

УДК: 621.25

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997f114de31.75977654

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН С ЗЕРНОМ

Хулкар Асадуллаевна Усманова, доцент кафедры “Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация”

hulkar-usmanova@rambler.ru

Асадулла Тургунбаев, профессор кафедры “Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация”, tstuasd@rambler.ru

Ташкентский Государственный Технический Университет
Узбекистан, Ташкент

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы взаимодействия сверхвысокочастотных волн с влажным зерном, в котором информация о влажности представляется как функция двух переменных: ослаблением и фазовым сдвигом электромагнитной волны. Влажный материал представлен состоящим из трех плоских слоев: воды, сухого вещества и воздуха. На основе несложных расчетов выведена функция преобразования, изучены влияние форм связи влаги, температуры и плотности на погрешность преобразования влажности.

Ключевые слова: влажность зерна, сверхвысокочастотный метод, ослабление и фазовый сдвиг электромагнитной волны, влажный материал, форма связи влаги, погрешность преобразования, плотность материала.

STUDY OF INTERACTION OF SUPER HIGH FREQUENCY WAVES WITH GRAIN

Khulkar As. Usmanova, associate professor of the department "Metrology, technical regulation, standardization and certification", hulkar-usmanova@rambler.ru

Turgunbaev Asadulla, professor of the department “Metrology, technical regulation, standardization and certification”, tstuasd@rambler.ru

Tashkent State Technical University, Uzbekistan, Tashkent

Abstract. The paper considers the interaction of ultrahigh-frequency waves with moist grains, in which the moisture information is represented as a function of two variables: the attenuation and phase shift of the electromagnetic wave. Wet material is represented as consisting of three flat layers: water, dry matter and air. Based on uncomplicated calculations, the conversion functions are derived and the influence of moisture, temperature and density coupling forms on the error of moisture conversion is studied.

Keywords: grain moisture, ultrahigh-frequency method, electromagnetic wave attenuation and phase shift, wet material, moisture coupling form, conversion error, material density.

Влажность зерна при хранении и обработке постоянно изменяется, поэтому ее следует контролировать для принятия своевременных и надлежащих мер по предотвращению неблагоприятных явлений.

Известно, что одним из перспективных методов измерений влажности является сверхвысокочастотный (СВЧ) метод [1-3]. Преимуществами СВЧ-

влагометрии являются: возможность бесконтактного измерения, относительная простота и дешевизна аппаратуры, а в ряде случаев и хорошие метрологические характеристики. Контроль влажности методом сверхвысокой частоты предусматривает воздействие на контролируемый материал переменной электромагнитной волны, в котором информация о влажности представляется как функция двух переменных (ослаблением N и фазовым сдвигом φ электромагнитной волны). Различие высокочастотных и СВЧ-методов вызвано как соизмеримостью длины волны с минимальными характеристическими размерами объекта, так и особенностью поведения связанной воды в гигагерцевом диапазоне.

Вывод функции преобразования измерения влажности. В соответствии с теорией диэлектриков [4] исследуемые материалы, находящиеся в электромагнитном поле, не обнаруживают в обезвоженном состоянии частотных и температурных аномалий. Поэтому все зависимости, которые наблюдаются во влажном состоянии при взаимодействии электромагнитного поля присущи воде, т.к. вода составляет основную часть влажного материала. При этом, электромагнитное поле, взаимодействуя с молекулами воды, содержащейся в материале, изменяет свои электрические характеристики. Это изменение, характеризующее влажность, лежит в основе всех разрабатываемых методов и приборов измерения на СВЧ.

При исследовании физических свойств материалов чаще всего приходится сталкиваться с гетерогенными средами зерна, состоящими из сухой фазы (эндоспермы и оболочки), воды и воздуха, а также из различных примесей. Влажный материал представляем состоящим из трех плоских слоев: воды, сухого вещества и воздуха. Обозначим объем воды через V_w , сухой фазы материала - через V_s . Тогда объем воздуха в порах материала будет $V_n = 1 - V_w - V_s$. Учитывая, что плотность воды равна единице, получаем $V_w = Q$, где Q - объемная влажность, после несложных расчетов для функции влажности нами получена следующая формула:

$$W = \frac{1}{1 - \frac{\rho'_{CH}}{\beta_c} \left[\beta_w - (\beta - \beta_0 V_0) \frac{\alpha_w}{\alpha} \right]}$$

Влияние форм связи влаги в материале на погрешность преобразования влажности. Вода содержится в материалах как в свободном, так и в связанном состояниях. Формы связи влаги с материалом могут быть различными: физико-механическая (капиллярная), адсорбционная (мономолекулярная и полимолекулярная), химическая [5]. Каждой форме связи соответствует своя определенная энергия связи влаги с материалом. Наименьшую энергию связи имеет свободная вода, наибольшую - химически связанная.

