

Таблица 1 – Результаты оценки параметров модели объекта управления

	$T_{0y}, c$	$K_{0y}$
Среднее значение	554	4,31
Коэффициент вариации, %	2,4	10,5

Численные значения коэффициента детерминации модели при изменении параметров настройки в указанных пределах составляют не менее 0,9, что свидетельствует о ее высокой достоверности и возможности применения для расчета систем автоматического управления и экспериментальной проверки их работы в различных режимах.

УДК 685.34.035.47

## КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ КАРТОНА СВЧ-МЕТОДОМ

Доц. Ильющенко А.В., ст. преп. Куксевич В.Ф.

Витебский государственный технологический университет

При изготовлении обуви имеет большое значение оперативная информация о влажности исходных материалов, в частности картонов. От влажности в значительной степени зависят их физико-механические свойства, что в конечном итоге определяет качество выпускаемой продукции.

В данной работе приводятся результаты измерения влажности и влияние толщины исследуемых образцов на показания измерительного устройства. Исследования проводились методом отраженной электромагнитной волны СВЧ диапазона. В измерительной установке использован дифференциальный метод, в котором разность измеряемой величины и известной, воспроизводимой мерой, регистрируется электронным вольтметром. Неизвестная величина является функцией разности между сигналами, которая в свою очередь зависит от влажности исследуемого материала. Дифференциальный метод обеспечивает высокую точность и чувствительность измерений при постоянном значении известной величины.

Измерительная установка содержит генератор СВЧ электромагнитных волн, сигнал которого делится на две равные части, проходящие в опорный и измерительный тракты. Измерительный тракт содержит ферритовый циркулятор и пирамидальную рупорную антенну, которая одновременно является передающей и приемной, и детекторную секцию. Детекторные секции преобразуют СВЧ сигнал в постоянный ток. Сигналы трактов подаются на схему сравнения противоположно, поэтому вольтметр регистрирует разность сигналов трактов, т.е. разностный сигнал.

Важным моментом в процессе измерений являются геометрические размеры исследуемого образца. Они должны выбираться из условия сокращения до минимума побочных переизлучений и дифракции на краях образца. Размеры раскрыва пирамидального рупора составляют 4,9 x 3,2 см. Длина волны  $\lambda = 3,1$  см. Тогда полная ширина диаграмм направленности составляет: в плоскости Н –  $110^\circ$ ; в плоскости Е –  $72^\circ$ . Установлено теоретически, что оптимальные размеры образцов по плоскостям Н и Е – 10 и 15 см соответственно.

Пусть на образец падает электромагнитная волна СВЧ диапазона мощностью  $P_{пад}$  (рисунок 1):

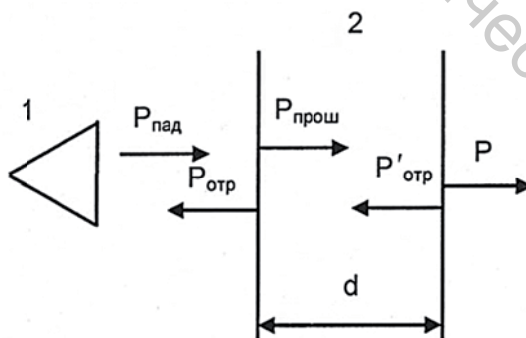


Рисунок 1 – Схема потери мощности СВЧ волны в образце  
1 – рупорная антенна, 2 – исследуемый образец,  $d$  – ширина образца.

Волна, излучаемая рупорной антенной, в результате взаимодействия с образцом частично отражается от передней стенки образца  $P_{отр}$  к антенне. Энергия прошедшей через образец волны будет уменьшаться вследствие поглощения материалом образца и влагой, содержащейся в нем. Из экспериментальных данных, полученных при исследованиях, следует, что сухой картон, не содержащий влаги, практически не оказывает влияния на проходящую электромагнитную волну, так как затухание в нем составляет менее 1 дБ. Следовательно, с большой степенью точности можно утверждать, что уменьшение амплитуды волны, распространяющейся во влажном материале, обусловлено влагой, содержащейся в нем. В связи с этим однородный образец можно смоделировать пассивным линейным симметричным четырехполюсником.

Пусть на переднюю стенку образца падает электромагнитная волна [1]:

$$E = E_0 e^{j\omega t},$$

где  $E_0$  – амплитуда напряженности электрического поля волны.

Достигая задней стенки образца, волна частично отразится в обратном направлении. Амплитуда волны, отразившейся от задней стенки и прошедшей к передней, будет:

$$E' = E_0 e^{j(\omega t - 2kd)}.$$

Т.е. ее фаза не будет совпадать с фазой отраженной от передней стенки волны. Происходит интерференция двух волн, и результирующая волна, представляющая собой векторную сумму двух отраженных волн, достигнет приемной антенны. Разность фаз волн определяется выражением:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{2d}{\lambda},$$

где  $\lambda$  – длина волны в материале.

Таким образом, изменение толщины образца  $d$  при постоянной влажности приводит к изменению сигнала измерительного тракта. Зависимость величины разностного сигнала от толщины образца представлена на рисунке 2.

