

заполнения), указанные методы, однако, эффективны при сравнительно небольших колебаниях плотности (в пределах 2,5 – 3 раза) и относительно узком диапазоне изменения влагосодержания. Дальнейшее повышение точности измерения влажности возможно за счет комбинации СВЧ-методов с другими физическими, например СВЧ-акустическим [3].

Литература

1. Бензарь В.К. Техника СВЧ-влагометрии. – Мн. Вышэйшая школа, 1974. – 352с.
2. Renhart, I.: The Control of Moisture of Rocks by Methods of Microwave Aquametry. 4th International Conference on “Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”, Weimar, 2001, pp.372-379.
3. Lisovsky V.V. Automatic Control of Moisture in Agricultural Products by Methods of Microwave Aquametry. 6th International Conference on “Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”. Weimar, Germany, 2005. pp.375 – 383.

КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СВЧ-ВЛАГОМЕТРИИ

Лисовский В.В., Булко М.И., Матвеевко В.В., (БГАТУ) г. Минск

Проблема повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки становится все более острой для отечественных товаропроизводителей.

Влажность является тем ключевым параметром, от достоверности которого во многом зависит решение задачи максимального снижения себестоимости производства продукции, при сохранении ее высокого качества и оптимальной производительности оборудования.

Соблюдение технологической дисциплины при производстве и переработке сельскохозяйственной продукции базируется на получении своевременной и достоверной информации о ходе производственных процессов, в том числе и о влажности контролируемого материала

Принятая в настоящее время методология системного подхода к разработке влагометрических систем для сельскохозяйственного производства предполагает наличие четырех типов приборов экспрессного контроля влажности с различными метрологическими характеристиками [1], причем сверхвысокочастотные (СВЧ) влагомеры целесообразно применять в качестве лабораторных и поточных в тех случаях, когда требуется высокая точность

измерений (+0,3-0,5%абс). Установлено, что экономический эффект от их внедрения значительно превосходит достаточно высокую стоимость этих приборов. Так, например, ошибка в определении влажности зерна в мукомольном производстве при доувлажнении перед помолом на 0,5% абс. способна перевести всю партию муки из высшего сорта в первый или даже второй, при существенном, до 5-7% уменьшении выхода готовой продукции. Потери мелькомбинатов при этом составят 30-75 рублей на тонну перерабатываемой продукции. Аналогичные примеры можно привести по сушке зерна, свеклосахарному и пивоваренному производству, а также по производству сухого молока, казеина, табака и др.[2]

В настоящее время в АПК все более широкое применение получают СВЧ-методы контроля влажности благодаря целому ряду их преимуществ перед другими электрофизическими методами. В первую очередь на базе СВЧ-методов создаются влагомеры высокого класса точности. Многолетний опыт разработки экспресс-влагомеров в лаборатории СВЧ-влагометрии БГАТУ с организацией их серийного выпуска научно-производственным предприятием «Микрорадар» (Минск) говорит о перспективности этого направления в сельскохозяйственном приборостроении. За почти тридцатилетний период деятельности лаборатории было разработано и внедрено свыше 40 различных приборов и устройств контроля влажности, основанных на всех основных методах СВЧ-влагометрии. В настоящее время НИП «Микрорадар» серийно выпускаются пять базовых моделей (в нескольких модификациях каждая) влагомеров семейства «Микрорадар 101...114», основанных на амплитудных (по поглощению СВЧ-энергии) и резонаторных параметрах преобразования

Выбор микроволнового диапазона электромагнитных волн диктуется диэлектрическими свойствами самой воды, определяющими высокую точность и чувствительность метода к содержанию влаги в зернопродуктах при минимальном влиянии различных мешающих факторов (сорт, тип, вид зерна, район произрастания и пр.), В то же время, для повышения точности измерения влажности, необходим учет влияния плотности и температуры (либо их стабилизация или автоматическая коррекция), что характерно для всех косвенных методов.

Диэлектрические свойства большинства сельскохозяйственных продуктов в функции влажности $\epsilon^*(W)$ можно достаточно точно описать на основании линейной модели [2], откуда вытекает, что действительная $\epsilon'(t)$ и мнимая $\epsilon''(t)$

части комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^* (а также коэффициенты затухания $\alpha = \frac{\pi \epsilon''}{\lambda \sqrt{\epsilon'}}$ и фазы $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon'}$) зависят не только от влажности W , но и от плотности исследуемого материала ρ . В связи с этим рассмотрим два варианта использования микроволновых влагомеров в технологических процессах переработки сельскохозяйственной продукции.

