

В этом выражении:  $P_{\max}$  – давление вентилятора, развиваемое при работе на режиме  $\eta_{\max}$ , Па;  $n$  – число оборотов рабочего колеса, об/м;  $\rho$  – плотность перемещаемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $R_2$  – радиус рабочего колеса, измеренный по выходным кромкам лопаток. Отметим, что  $R_2 = N_0/(2 \times 10)$ . Здесь  $N_0$  – номер вентилятора.

Как правило, в системах вентиляции картофелехранилищ применяются вентиляторы низкого давления, имеющие коэффициент давления не выше 1, следовательно, полный максимальный КПД вентиляторов, применяемых в рассматриваемой отрасли, не должен быть меньше 0,78.

Приведенные факты устанавливают требования органов государственного надзора по эффективному расходу электрической энергии, затрачиваемой на привод вентиляторов, суть которых сводится к тому, что применяемый вентилятор должен эксплуатироваться только в зоне  $\eta_d \geq 0,9\eta_{\max}$ , а его полный максимальный КПД должен удовлетворять требованиям, содержащимся в приводимой выше таблице.

Вывод: применение эффективных способов раздачи приточного воздуха в овощекартофелехранилищах с расположением продукции в контейнерах позволяет существенно снизить расход электроэнергии на привод вентиляторов приточных систем.

#### Литература

1. Дячек П.И. Научно-технические основы управления температурно-влажностным режимом хранения картофеля и овощей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07; 05.14.05 / П.И. Дячек ; БГАТУ . – Минск, 1997. – 35 с.
2. Дячек, П.И. Повышение эффективности воздушных систем охлаждения хранилищ / П.И. Дячек, В.П. Николаенко, Ю.В. Крейдик // Холодильная техника. – 1990. – № 4. – С. 2–7.

### **КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ**

Лисовский В.В., к.т.н., доцент, Булко М.И., старший преподаватель,  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*;  
Воробьев С.И., инженер  
*УО «Белорусский национальный технический университет»*,

Как правило в микроволновой влагометрии промышленных и сельскохозяйственных материалов используют одно- и двухпараметровые методы измерения, ввиду их относительной простоты. Эти методы основаны на измерении одной или двух величин, характеризующих определенные параметры электромагнитного поля, функционально связанные с влажностью, плотностью, температурой материала, концентрацией солей и другими, как правило, менее значимыми характеристиками.

В [1] было показано, что 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 пределов введением автоматической температурной коррекции, либо выбором рабочей частоты, то влиянием переменной плотности, особенно при поточных измерениях, пренебречь невозможно. Частично эта задача решается в двухпараметровых СВЧ-влагомерах, а также при измерении А-, В- и С-параметров теоретически зависящих только от влажности (при автоматической температурной коррекции) [1]. Однако, в ряде случаев наблюдается неоднозначность в определении влажности материалов переменной плотности по А-параметру, особенно в области высоких влагосодержаний [2]. Попытки применения комбинированных амплитудно-фазового метода, а также других СВЧ-методов на основе измерения В- и С-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 [3], показали возможность создания акустических влагомеров, однако по метрологическим характеристикам они оказались на уровне традиционных емкостных, т.к. чувствительность к влажности у акустических методов на порядок ниже чем у сверхвысокочастотных. Также как и у всех основных электрофизических устройств контроля влажности, амплитудные и амплитудно-фазовые ультразвуковые влагомеры показали значительную зависимость от плотности и температуры. Причем в отличие от СВЧ-методов чувствительность к измене-

нию 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 [4,5].

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

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

Последнее выражение вносит структурную избыточность, что позволяет дополнительно повысить достоверность измерений.

В [5]приведено выражение, связывающее четыре измеряемых параметра с влажностью материала  $W$ . Оно позволяет избавиться от необходимости решения системы уравнений со структурной избыточностью:

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

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

$\Delta N$  – переходное ослабление резонатора, дБ;

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

$U_1$ –амплитуда напряжения зондирующего импульса прошедшего через материал, мВ;

$\tau_0$  – время прохождения зондирующего импульса в отсутствие материала, мс;

$\tau_1$  – время прохождения зондирующего импульса прошедшего через материал, мс;

$\Delta f$  – смещение частоты резонатора, ГГц;

$k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, являющиеся константами для данного материала.