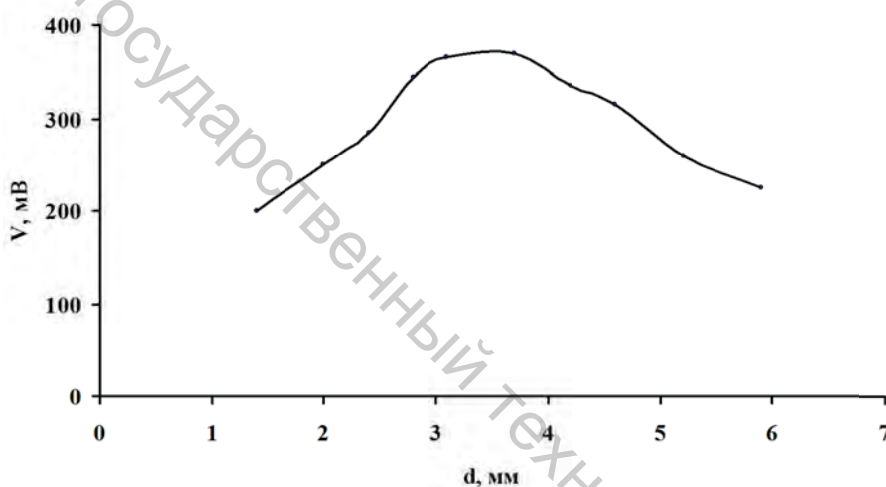


Рисунок 2 – Зависимость разностного сигнала от толщины образца

Представленная зависимость получена при влажности образца  $W = 10\%$ . Для тех же толщин образца, но при разной влажности величина разностного сигнала будет изменяться. Это связано с тем, что мощность  $P$  прошедшей через образец волны определяется соотношением:

$$\frac{P}{P_{\text{прош}}} = e^{-\gamma d},$$

где  $\gamma$  – постоянная распространения, являющаяся комплексной величиной:

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

где  $\alpha$  – коэффициент ослабления;  $\beta$  – коэффициент фазы.

Мощность прошедшей через образец волны в обоих направлениях:

$$P = P_{\text{прош}} e^{-2\alpha d} e^{-j2\beta d}.$$

Отсюда следует, что множитель  $e^{-2\alpha d}$  определяет уменьшение амплитуды, прошедшей через образец волны.

Диэлектрическая проницаемость в общем случае [2]:

$$\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''.$$

Тогда для воды:

$$\lambda = \frac{1}{v} \frac{1}{\left[ \frac{\varepsilon'}{2} (1 + \sqrt{1 + tg^2 \delta}) \right]^{1/2}},$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ \frac{\varepsilon'}{2} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} - 1) \right]^{1/2},$$

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \left[ \frac{\varepsilon'}{2} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} + 1) \right]^{1/2},$$

где  $n$  – показатель преломления исследуемого материала.

Рассчитаем теоретическое значение  $\alpha_T$ , используя формулу (1). Для длины волны  $\lambda = 3$  см,  $\varepsilon' = 60$ ,  $\operatorname{tg} \delta = 0,1$ :

$$\alpha_T = 0,77.$$

Для образца толщиной  $d = 0,11$  см и влажностью  $W = 10$  %  $V_{\text{прош}} = 750$  мВ,  $V_{\text{прощ}} = 690$  мВ и экспериментальное значение:

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{\ln \frac{V_{\text{прош}}}{V_{\text{прощ}}}}{d} = 0,75.$$

Отсюда следует, что величины  $\alpha_T$  и  $\alpha_{\text{э}}$  близки по значениям.

Из полученных экспериментальных данных следует, что амплитуда прошедшего через образец сигнала с увеличением влажности уменьшается, разностный сигнал увеличивается. Это означает, что коэффициент поглощения  $\alpha$  увеличивается, так как является не постоянной величиной. Следовательно, значение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  является функцией влажности, что объясняется изменением плотности влаги с изменением влажности.

Полученные результаты были использованы для практических измерений влажности различных образцов обувных картонов и измерения их толщины при известных значениях влажности. Из приведенных исследований следует, что СВЧ-метод измерения влажности обладает достаточно высокой точностью, погрешность составляет не более 1,5 %, что вполне приемлемо для производства.

#### Список использованных источников

1. Семенов, А.А. Теория электромагнитных волн / А.А. Семенов. – Москва: Изд. МГУ, 1962. – 315 с.
2. Бензарь, В.К. Техника СВЧ-влажнометрии / В.К. Бензарь. – Минск: Высш. шк., 1974. – 460 с.

УДК 621.316.544.1

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РЕЛЕ

*Маг.Чернов Е.А., доц. Надежная Н.Л., ст. преп. Ринейский К.Н.*

*Витебский государственный технологический университет*

Программируемое (интеллектуальное) реле — разновидность ПЛК. Программируется с помощью языка программирования релейной логики LD или FBD (МЭК 61131-3) с использованием компьютера или напрямую при помощи клавиш на лицевой панели ПЛК. Обычно имеет несколько аналоговых и дискретных каналов ввода-вывода. Часто имеет сетевой интерфейс для связи с АСУ верхнего уровня или возможность добавить его с помощью модулей расширения. Основные типы интерфейсов: RS-485 и Industrial Ethernet. Программируемые реле отличаются от полноценных ПЛК малым числом входов и выходов, малым объемом памяти программ, невозможностью исполнения сложных математических операций. Их области применения: управление технологическим оборудованием (насосами, вентиляторами, компрессорами, прессами); управление системами отопления и вентиляции; управление наружным и внутренним освещением, освещением витрин; управление коммутационной аппаратурой (АВР, АПВ и т.д.); управление конвейерными системами; системы управления дорожным движением; управление подъемниками и т.д. На рынке автоматики наиболее часто применяемые реле: Moeller EASY; Овен ПР 110, 114; Siemens LOGO!; Mitsubishi Alpha; Schneider Electric Zelio Logic.

В состав разработанного лабораторно-технического комплекса входят: роботизированная технологическая линия MecLab фирмы Festo; программируемое реле ОВЕН ПР110-24.12Д.8Р-Ч; программируемое реле Siemens LOGO! 6ED1052-1MD00-0BA6.

В лабораторный компонент комплекса на основе конвейерной станции MecLab фирмы Festo (рис.1) включены работы как на основе базового управляющего программно-аппаратного комплекса, так и на основе программированных реле.