

$$W = \frac{1}{1 - \frac{\rho_c}{\beta_c} \left[ \beta_0 - (\beta - \beta_0 V_0) \frac{d_0}{d} \right]}$$

$$W = \frac{N_0 \cdot S}{8,686 \cdot d_0 \cdot \rho_{вл.}}$$

где  $\rho_c$  - плотность сухого вещества;  
 $N_0$  - затухание СВЧ-энергии во влажном зерне;  
 $S$  - площадь "просвечиваемого" образца;  
 $d$  - толщина образца;  
 $\rho_{вл.}$  - вес влажного зерна.

Входящие в уравнения коэффициенты затухания  $d_0$  и фазы  $\beta_0$  воды в зерне определяются расчетным путем по диэлектрическим характеристикам свободной и связанной воды.

Приведенные соотношения представляют собой общий вид взаимосвязи между влажностью зерна и параметрами электромагнитной волны. В докладе приводится вывод конкретного вида функции преобразования с учетом типа и размера датчика, конфигурации образца и пр. для трех основных типов первичных измерительных СВЧ-преобразователей влажности зерна.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ  
 МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЙ ДЛЯ ТОНКОГО  
 ОБРАЗЦА

В.К.БЕНЗАРЬ  
 Б.Л.ЦЕНДИПЕР

При разработке и конструировании СВЧ-влажномеров сельскохозяйственных и промышленных материалов знание диэлектрических свойств самих материалов является необходимым. В частности необходимо иметь данные о зависимости диэлектрических свойств материала от его влажности, температуры, насыпного веса и т.д.

Предлагаемый метод многократных отражений является эффективным при исследовании такого рода зависимостей в диапазоне сверхвысоких частот.

Сущность метода заключается в нахождении комплексного коэффициента отражения  $S_{12}$  тонкого образца влажного материала, помещенного в коаксиальный или волноводный измерительный датчик. Выход датчика нагружен на согласованную нагрузку.

Измерение комплексного коэффициента отражения осуществляется с помощью измерительной линии. При этом комплексный коэффициент отражения находится из выражений:

$$|S_{12}| = \frac{КСВ - 1}{КСВ + 1} \quad (1)$$

$$\varphi = \pi + \frac{4\pi \Delta \epsilon}{\lambda}, \quad (2)$$

где:  $КСВ$  - коэффициент стоячей волны в измерительной линии;  
 $|S_{12}|$  - модуль коэффициента отражения;  
 $\varphi$  - фаза коэффициента отражения;

$\Delta l$  - расстояние узла стоячей волны в измерительной линии от передней границы образца.

Можно показать, что применение метода многократных отражений для тонкого образца позволяет избавиться от решения трансцендентных уравнений, характерных для близких этому методу, методов короткого замыкания и холостого хода.

Выражения для расчета  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  влажного материала в первом приближении имеют следующий вид:

$$\beta_2^2 - \alpha_2^2 = \frac{\left\{ \beta_1^2 (A-1) + \frac{2\beta_1 B}{l} \right\} \left\{ A+1 - \frac{2}{3} \beta_1 l \right\} + \left\{ \beta_1 B - \frac{2\beta_1 A}{l} \right\}}{\left\{ A+1 - \frac{2}{3} \beta_1 l \right\}^2 + \left\{ \frac{2}{3} \beta_1 A l + B \right\}^2} \times \left\{ \frac{2}{3} \beta_1 A l + B \right\}$$

$$2\alpha_2 \beta_2 = \frac{\left\{ A+1 - \frac{2}{3} \beta_1 l \right\} \left\{ \beta_1 B - \frac{2\beta_1 A}{l} \right\} - \left\{ \beta_1^2 (A-1) + \frac{2\beta_1 B}{l} \right\} \left\{ \frac{2}{3} \beta_1 A l + B \right\}}{\left\{ A+1 - \frac{2}{3} \beta_1 l \right\}^2 + \left\{ \frac{2}{3} \beta_1 A l + B \right\}^2}$$

$$\epsilon' = \frac{(\beta_2^2 - \alpha_2^2) c^2}{\omega^2} + \rho$$

$$\epsilon'' = \frac{2\alpha_2 \beta_2 c^2}{\omega^2},$$

где  $A = |S_{11}| \cos \varphi$

$$B = |S_{11}| \sin \varphi$$

$\omega$  - циклическая частота электромагнитного поля СВЧ;

$c$  - скорость света в вакууме;

$\beta_1$  - волновое число в незаполненном измерительном датчике;

$\beta_2$  - волновое число в образце влажного материала, помещенного в измерительный датчик;

$l$  - толщина образца;

$\alpha_2$  - постоянная затухания в образце влажного материала, помещенного в измерительный датчик.

$$\rho = \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{кр}} \right)^2$$

$\lambda_0$  - длина волны СВЧ в свободном пространстве.

$\lambda_{кр}$  - критическая длина волны в измерительном датчике (в случае коаксиального датчика  $\rho = 0$ ).

С учетом инструментальной погрешности измерительной линии при определении положения узла стоячей волны, собственных КСВ измерительной линии и измерительного датчика, приведенные выражения при выполнении условия  $\beta_2 l \leq 0,2$  позволяют определять  $\epsilon'$  с погрешностью  $\pm 3\%$  и  $\epsilon''$  с погрешностью  $\pm 10\%$  в диапазоне частот от 100 МГц, до 3 ГГц.

При невыполнении условия  $\beta_2 l \leq 0,2$  необходимо пользоваться приближениями более высокого порядка.

#### ЛАБОРАТОРНЫЙ СВЧ ВЛАГОМЕР ЗЕРНА

В.К.БЕНЗАРЬ

Б.М.ЦЕНЦИПЕР

В.А.ДАЙНЕКО

В.И.ГАПОНЕНКО

БИМСХ

Для измерения влажности зерна в условиях лабораторий колхозов и совхозов разработан СВЧ-влажномер, основанный на измерении