

Микроволновая обработка позволяет удовлетворить главные требования к зерновому сырью, используемому в комбикормовом производстве.

Так как устойчивость комбикормов при хранении и продолжительность их хранения без заметного ухудшения кормовой ценности зависит именно от исходного состояния зернового сырья, недопустимо использование при производстве комбикормов зернового сырья, заражённого амбарными вредителями. Единственным фактором, воздействующим на центральную часть зерновки, а значит и на скрытую форму заражённости, является воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты. Эффект объёмного нагрева при тепловой обработке зерновой массы переменным электромагнитным полем достигается в результате проникновения его в продукт на значительную глубину.

Проведенный теоретический анализ данных позволяет сделать вывод о том, что применяя СВЧ энергию, можно направленно управлять и регулировать качественные характеристики зернопродуктов в комбикормовом производстве. Для этого достаточно знать их диэлектрические свойства, основные характеристики СВЧ-нагрева, закономерность тепло- и массопереноса при этом нагреве.

Литература:

1. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. – Москва: Росагропромиздат, 1998.
2. Сыроватко В.И. Производства комбикормов в хозяйствах. – Москва: Росагропромиздат, 2001.
3. Пресман А.С. Исследование биологического действия микроволн. – Зарубежная электроника, 1984.

УДК 631.56

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ СВЧ-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Лисовский В.В., к.т.н., доц., Булко М.И., ст. преподаватель,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Как правило в СВЧ-влажнометрии сельскохозяйственных материалов используют одно- и двухпараметровые методы измерения,

ввиду их относительной простоты. Эти методы основаны на использовании одной или двух величин, характеризующих определенные параметры электромагнитного поля СВЧ, функционально связанные с влажностью материала

В [1] было показано, что влажность W , коэффициент заполнения Φ , температура T и концентрация солей C оказывают наиболее сильное влияние на диэлектрические характеристики влагосодержащих материалов. Тогда для нахождения влажности с учетом указанных параметров система уравнений запишется:

$$x_1 = F_1(W, \Phi, T, C), x_2 = F_2(W, \Phi, T, C), x_3 = F_3(W, \Phi, T, C), x_4 = F_4(W, \Phi, T, C) \quad (1)$$

В таком виде эта система не имеет решения, т.к. нам известно только два независимых параметра преобразования – коэффициент затухания α (или ϵ'') и фазовая постоянная β (или ϵ'). В (1) можно убрать один параметр – концентрацию солей C , снизив его влияние на x до величин второго порядка малости соответствующим выбором частоты. Для крупнодисперсных влажных материалов закон изменения α , β , ϵ'' и ϵ' от температуры известен. Анализ работ по СВЧ-влагометрии, сделанный в [1] показывает, что коэффициент заполнения Φ является наиболее значимым параметром, который относят к "мешающим факторам". Поэтому произведем комплексирование параметров α и β с целью получения параметра преобразования, независимого от Φ . Сократив систему (1) до двух уравнений и подставив значения α и β из [1], получим

$$\alpha = \Phi \frac{\rho_0 W}{\rho_H (1-W)} \times \alpha_H; \quad \beta = \Phi \left[\frac{\rho_0}{\rho_H} \frac{W}{1-W} (\beta_H - \beta_0) + (\beta_C - \beta_0) \right] \quad (2)$$

Эта система решается относительно W с исключением Φ

$$W = \left\{ 1 - \frac{\rho_0}{\rho_H} \left[\frac{\beta_H - \beta_0}{\beta_C - \beta_0} - \frac{\alpha_H}{\alpha} \left(\frac{\beta - \beta_0}{\beta_C - \beta_0} \right) \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

Второй способ состоит в исключении Φ из этих двух уравнений без выделения в явной форме W .

