

ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА И ЕГО ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

С.Е. Мозжаров¹, научный сотрудник,

Т.З. Насиров², канд. физ.-мат. наук, доцент

¹Институт технической акустики НАН Беларуси,

г. Витебск, Республика Беларусь;

²Ташкентский государственный технический университет,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

lkm_ita@vitebsk.by

Аннотация: Предложена конструкция первичного преобразователя датчика влажности зерна облегчающая его установку в бункере и исключающая возможность его засорения. Получены зависимости показаний датчика от температуры при различной влажности зерна.

Abstract: The design of the primary converter of the grain moisture sensor is proposed, which facilitates its installation in the bunker and excludes the possibility of its clogging. Dependences of sensor readings on temperature are obtained at different grain moisture content.

Ключевые слова: датчик влажности, сыпучие продукты, микроконтроллер, чувствительность датчика, температурная зависимость.

Keywords: moisture sensor, bulk products, microcontroller, sensor sensitivity, temperature dependence.

Введение. Во всем мире зерно, а именно пшеница и рис, составляют большую часть ежедневно потребляемой пищи [1]. А, поскольку зерно по своей природе гигроскопично, то его качество после уборки сильно зависит от уровня его влажности. Для обеспечения сохранности собранное зерно должно быть своевременно высушено до норм безопасного хранения [2]. Также, при переработке зерна для получения продукции высокого качества необходимо поддержанием требуемой влажности. Т.е. точное определение содержания влаги необходимо на всех стадиях превращения зерна в пищевой продукт.

Известно, что при разработке высокоточного прибора для измерения влажности крайне важным является задача выбора первичного преобразователя, его принципов действия и конструкции [3]. В настоящее время первичные преобразователи емкостных датчиков зерна в основном представлены двумя типами: цилиндрическим и плоскопараллельным. Плоскопараллельные емкостные преобразователи представляют собой две параллельные проводящие пластины, являющимися обкладками конденсатора. Такие преобразователи

вставляются вертикально или встраиваются в поток зерна в сушилке. Чтобы улучшить чувствительность датчика влажности необходимо увеличивать начальное значение емкости первичного преобразователя. Обычно это делается путем увеличения относительной площади пластин, что заставляет увеличивать размеры сушилки, увеличивая объем инвестиций в оборудование. Можно уменьшать расстояние между электродами, но в этом случае существует риск засорения преобразователя при прохождении потока зерна. Кроме того, такие преобразователи довольно сложны в установке.

Чтобы решить вышеуказанные проблемы нами был изготовлен плоский преобразователь (рисунок 1) по схеме, предложенной в работе [4]. Такой преобразователь может быть легко установлен вне потока зерна, например на стенке бункера. В этом случае зерно легко стекает по плоской поверхности, а преобразователь не препятствует движению потока зерна.

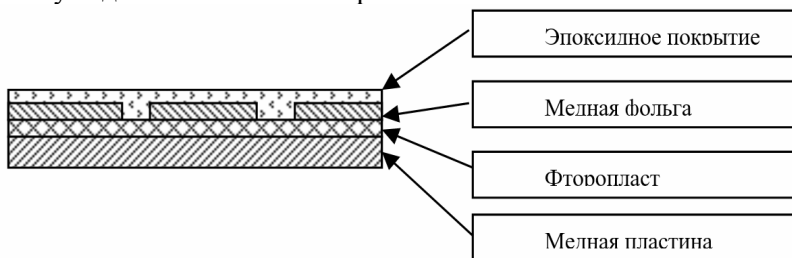


Рисунок 1 – Схема плоского первичного преобразователя

Как известно, у влагосодержащих материалов температура является второй (после влажности) величиной по степени влияния на электрические свойства [5]. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости (относительное изменение на 1 °С) $\alpha = (1/\varepsilon)(\Delta\varepsilon/\Delta t)$ для большинства твердых тел положителен и имеет величину, близкую к 10^{-4} град⁻¹. Для воды в диапазоне температур $0 < t < 100^\circ\text{C}$ часто используют упрощенное уравнение: $\varepsilon_t = \varepsilon_0 - 0,4(t - t_0)$. Исследования влияние температуры в пределах от 0 до 40°C на результаты измерения влажности зерна влагомерами резонансного типа в диапазоне мегагерц и показали, что зависимость эффективной емкости датчика C от температуры близка к линейной [5]. Угол наклона прямых $C(t)$ при $W = \text{const}$ повыша-

ется с. ростом влажности. Практически у диэлькометрических влагомеров диапазона ниже 10^8 Гц влияние температуры можно учесть введением температурной поправки к результатам измерения по формуле:

$$W = W_n - k_t(t - t_0),$$

где W – истинная влажность материала при температуре t ; W_n – результат отсчета влажности по шкале; t и t_0 – температура материала соответственно в момент измерения и при градуировке влагомера; k_t – температурный коэффициент для данного материала.

Величины температурных коэффициентов определяют экспериментом при градуировке влагомера. Иногда целесообразно значения k_t дифференцировать по диапазонам измеряемой влажности.

