

## ПОТОЧНЫЙ СВЧ-ВЛАГОМЕР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ДЛЯ АПК РОССИИ И БЕЛАРУСИ

*Абдеев Р. Г., доктор технических наук, профессор;  
Мусабинов А. З.; Колесникова О. А.,  
Башкирский государственный университет*

*Саитов Р. И., доктор технических наук, профессор;  
Талипов Н.С., старший преподаватель,  
Уфимский филиал ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,  
г. Уфа, Российская Федерация*

Материалы АПК имеют сложную структуру, кроме того, включают органические и минеральные сорные примеси, такие как стебли, стержни колоса, пленки, испорченные зерна и зерна сорных растений. Количественное соотношение указанных составляющих может изменяться в широких пределах.

В [1] показано, что физические свойства компонент этих материалов существенно различаются и зависят от многочисленных факторов.

Сравнение нормируемых ГОСТами характеристик пшеницы, ржи, ячменя, риса, гороха, кукурузы показывает, что они имеют общий диапазон влагосодержания 8-25%. Как показывает анализ литературы [2], у рассматриваемых материалов в обезвоженном состоянии основные физические характеристики (плотность, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, теплоемкость, неоднородности распределения макроструктурных элементов по объему) имеют значения величин одного порядка. Общим свойством рассматриваемых материалов является наличие различных форм связи влаги с веществом вплоть до свободной (несвязанной) воды. Гигротермические характеристики этих материалов имеют одинаковый вид, различаясь на 10-20 % при нормальных условиях. В литературе отмечается различие сорбционных характеристик для зерна в зависимости от его типа и сорта, а также от почвенно-климатических условий произрастания. Причем эти различия соизмеримы с различиями характеристик материалов внутри исследуемой группы.

Таким образом, свойства воды, сорбированной зерном, при одном и том же значении влажности изменяются по некоторым вероятностно-статистическим законам. Эти свойства оказывают существенное влияние на результаты измерения влажности косвенными, в частности, электрическими методами. В разработанной нами системе контроля влажности зерна в потоке зерносушилки, основанном на гигротермическом методе [3], для устранения влияния указанного фактора, потребовалось учитывать исходную влажность зерна на входе зерносушилки. Зерно на входе зерносушилки формируется из двух потоков: из хранилища и недосушенное зерно с выхода зерносушилки. Диапазон влажности полученной смеси составляет 14-30%, сама смесь характеризуется существенными неоднородностями по влажности, что приводит к недопустимым погрешностям измерений при измерениях практически любыми методами.

Целью данной работы является разработка способа и СВЧ-влажмера для измерения влажности зерна в технологическом процессе сушки на входном потоке зерносушилки.

Проходящий через материал СВЧ-сигнал взаимодействует со случайно расположенными в объеме неоднородностями только в одной плоскости – плоскости поляризации и характеризует влажность материала с погрешностью, определяемой этими неоднородностями (рис.1).

Для устранения этого недостатка нами предложено в датчике поточного влагомера между передающей и приемными антеннами установить диэлектрическую пластину в плоскости, параллельной движению зерна, как показано на рис.2.

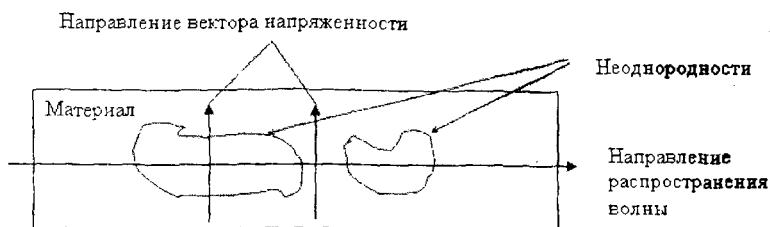


Рис. 1. Взаимодействие СВЧ-волны с неоднородностями в случае линейно поляризованной волны

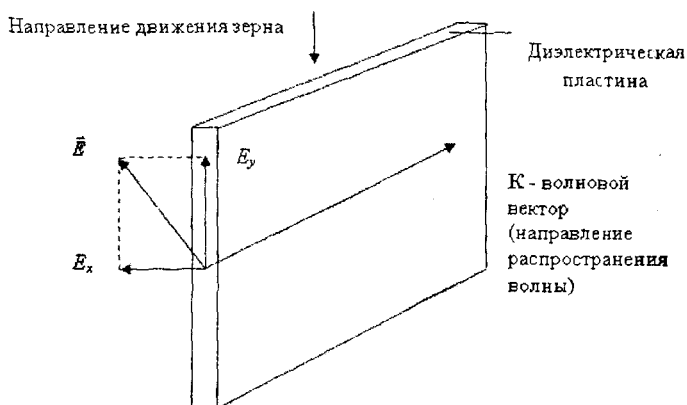


Рис. 2. Диэлектрическая пластина, установленная в плоскости, параллельной движению зерна