Поделив уравнение α на β в (8) приходим к A -параметру [2], независящему от коэффициента заполнения

$$A(W) = \frac{\alpha}{\beta - \beta_0} = \frac{\alpha_H(W)}{[\beta_H(W) - \beta_0] + \frac{\rho_H}{\rho_0} (\beta_C - \beta_0) \left(\frac{1}{W} - 1 \right)} \quad (4)$$

Зависимости $\alpha_n(W)$ и $\beta_n(W)$ отражают тот факт, что по мере увлажнения материала меняется количественное соотношение между различными формами влаги в материале

В [1] показано, что с учетом связи между комплексной диэлектрической проницаемостью влагосодержащего материала и коэффициентами α и β можно получить другую полезную для практических целей форму записи A – параметра:

$$A(W) = 0.5K\varepsilon''/\varepsilon' - 1, \quad (5)$$

Так как ε'' и ε' являются функциями температуры, то и $A(W)$ также зависит от температуры.

Если теперь поставить задачу комплексирования трех параметров, чтобы устранить влияние температуры, то на наш взгляд, решить эту задачу аналитически не представляется возможным, т.к. температура входит в выражения для ε^* влажного материала в сложном виде.

Решение этой задачи состоит в минимизации степени влияния температуры на A -параметр, путем оптимизации частоты. На рис.1 приведены результаты расчета зависимости A -параметра от влажности для кварцевого песка различной

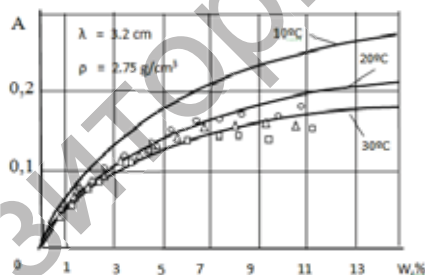


Рис. 1 Зависимость A -параметра для кварцевого песка от влажности и температуры на длине волны $\lambda = 3,2$ см.

Результаты эксперимента: \circ - $\rho_0 = 2,75 \text{ g/cm}^3$; Δ - $\rho_0 = 2,47 \text{ g/cm}^3$;
 \square - $\rho_0 = 2,28 \text{ g/cm}^3$

Аналогичные зависимости получены авторами для чая и резаного табака, причем плотность (коэффициент заполнения) изменялась в 2,5-3 раза. Во всех трех случаях до определенной критической влажности наблюдалось отсутствие влияния плотности на результат измерения влажности по A -параметру. В то же время при влажности

больше некоторой критической наблюдалось резкое снижение чувствительности и неоднозначность в определении содержания влаги. Теоретическое объяснение этому факту дано в работе [2].

Как уже указывалось выше на параметр преобразования в СВЧ-методах в первую очередь оказывает влияние влажность и лишь затем плотность (коэффициент заполнения) и температура. Если влияние температуры можно уменьшить до допустимых классов точности прибора пределов, например, введением автоматической температурной коррекции, либо, как в случае с *A*-параметром выбором рабочей частоты, то влиянием переменной плотности, особенно при поточных измерениях, пренебречь невозможно. Частично эта задача решается в двухпараметровых СВЧ-методах, а также при измерении *A*-, *B*- и *C*-параметров, теоретически зависящих только от влажности (при автоматической температурной коррекции) [1]. Однако, в ряде случаев наблюдается неоднозначность в определении влажности материалов переменной плотности по *A*-параметру, особенно в области высоких влагосодержаний [1-3]. Попытки применения комбинированных амплитудно-фазового метода, а также других СВЧ-методов на основе измерения *B*-и *C*-параметров также не всегда позволяют существенно повысить точность измерений влажности материала в потоке при значительных колебаниях его плотности. Например, в случаях поточных измерений влажности табака, чая, хлопка и подобных материалов.

В то же время результаты исследования ультразвукового метода измерения влажности твердых сыпучих материалов [4], что стало возможным с разработкой при участии авторов пьезокерамических приемников-излучателей для газовой среды, показали возможность создания акустических влагомеров. Причем в отличие от СВЧ-методов чувствительность к изменению плотности у акустических методов оказалась на порядок выше чем чувствительность к влажности. Это обстоятельство подсказало идею создания комбинированного СВЧ-акустического метода измерения влажности материалов переменной плотности.