Приведенное выражение получено на основе известного ранее из [1,2] алгоритма определения влажности для резонаторных методов:

$$A(W) = k_1 \frac{\exp(\Delta N / 8.686) - 1}{\Delta f}, \quad (2)$$

где  $k_1 = k_0 \cdot f_0 / 2Q_{\text{но}}$  ;

$\Delta N$  – переходное ослабление резонатора;

$\Delta f$  – ход его резонансной частоты;

$Q_{\text{но}}$  – добротность ненагруженного резонатора.

Реализован данный способ измерения в модернизированном резонаторном СВЧ-влажномере табака, основанном на измерении  $A$ -параметра [1]. Причем в диапазоне влажности табака 4...14% коррекция на изменение плотности от  $0,12\text{г/см}^3$  до  $0,56\text{г/см}^3$  не требуется. При больших влажностях вносится дополнительная коррекция на изменение плотности путем измерения параметров акустической волны прошедшей через материал. Модернизация резонатора влагомера Микрорадар 114м производилась путем установки излучателя и приемника ультразвуковых колебаний на противоположных стенках в нижней части измерительной кюветы (лабораторный вариант). При измерении влажности табака, плотность которого изменяется в пределах от  $0,1\text{г/см}^3$  до  $0,6\text{г/см}^3$  его засыпают в кювету, находящуюся в цилиндрическом резонаторе с частотой  $f_0 = 1,5 \pm 0,1$  ГГц, при этом определяем переходное ослабление  $\Delta N$  и сдвиг резонансной частоты  $\Delta f$ . В поточном варианте влагомера применен открытый цилиндрический резонатор, конструктивно связанный с формирователем потока. Диапазон изменения влажности табака в технологических процессах составляет от 5% до 30%. Для измерения влажности табака в диапазоне 5-14% лучше пользоваться соотношением (2), т.к. у комбинированного метода здесь относительно низкая чувствительность, что хорошо видно на зависимости (рис.1).

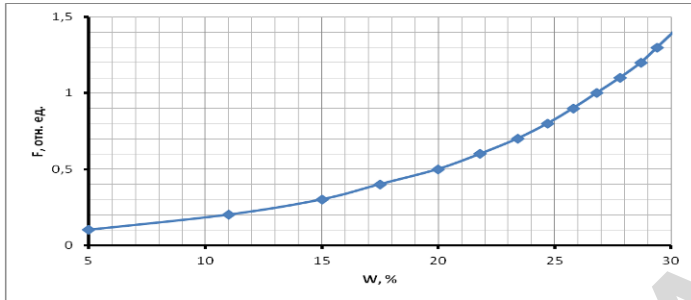


Рис 1. Зависимость параметра  $F$  для резаного табака от влажности при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на длине волны  $\lambda = 20\text{ см}$ .

Значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  зависят от акустических свойств материала, так для кварцевого песка, как для модельного материала установлены  $k_1 = k_2 = 1$ , для резаного табака экспериментально (по зависимостям амплитуды  $U_1$  и времени прохождения зондирующего сигнала  $\tau_1$  от плотности при постоянных влажностях) определены средние значения коэффициентов  $k_1 = 0,132$  и  $k_2 = 2,067$ , которые и заносятся в память процессора.

Графики зависимостей для нахождения корректирующих коэффициентов приведены на рис. 3 и 4. Кроме указанных зависимостей для облегчения нахождения корректирующих коэффициентов полезно построить семейство вспомогательных кривых  $\ln U_0 / U_1$  и  $\tau_0 / \tau_1$  в функции влажности для нескольких значений плотности в диапазоне  $0,2 - 0,5\text{ г/см}^3$ .

Введением дополнительной информации о параметрах акустической волны (СВЧ-акустический метод) за счет получения структурной избыточности в комбинированной системе получаем возможность дополнительной коррекции измерительной информации по плотности (коэффициенту заполнения) и температуре материала переменной плотности.

Параметры зондирующего импульса  $U_0, U_1$  и  $\tau_0, \tau_1$  как раз и несут такую информацию.

Реализация обобщенного выражения (1) сравнительно легко осуществить на основе современных микропроцессорных контроллеров, а коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  определяются экспериментально для каждого нового материала.

