряется большая доля энергии на одно столкновение. Большое сечение упругого взаимодействия на ядрах водорода делает метод особо чувствительным к изменению количества воды в образце.

Замедление быстрых нейтронов в веществе происходит благодаря актам взаимодействия с ядрами вещества. Одним из основных процессов является упругое столкновение нейтронов с ядрами. Энергия нейтрона после упругого соударения может быть определена из выражения [5].

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2} [(1 + \alpha) + (1 - \alpha) \cos \psi],$$

где E_1 — энергия нейтрона до соударения;

E_2 — энергия нейтрона после соударения;

ψ — угол рассеяния в системе центра масс.

Величина α определяется как

$$\alpha = \left(\frac{A - 1}{A + 1} \right)^2,$$

где

A — атомный номер ядра.

Из формулы видно, что уменьшение атомного номера вещества ведет к увеличению потери энергии на одно столкновение. Величина средней энергии нейтронов после одного упругого столкновения определяется как

$$E_2 = E_1 \left[1 - \frac{2A}{(A + 1)^2} \right].$$

Средняя потеря энергии нейтронами —

$$\Delta E = \frac{1}{2} E_1.$$

Максимум энергии при одном столкновении нейтрон теряет при соударении с ядрами водорода.

Большие средние потери на одно столкновение с ядром водорода и значительное сечение упругого рассеяния на водороде приводят к бы-

строму возрастанию числа замедлившихся нейтронов при увеличении содержания водорода в веществе. Количество замедлившихся нейтронов связывают с количеством ядер водорода, проходящих на единицу объема исследуемого вещества, а следовательно, с влажностью вещества. Увеличение потока медленных нейтронов регистрируется счетчиками медленных нейтронов. Однако встречается целый ряд веществ, в состав которых входят элементы с большим сечением поглощения медленных нейтронов, и от изменения состава вещества в сильной мере будут зависеть показания приборов. На показания прибора сильно будут влиять даже микропримеси таких элементов, как кадмий, гафний, бор, самарий и др., имеющие аномально большие сечения захвата для медленных нейтронов. В таких материалах влажность может быть измерена только по изменению скорости счета быстрых нейтронов, т. е. за счет остатка первоначального потока быстрых нейтронов. Л. К. Таточенко [1] описывает принцип работы подобного влагомера на быстрых нейтронах. Для регистрации прошедшего потока быстрых нейтронов используется счетчик медленных нейтронов, окруженный слоем замедлителя. Для исключения влияния на показания прибора медленных нейтронов, образовавшихся в контролируемом объекте, счетчик отделяется от объекта слоем вещества с большим сечением поглощения медленных нейтронов (например, кадмий толщиной 1—2 мм). Наилучшие результаты измерения получаются при больших размерах вещества в направлении, перпендикулярном оси нейтронного пучка.

Оптимальная толщина исследуемого объекта выбирается из условия минимума относительной погрешности и составляет величину $X = 8 \div 10$ см. Активность $P_0 + V_0$ источника, необходимая для измерения влажности с относительной ошибкой 10% составляет при $X = 10$ см, постоянной времени $\tau = 1$ сек. и точности измерения толщины $X = 1,2$ мм 13—20 кюри, т. е. в 15—20 раз выше, чем при измерении влажности на медленных нейтронах с той же погрешностью. Это сравнение можно делать, если в состав исследуемого вещества не входят элементы с большим сечением поглощения медленных нейтронов.

Такое увеличение активности источника при измерении влажности регистрацией быстрых нейтронов объясняется очень малой эффективностью счетчиков к нейтронам. Эффективность счетчика к медленным нейтронам составляет 5%. При использовании счетчика медленных нейтронов для регистрации быстрых нейтронов большое количество нейтронов теряется в замедлителе, и эффективность становится еще меньше.

В результате этого практическая реализация метода определения влажности по измерению прошедшего потока быстрых нейтронов с предварительным их замедлением перед регистрацией затруднительна.

Созданный сцинтилляционный детектор быстрых нейтронов с эффективностью регистрации 30% для энергии нейтронов 3—4 Мэв позволяет исключить стадию предварительного замедления быстрых нейтронов перед регистрацией, связанную с большой потерей в потоке быстрых нейтронов, прошедших через объект и несущих полезную информацию об исследуемом объекте. Это позволяет, сохранив все преимущества самого метода контроля влажности по быстрым нейтронам, упростить конструкцию влагомера за счет исключения промежуточной операции замедления и значительно понизить активность источника для получения той же точности измерения влажности.