Сущность предлагаемого способа заключается в измерении влажности табака на основе резонаторного двухпараметрового метода с коррекцией по плотности, путем введения коэффициентов k_1 и k_2 , получаемых на основе измерения амплитуды ΔU и фазы Δt акустической волны, прошедшей через данный материал.

Т.е. фактически мы должны решить систему как минимум трех уравнений с тремя неизвестными: $\Delta N = \varphi_1(W, \Phi, t)$, $\Delta f = \varphi_2(W, \Phi, t)$, $\Delta U = \varphi_3(W, \Phi, t)$, а также $\Delta \tau = \varphi_4(W, \Phi, t)$.

Последнее выражение вносит структурную избыточность, что позволяет дополнительно повысить достоверность измерений. В [1] приведено выражение, связывающее четыре измеряемых параметра с влажностью материала W . Оно позволяет избавиться от необходимости решения системы уравнений со структурной избыточностью:

$$W = F \left[\frac{\exp\left(\frac{\Delta N \ln U_0 / U_1 k_1}{8,686}\right) - 1}{\Delta f} \tau_0 / \tau_1 k_2 \right] \quad (6)$$

где F —обратная функция от измеряемых параметров, связанных с влажностью;

ΔN — переходное ослабление резонатора, дБ;

U_0 —амплитуда напряжения зондирующего импульса пьезоприемника в отсутствие материала, мВ;

U_1 —амплитуда напряжения зондирующего импульса пьезоприемника прошедшего через материал, мВ;

τ_0 —время прохождения зондирующего импульса в отсутствие материала, мс;

τ_1 —время прохождения зондирующего импульса с материалом в резонаторе, мс;

Δf — смещение частоты резонатора, ГГц;

k_1 и k_2 — коэффициенты, являющиеся константами для данного материала.

Реализован данный способ измерения в резонаторном СВЧ-влажномере табака, основанном на измерении A -параметра [1]. При этом в диапазоне влажности табака 8...12% коррекция на изменение плотности от 0,2г/см³ до 0,5г/см³ не требуется. При больших влажностях вносится дополнительная коррекция на изменение плотности путем измерения параметров акустической волны прошедшей через материал. Абсолютная погрешность измерения влажности при этом не превышала 0,5%.

Выводы

Комбинированные СВЧ-акустические методы позволяют существенно повысить точность измерения влажности материалов переменной плотности.

Литература

1. Лисовский В.В. «Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов» – Минск: БГАТУ, 2005.-292с.
2. Igor Renhart, Boris Tsentsiper, Dielectric Properties of Bulk Materials and Restrictions to the Application of Two-Parameter Microwave Aquametry. 6Th International Conference on «Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances». –Weimar, Germany, 2005.– pp. 481–488.
3. Lisovsky, V. The Automatic Control of Moisture in Agricultural Products by Methods of Microwave Aquametry / V. Lisovsky // Measurement Science and Technology.– 18 (2007).– pp. 1016–1021.

УДК 631.56

ЗАРУБЕЖНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ ВЛАГОМЕРЫ

Лисовский В.В., к.т.н., доц., Булко М.И., ст. преподаватель,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Наметившаяся в предыдущем десятилетии тенденция разработки двух и более параметрических измерительных преобразователей контроля влажности на основе микроволновых методов продолжается и в настоящее время, что подтверждается материалами недавно прошедшей в Веймаре 10-й международной конференции «Взаимодействие микроволнового электромагнитного поля с влагосодержащими субстанциями» [1]. Это относительное усложнение и удорожание конструкции приборов контроля влажности позволяет существенно повысить их метрологические характеристики за счет учета влияния плотности и температуры, а также некоторых других «мешающих факторов», влияющих на точность измерений. В связи с этим следует отметить, что данные устройства можно рекомендовать в тех случаях, когда экономический эффект от их использования значительно превосходит стоимость приборов. Соотношение