Влага в материале с различным значением энергии связи по - разному влияет на информативный параметр при измерении влажности диэлькометрическими методами.

В настоящее время нет экспрессных методов определения количества влаги по формам связи и эффективных путей уменьшения влияния непостоянства соотношения связанной и свободной воды в материале на погрешность измерения его влажности. Для решения этой задачи нами предложено использовать соотношение между интегральной (объемной) и поверхностной влажностью материала и алгоритмический метод снижения указанной погрешности на основе использования дисперсии результатов многократных измерений.

Влияние температуры влажных материалов на погрешность преобразования. Температурная погрешность преобразования СВЧ - влагомера обусловлена изменением диэлектрических свойств воды с колебаниями температуры, что приводит к изменению дисперсии молекул воды в СВЧ диапазоне.

Изменение ϵ' и ϵ'' воды в конденсированной фазе от температуры хорошо изучено [6] практически для всего СВЧ диапазона. С ростом температуры действительная часть диэлектрической проницаемости ϵ' монотонно убывает в низкочастотной области СВЧ диапазона, затем проходит через широкий максимум и монотонно возрастает в высокочастотной области диапазона. Характер изменения мнимой части ϵ'' аналогичный.

Для наиболее распространенного трехсантиметрового диапазона зависимость ослабления в воде от температуры выражается формулой

$$N(t) = 3814,25e^{-0,0235(t-42,99)^2}$$

Изменение температуры приводит также к изменениям форм связи влаги в материале. В настоящее время учесть аналитически степень влияния температуры влажного материала на параметры СВЧ волны не представляется возможным. Поэтому учет этого влияния возможен на основе экспериментальных зависимостей:

$$N=f_1(T,W), \varphi=f_2(T,W) \text{ и } \omega=f_3(T,W).$$

Влияние плотности влажных материалов на погрешность преобразования. Различное уплотненное состояние влажных материалов вызывает дополнительные погрешности. Другая причина возникновения погрешностей - разное количество воды в единице объема контролируемого материала. Эта составляющая погрешности не может быть определена аналитически.

Величина измеряемого параметра СВЧ волны зависит от влажности, толщины и плотности материала:

$$J = K W \rho d ,$$

где J - измеряемый параметр; ρ - плотность материала; K -коэффициент пропорциональности; d - толщина материала. Для аналитического определения необходимо знать величину K . Однако она может быть определена только экспериментальным путем для конкретного вида материала.

Таким образом, для определения ограничений на изменение температуры, плотности, либо для выработки конструктивных рекомендации по снижению их влияния необходимы экспериментальные исследования в каждом конкретном случае.

Список литературы

1. Исмагуллаев П.Р., Усманова Х.А., Тургунбаев А. Влагометрия хлопка и хлопковых материалов (Монография). «Fan va texnologiya». – Ташкент, 2017. – 288 с.
2. Ismatullaev P. R., Usmanova H.A., Kalandarov P.I. Microwave moisture metering and problems of metrological softwa. Sixrth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag, 2010. PP. 191-195.
3. Тургунбаев А. Экспериментальное исследование электрофизических характеристик зерна. МНТ симпозиум «Образование через науку», г. Калуга. Россия. 2005.
4. Usmanova H.A., Turgunbayev A. Methods of Reducing the Influence of theForms of Communication Moisture to Error Converter. //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 2, Issue 10, October 2015. India. P. 964-969.
5. Усманова Х.А., Тургунбаев А., Исмагуллаев П.Р. Исследование строения и состава хлопковых материалов, как объект измерения влажности. // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2014. №1. С. 124-128.
6. Ismatullaev P.R., Usmanova H.A., Turgunbayev A. Ultrahigh-frequency transducers moisture without weighing the sample. World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag, 2012. PP.175-178.

Материал принят к публикации 22.10.21.