Разложим вектор  $\vec{E}$  в плоскости  $x, y$  по двум взаимно перпендикулярным направлениям. При этом имеем

$$\begin{aligned} E_x &= a_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ E_y &= a_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $t$  – время,  $a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2$  – действительные амплитуды и фазы ортогональных проекций вектора  $\vec{E}$ . Если отношение амплитуд  $a_1, a_2$  и сдвиг фаз между ними не изменяются, то электромагнитная волна поляризована. При наличии диэлектрической пластины составляющая  $E_y$  в каждой точке пространства остается неизменной, а  $E_x$ , из-за движущегося неоднородного по влажности потока зерна, следовательно, непостоянства отношения амплитуд  $a_1, a_2$  и сдвига фаз между ними изменяется случайным образом. В силу этого вектор  $\vec{E}$  в плоскости фронта волны в произвольный момент времени будет ориентирован произвольным (случайным) образом, то есть электромагнитная волна неполяризована.

В случае неполяризованной волны вектор электрической напряженности  $\vec{E}$  взаимодействует со случайно расположенными в объеме неоднородностями во всех направлениях равновероятно, вне зависимости от места их расположения и формы, а амплитуда прошедшей через материал волны при этом характеризует усредненную интегральную влажность материала не зависящую от неоднородностей (рис.3).

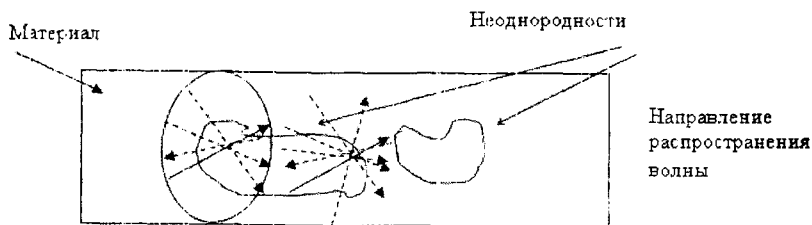


Рис.3. Взаимодействие неполяризованной волны с влажным материалом

В предлагаемом способе из-за неполяризованной волны получается эффект многократных измерений как бы при вращении контролируемого образца в случае линейно-поляризованной волны. При этом многократных измерений не требуется, т.к. амплитуда прошедшей через материал волны уже характеризует усредненную интегральную влажность материала, не зависящую от неоднородностей. Покажем это.

При многократных измерениях с последующим усреднением измеряемой величины доверительный интервал случайной составляющей погрешности на уровне 0,95 определяется из выражения:

$$\Delta = t_{0,95} \frac{S(x_i)}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

где  $x_i$  - измеряемая случайная величина,  $t_{0,95}$  - коэффициент Стьюдента,  $N$  - число наблюдений,  $S(x_i)$  - оценка среднеквадратического отклонения случайной величины

Действительно из (1) следует, что при  $N \rightarrow \infty$  доверительный интервал  $\Delta \rightarrow 0$ . При этом среднее значение измеряемой величины ( $\bar{x}$ ) стремится к его истинному значению, т.к.

$$x_{ист} = \bar{x} \pm \Delta$$

При случайном расположении вектора  $\vec{E}$ , каждое его положение соответствует отдельному измерению, т.к. вносит долю ослабления в СВЧ-сигнал при соответствующей ориентации к неоднородности и все эти доли суммируются в общее ослабление проходящего через материал СВЧ-сигнала. Поскольку положений вектора  $\vec{E}$  бесчисленное множество, то  $N \rightarrow \infty$ , и в соответствии с выражением (2) для доверительного интервала случайной погрешности справедливо:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Delta = \lim_{N \rightarrow \infty} t_{0,95} \frac{S(x_i)}{\sqrt{N}}$$

При этом снижение случайной погрешности осуществляется при поточных измерениях. Предлагаемый способ измерения влажности на СВЧ применим не только к сыпучим, но и жидким и пастообразным материалам.

Экспериментальные исследования, проведенные на специально созданной поточной установке контроля влажности на основе амплитудного СВЧ-метода, также подтвердили правильность теоретического обоснования разработанного способа.

#### *Литература:*

1. Саитов, Р.И. СВЧ-влажнометрия сельскохозяйственных продуктов. Уфа: Гилем, 2009, 160с.
2. Никитина, Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. М.: Энергия, 1978. 130с.
3. Хайретдинова, А.Ф. Оценка составляющих погрешности гигротермического метода измерения влажности зерна / А.Ф. Хайретдинова, Р.Г. Абдеев, Р.И. Саитов // Пищевая промышленность, №3, 2011. – С.28-29.