Технологический процесс сушки зерна позволяет достаточно просто стабилизировать поток контролируемого материала. В данном случае достаточно измерять только один параметр, например результирующий коэффициент затухания электромагнитной волны во влагосодержащем материале α_H (при условии автоматической температурной коррекции). Таким образом, зависимость между затуханием N в образце толщиной d и влажностью будет иметь вид

$$N = 8,686 \cdot \alpha_H \cdot W \cdot \rho \cdot d \quad (1)$$

Коэффициент затухания α_H в рамках линейной модели будет определяться выражением:

$$\alpha_H = \alpha_{HC} \cdot q_{HC} + \alpha_{HP} \cdot q_{HP} + \alpha_{HO} \cdot q_{HO}, \quad (2)$$

где: $\alpha_{HC}, \alpha_{HP}, \alpha_{HO}$ — коэффициенты затухания электромагнитной волны в воде связанной, полисорбции и свободной;

q_{HC}, q_{HP}, q_{HO} — объемные концентрации воды связанной, полисорбции и свободной.

Из (2) имеем:

$$\alpha_H = \Phi \frac{\rho_d}{\rho_H} \left[\frac{W}{(1-W)} \alpha_{HO} + \frac{\mu S_s}{N_A \sigma} a_{max} f(w, s_s, a_m) (\alpha_{HP} - \alpha_{HO}) + \frac{W_{cr}}{1-W_{cr}} (\alpha_{HC} - \alpha_{HO}) \right] \quad (3)$$

где: Φ — коэффициент заполнения;

ρ_d, ρ_H — плотность сухого материала и воды;

μ — грамм молекулярный вес воды;

S_s — удельная поверхность зерна (пшеницы);

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$;

$\sigma = 3 \cdot 10^{-8}$ посадочное место одной молекулы воды на поверхности твердой фазы;

$a_{max} = 100$, максимальное количество монослоев воды занимаемых влагой полисорбции в данном материале;

$W_{cr} = 10\%$, критическая влажность, соответствующая переходу от связанной воды в зерне к воде полисорбции.

$f_1(w, s_s, a_m)$ — функция, характеризующая соотношение между свободной и связанной водой.

Функция $f_1(w, s_s, a_m)$ в соответствии с моделью Ивенса-Бускера [2], в которой предполагается, что скорость изменения данной формы влаги по мере увлажнения прямо пропорциональна части сорбционного объема не занятой этой влагой. Следовательно можно записать:

$$\frac{dq_{HP}}{dQ} = 1 - \frac{q_{HP}}{q_{HPmax}} \quad (4)$$

где: q_{HP} — объемная концентрация влаги полисорбции;

$Q = \frac{P_H}{\rho_H \cdot V}$ — относительная объемная влажность материала, т.е.

относительное количество воды (P_H) в единице объема ($V = q_{HC} + q_{HP} + q_{H0}$);

Интегрируя (4), с учетом, что при $Q = Q_{HP} \cdot q_{HP} = 0$, получаем

$$q_{HP} = q_{HPmax} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Q_{cr} - Q}{q_{HPmax}}} \right) \quad (5)$$

Выражением (5) в таком виде пользоваться неудобно т.к. все входящие в него объемные концентрации воды зависят от коэффициента заполнения Φ . Зная удельную поверхность материала S_s и максимальное количество монослоев воды полисорбции a_{max} , q_{HPmax} можно найти следующим образом:

$$q_{HPmax} = \frac{\mu \cdot \rho_d \cdot S_s}{N_A \cdot \rho_H \cdot \sigma} \cdot a_{max} \cdot \Phi, \text{ тогда}$$

$$q_{HPmax} = \Phi \cdot \frac{\rho_0 \cdot \mu \cdot S_s}{\rho_H \cdot N_A \cdot \sigma} \cdot a_{max} \left[1 - \exp \frac{(W_{cr} - W) \cdot \sigma \cdot N_A}{(1 - W_{cr}) \cdot (1 - W) \cdot \mu \cdot S_s \cdot a_{max}} \right] \quad (6)$$

Следовательно функция $f_1(w, s_s, a_{max})$ будет определяться выражением:

$$f_1(w, s_s, a_{max}) = 1 - \exp \frac{(W_{cr} - W) \cdot \sigma \cdot N_A}{(1 - W_{cr}) \cdot (1 - W) \cdot \mu \cdot S_s \cdot a_{max}} \quad (7)$$

Результаты расчета, с учетом того, что коэффициент заполнения Φ является функцией влажности приводят к зависимости, отличающейся от градуировочной для Микрорадар 113 не более чем на 10% (рис. 1.)

