

## ПРИБОР ДЛЯ ЭКСПРЕСС - ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Доц. Ильющенко А.В.; доц. Иванов В.Н. (ВГТУ)

В технологических процессах различных производств возникает необходимость в быстром и достаточно точном определении влажности материалов. Для этих целей применяются приборы, в основу которых положены различные физические принципы [1]. Большое распространение в практике получили влагомеры, принцип которых основан на измерении амплитуды электромагнитной волны СВЧ диапазона, прошедшей через влажный материал или отражённой от него.

Пусть на образец падает плоская электромагнитная волна мощностью  $P_{пад}$  (рис.1).

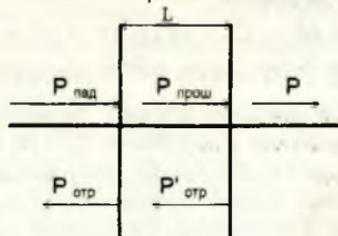


Рис.1.

В результате взаимодействия с образцом она частично отражается от передней стенки образца ( $P_{отр}$ ). Энергия прошедшей через образец волны будет уменьшаться вследствие поглощения. Мощность волны достигающей задней стенки образца будет:

$$P_{прош} = (P_{пад} - P_{отр}) \times e^{-\gamma L} \quad (1)$$

где:  $L$  - ширина образца;

$\gamma$  - постоянная распространения электромагнитной волны.

Величина  $\gamma$  в общем случае имеет комплексный характер;

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

где:  $\alpha$  - коэффициент затухания;

$\beta$  - коэффициент фазы.

Коэффициент  $\alpha$  характеризует уменьшение амплитуды электромагнитной волны, прошедшей через исследуемый образец.

Достигнув задней стенки образца, часть электромагнитной волны отразится от неё в обратном направлении ( $P'_{отр}$ ), а в свободное пространствойдёт волна мощностью  $P$ .

В общем случае между передней и задней стенками образца распространяются кроме прямых, и многократно отражённые волны. В первом приближении отражённые волны можно не учитывать, т.к. их амплитуда значительно уменьшается вследствие поглощения энергии влажным образцом.

Если образец однородный и не содержит металлических включений, то его можно смоделировать линейным обратимым пассивным и симметричным четырёхполюсником.

Квадрат модуля коэффициента пропускания  $T_{12}$  выразится [2]:

$$|T_{12}|^2 = \frac{[(1 - \Gamma_{12})^2 + 4x\Gamma_{12}x\sin^2\varphi_{12}]x e^{-2\alpha_2 L}}{(1 - \Gamma_{12} \times e^{-2\alpha_2 L})^2 + 4x\Gamma_{12}x e^{-2\alpha_2 L}x\sin(\varphi_{12} + \beta^2 xL)} \quad (2)$$

где:  $\Gamma_{12}$  - коэффициент отражения:

$$\Gamma_{12} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\beta - \beta_1)^2}{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 + (\beta + \beta_1)^2}$$

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - постоянные затухания среды, в которой находится образец и влажного материала;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  - фазовые постоянные среды и влажного материала;

$\varphi_{12}$  - фаза коэффициента отражения:

$$\varphi_{12} = \arctg \frac{2\alpha(\alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1)}{(\alpha_1 + \beta_1)^2 - (\alpha_2^2 + \beta_2^2)}$$

Общие потери мощности  $P_{\Sigma}$  электромагнитной волны, прошедшей через влажный образец, выразятся (в децибелах):

$$P_{\Sigma} = -10 \times \text{Lg} |T_{12}|^2 = 8.68 \alpha_2 L - 4.34 \text{Ln} [(1 - \Gamma_{12})^2 + 4 \Gamma_{12} \sin^2 \varphi_{12}] + 4.34 \text{Ln} [(1 - \Gamma_{12} E^{-2\alpha_2 L})^2 + 4 \Gamma_{12} E^{-2\alpha_2 L} \sin^2(\varphi_{12} + \beta_2 L)] \quad (5)$$

Обычно средой, в которой находится образец, является воздух. Тогда  $\alpha_1 = 0$ ,  $\beta_1$  - постоянная и небольшая величина, и выражения (3) и (4) можно упростить.

Как следует из экспериментальных данных, полученными различными авторами, поглощение электромагнитной энергии органическими веществами невелико. Следовательно, можно считать, что основное поглощение осуществляется влагой, содержащейся в образце, и коэффициенты  $\alpha_2$  и  $\beta_2$  зависят от влажности.

Приведённые выше положения явились основой разработки прибора для экспресс - измерения влажности сыпучих материалов, в частности сухого молока.