На рис. 1, в приведена схема измерения влажности на быстрых нейтронах. Здесь же приведена схема измерения влажности на тепловых нейтронах (1, а) и схема измерения влажности на быстрых нейтронах с предварительным замедлением быстрых нейтронов перед регистрацией (1, б).

Обозначения на рисунке: 1 — источник быстрых нейтронов; 2 — контролируемый образец; 3 — замедлитель; 4 — детектор замедления нейтронов; 5 — детектор быстрых нейтронов.

Экспериментальные исследования проводились при решении комплексной задачи по контролю древесины, проводимой в НИИ электронной интроскопии. Измерения проводились с помощью дефектоскопа с кристаллом стильбена 30×50 . Коллиматор с диаметром 30 мм изготавливался из парафина с добавлением борной кислоты. Высота коллиматора 200 мм. В эксперименте использовался брусок толщиной 177 мм из абсолютно сухой древесины с плотностью $0,54 \text{ г/см}^3$ и набором плексигласовых фантомов, заполненных водой толщиной 8, 16, 25, 50, 96 мм. Влажность W , рассчитанная с введением каждого фантома, соответствовала данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Расчетная влажность образцов древесины при введении в измеряемый объем фантомов различной толщины

Толщина, мм	8	24	50	100	195
W , %	8,7	26	54,5	107	210

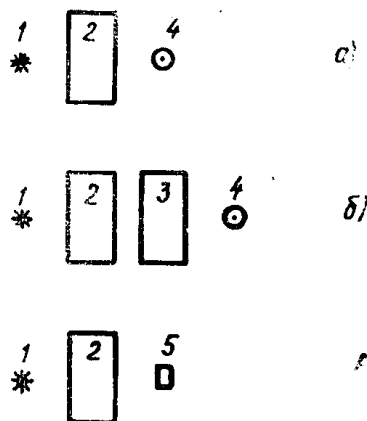


Рис. 1. Схема измерения влажности с помощью быстрых нейтронов. 1 — источник быстрых нейтронов, 2 — контролируемый образец, 3 — замедлитель, 4 — детектор тепловых нейтронов, 5 — детектор быстрых нейтронов

Возможность имитации влажности, распределенной по объему древесины с помощью водного фантома заключена в том, что в близких по содержанию водорода древесине и воде замедление происходит в результате тождественных актов взаимодействия. Поэтому замена гомогенной смеси гетерогенной не приводит к изменению спектральных и угловых распределений за материалами. Для проверки этого предположения проводились эксперименты с расположением водного фантома со стороны источника детектора. В пределах точности эксперимента результаты совпали.

Чувствительность метода зависит от типа древесины, толщины образцов, общего уровня влажности. На общем уровне влажности около 15% при толщине образца до 300 мм влажность определена с точностью 1,3% при нестабильности аппаратуры 5% (включая и статистическую погрешность). Кроме того, тарировка прибора проводилась по влажности образцов, определенной путем последовательных взвешиваний образца влажного и высушенного при температуре свыше 100°C . Результаты измерения находятся в хорошем соответствии с результатами измерения влажности с фантомами.

Для проверки влияния содержания примесей с большим сечением поглощения медленных нейтронов в измеряемый объем были внесены фольги из индия и кадмия. Внесение фольг на результаты измерения не влияет. Это позволяет сделать заключение о возможности определения прибором влажности почв и других материалов при наличии в исследуемом объекте элементов с большим сечением взаимодействия с медленными нейтронами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Таточенко. Радиоактивные изотопы в приборостроении. Атомиздат, М., 1960.
 2. Н. Н. Шумиловский, М. В. Мельтцер. Применение ядерных излучений в устройствах автоматического контроля технологических процессов. Госэнергоиздат, М., 1958.
 3. В. А. Емельянов. Измерение плотности, влажности грунтов, стройматериалов и мутности воды гамма-лучами и нейтронами. Госэнергоиздат, М., 1962.
 4. W. Kühn. Atompraxis, № 915, § 335, 1959.
 5. К. Бекурц, К. Виртц. Нейтронная физика. Атомиздат, М., 1968.
-