Однако в мукомольном производстве, в связи с необходимостью доувлажнения зерна с 12-14% до 15,5-16% необходимо учитывать влияние свободной и связанной воды т.е. переходить на другой алгоритм расчета. Для этой цели была разработана новая модификация влагомера с двумя микроволновыми сенсорами (на входе и выходе увлажняющей машины) и одним вычислительным блоком, работающим по двум алгоритмам

Второй алгоритм также основан на уравнении (1), но $\alpha_H = \alpha(W)$ находится расчетным путем по известным диэлектрическим характеристикам свободной воды.

$$N = N_0 + \alpha(W) \cdot k \cdot (W - W_0); \quad (8)$$

Результаты расчета по принятой модели зерна (пшеницы) для температуры $t=20^\circ\text{C}$ и длины волны $\lambda = 3.2\text{cm}$ приведены на рис. 1. (пунктир – для свободной воды)

Результаты экспериментальных исследований, а также опыт производственной эксплуатации автоматических систем доувлажнения на базе влагомера «Микрорадар 113-2» (рис. 2, а) доказывают возможность высокой точности поддержания конечной влажности ($\pm 0,2\%$) [2].

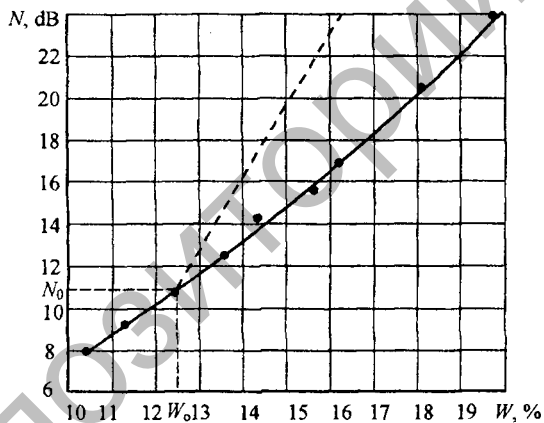


Рисунок 1 – Расчетная зависимость N для микроволнового датчика №1 (—) и №2 (--) в функции влажности W , ● – экспериментальные значения для пшеницы натуральной влажности

Лабораторный СВЧ-влагомер зерна «Микрорадар-101» разработан в соответствии с ТУ РБ 14792938.001-98. Он предназначен для точного

экспрессного измерения влажности зерна, зернопродуктов, муки и других сыпучих материалов в лабораторных и цеховых условиях предприятий АПК. Влагомер разработан и изготовлен в соответствии с ГОСТ 29027-91 и международным стандартом МОЗМ Р59 и аттестован Госстандартом РБ как средство измерения влажности повышенной точности (абсолютная погрешность измерения влажности не превосходит 0,35 – 0,5% в зависимости от вида контролируемого материала в диапазоне 10 – 25%). Прибор внесен в Госреестр РБ как базовая модель типоразмерного ряда амплитудных СВЧ-влагомеров серии «Микрорадар» под №03 090574 98, имеет сертификат соответствия и внесен в Госреестр РФ под №17787-98. Влагомер МР-101 положил начало интеллектуализированному ряду сверхвысокочастотных измерителей влажности для сельскохозяйственного производства. Внешний вид прибора приведен на рис.2,б.

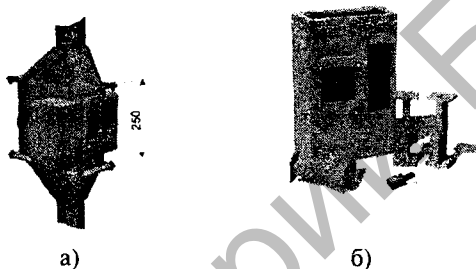


Рисунок 2 – Внешний вид приборов, а) Микрорадар 113, б) Микрорадар101.

Литература

1. Секанов Ю.П. Влагометрия сыпучих и волокнистых материалов. – М.: ВИМ, 2001.-190 с.
2. Лисовский В. В. Теория и практика СВЧ-контроля влажности с/х материалов. Мн.: БГАТУ, 2005.-292 с.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГАЗИФИКАЦИИ В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ НА БИОМАССЕ

Марушко В.А, (БГАТУ) г. Минск

На предприятиях, занимающихся сушкой древесины, занятых проблемой решения снижения удельных энергозатрат на выпуск единицы продукции, выбор остановлен на газогенераторах, производящих генераторный газ,