Прибор выполнен по двухканальной схеме, содержащей измерительный и опорный каналы. Высокочастотный сигнал, вырабатываемый генератором СВЧ, поступает на волноводный мост, которым делится на две равные части, поступающие в тракты измерительной схемы прибора. При постоянной мощности генератора сигнал опорного тракта в процессе измерений будет неизменным по величине.

Основным элементом измерительного канала является первичный преобразователь (ПП) (рис.2).

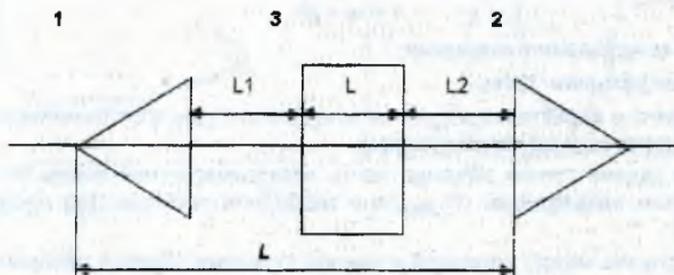


Рис. 2.

ПП содержит передающую (1) и приёмную (2) пирамидальные рупорные антенны, а также измерительную кювету (ИК) (3), в которую помещается исследуемый материал. Рупорные антенны при небольших размерах раскрыва -  $\lambda_0$  в плоскости E и  $2\lambda_0$  в плоскости H обеспечивают высокую степень локализации электромагнитной волны в пространстве между ними,  $\lambda_0$  - длина волны в свободном пространстве.

При разработке прибора важным являлось установление геометрии ИК. Наилучшими размерами ИК являлись бы такие, при которых через неё проходила вся электромагнитная волна, излучаемая передающей антенной. Однако практически

это неприемлемо, т.к. приводит к увеличению размеров ПП и самого прибора. Поэтому размеры ИК выбирались из условия снижения до минимума энергии, проходящей в приёмную антенну минуя образец. В результате исследований были установлены оптимальные размеры кюветы, составляющие  $(2,5 \times 3) \lambda_0$ .

Уменьшение амплитуды электромагнитной волны, прошедшей через образец, определяется выражением (1), из него следует, что поглощенная часть мощности зависит от ширины ИК  $L$ . Поэтому, в общем, ширина ИК может быть произвольной. При измерении материалов средней и большой влажности вследствие сильного поглощения энергии ширина ИК в меньшей степени сказывается на точности результата. Иное дело при измерениях малых влажностей, составляющих несколько процентов. Поглощение мощности волны будет невелико, что существенно скажется на чувствительности и точности измерений. Увеличение ширины ИК  $L$  не всегда приемлемо.

В результате исследований установлено, что для получения достаточно высокой чувствительности величины  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L$  связаны определённым образом с  $\lambda_0$ , а расстояние между фазовыми центрами антенн должно быть кратным  $\lambda_0$ .

Сигналы опорного и измерительного трактов поступают на устройство сравнения, в котором вырабатывается разностный сигнал в цифровой форме.

Процесс измерений заключается в следующем. Вначале в гнездо между антеннами помещается пустая ИК. Выравниваются сигналы обоих трактов. Сигнал индикатора при этом равен нулю. При помещении в ИК исследуемого материала сигнал измерительного канала уменьшится, и разностный сигнал будет отличаться от нуля. Показания индикатора разностного сигнала зависят от влажности исследуемого материала. Типичная зависимость между влажностью  $W$  в процентах и показаниями индикатора  $V$  в милливольтках приведена на рис.3.

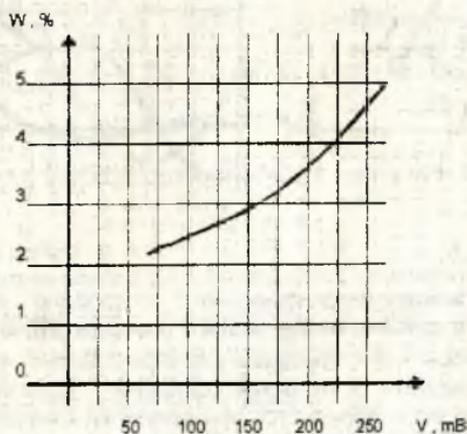


Рис.3.

С помощью градуировочной кривой (рис.3) легко определить влажность исследуемого материала.

В результате испытаний прибора установлено:

Чувствительность прибора составляет около 50 В/%.

Погрешность измерений не превышает 0,3%.

Время проведения одного измерения не более 5 мин.

#### Литература:

1. Берлинер М.А. Измерение влажности. Энергия. М., 1973.
2. Бензарь В.К. Техника СВЧ – влагометрии. Высшая школа. Минск, 1974.