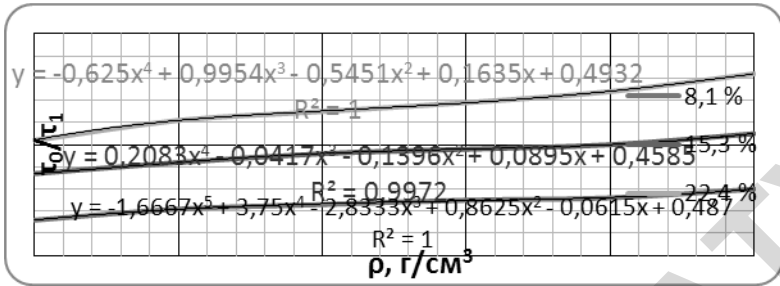


Рис. 3 Зависимость относительного изменения времени прохождения акустического сигнала  $\tau_0/\tau_1$  от плотности табака  $\rho$  для трех значений влажности

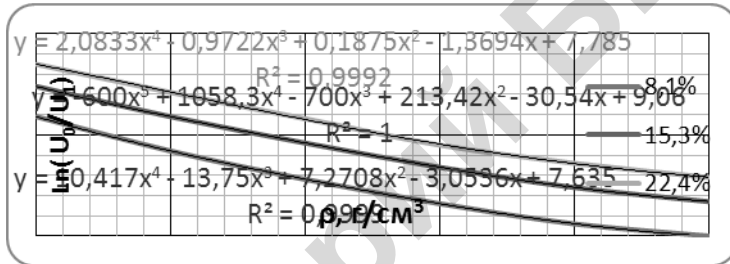


Рис.4 Зависимость логарифма отношения амплитуд напряжений зондирующего импульса в отсутствие и при наличии материала в датчике  $\ln U_0/U_1$  от плотности табака  $\rho$ .

Что касается обратной функции  $F$ , то вначале находится зависимость  $F(W)$ , которая с помощью процессора линейризуется на отдельных участках (кусочно-линейная аппроксимация), а корректирующие коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  заносятся в память процессора.

Для случая резаного табака зависимость параметра  $F$  от влажности при температуре  $20^\circ\text{C}$  на длине волны  $\lambda = 20$  см можно аппроксимировать выражением:  $F = 0,0622 \exp 0,1042W$ , откуда  $W = 9,596929 \ln(16,077F)$ .

#### Закключение

Комбинированные СВЧ-акустические методы позволяют существенно повысить точность измерения влажности материалов переменной плотности в тех случаях когда комплексирование функций преобразования на базе только микроволновых методов не приносит требуемых результатов.

#### 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. Байлук Н.Д., Басюк Е.И., Булко М.И., Занкевич В.А., Лисовский В.В., Сизов В.Д. «Ультразвуковой метод измерения влажности зерна» // Инженерный вестник. 2008, №1.(25) – С. 63–67.

## **ВНЕДРЕНИЕ ПЕРЕДВИЖНОГО НАВЕСА НА ПАСТБИЩАХ**

Шилин В.А., к.т.н., профессор, Герасимова О.А., к.т.н.,  
Лифанов Д.В., аспирант

*Федеральное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», г. Великие Луки, РФ*

Пастбищный период в молочном животноводстве Псковской области, где под пастбищами заняты значительные неиспользуемые площади, считается реальным резервом повышения молочной продуктивности и снижения себестоимости производства молока в летний период.

Недостаточное внимание уделяется вопросам бесстрессового содержания и защиты животных от солнечной радиации и атмосферных осадков. В молочном животноводстве стресс могут вызвать такие факторы, как появление в помещении незнакомого человека, новое незнакомое окружение, жара или холод, корм, шум, битье животного и т.д.

Передвижных средств защиты (навесов) для использования в пастбищном животноводстве, насколько известно, в реальности не существует. Проведенный патентный поиск позволил выявить множество вариантов, предлагаемых технических решений таких сооружений. Однако, каждый из них далек от требований пастбищного животноводства: все конструкции стационарны, рассчитаны на защиту небольшого количества животных, отличаются высокими трудозатратами при сборке и разборке, высокой металлоемкостью.