Если пределы изменений влажности и отклонение температуры от градуировочной не очень велики, можно применять единую величину температурного коэффициента. У влагомеров без разделения составляющих полного сопротивления датчика средняя величина этого коэффициента для большинства материалов (при влажности $12 < W < 25\%$) близка к 0,1 % влажности на 1 °С.

Для того чтобы получить зависимость показаний разработанного нами емкостного датчика от температуры использовалась установка, основными узлами которой являются: термостатированная ячейка, температура в которой поддерживается прокачным жидкостным термостатом У1. В качестве теплоносителя использовалось силиконовое масло с верхним температурным пределом 250 °С; емкостной измерительный датчик влажности, генератор которого выполнен на микросхеме TLC555. Сигнал с генератора поступает на RC фильтр низких частот, где С измерительный конденсатор. Емкость конденсатора, а значит, и его реактивное сопротивление $X_c = 1/\omega C = 1/2\pi fC$, будет изменяться при изменении диэлектрической проницаемости окружающей среды [6]. При этом, чем выше емкость измерительного конденсатора, тем ниже амплитуда напряжения на выходе фильтра. Сигнал с RC фильтра поступает на пиковый детектор, представляющий собой, однополупериодным выпрямителем с подключенным к выходу фильтрующим конденсатором. Выпрямленное напряжение может использоваться непосредственно для формирования выходного сигнала датчика (как собственной выходной сигнал). Или, например, оно может преобразовываться в ток петли 4-20 мА. Если выходной сигнал датчика должен быть не

аналоговым, а цифровым, то дополнительно потребуется АЦП, который может входить и в состав микроконтроллера; цифровой датчик температуры DS18B20; микроконтроллерная плата управления с LCD дисплеем. К этой плате подключены датчик влажности и датчик температуры. Она же осуществляет первичную обработку данных и обеспечивает связь с компьютером; компьютер с программным обеспечением получает данные с микроконтроллера и позволяет проводить их обработку.

По данным полученным с микроконтроллера строились графики зависимости показаний датчика влажности от температуры. Вначале проверялся пустой датчик. В диапазоне от +15 °С до +85°С показания датчика не изменялись. Отсюда можно сделать вывод, что электронная схема датчика не требует температурной компенсации, в этом диапазоне температур.

Затем датчик проверялся при заполнении зерном с разной влажностью. Измерение проводились с зерном семенной пшеницы при влажности 15, 25 и 35 %. Графики зависимостей приведены на рисунке 2. Поскольку датчик еще не калибровался, влажность приведена в условных единицах. На графиках, также показаны линии тренда при линейной регрессии, приведены уравнения этих линий и даны значения достоверности аппроксимации R^2 .

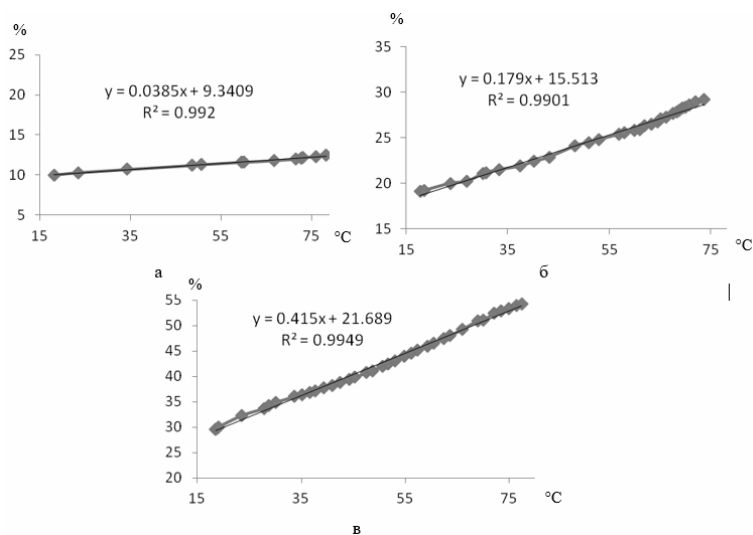


Рисунок 2 – Графики зависимости показаний емкостного датчика от температуры а) влажность 10 %, б) влажность 20 %, в) влажность 30 %

Как видно из графиков зависимость действительно линейная и наклон прямых увеличивается с ростом влажности материала. Так на рисунке 6, а при влажности 10 % показания датчика увеличиваются ~ 0,04 % на градус, на рисунке 6-б, при влажности 20 % показания датчика увеличиваются ~ 0,2 % на градус, а на рисунке 6-в, при влажности 30 % показания датчика увеличиваются уже ~ 0,4 % на градус. Т.е. величины температурных коэффициентов различаются довольно сильно. Поэтому как, отмечалось выше, целесообразно при калибровке емкостного датчика, значения температурных коэффициентов дифференцировать по диапазонам измеряемой влажности, заносая их в таблицу, при программировании микроконтроллера. На данный момент мы выделили три диапазона - < 15 % с коэффициентом 0,04, от 15 до 25 % с коэффициентом 0,2 и выше 35 % с коэффициентом 0,4.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T21УЗБГ-014).

Список использованной литературы

1. Ramli, N A M A Review on Frequency Selection in Grain Moisture Content Detection /N A M Ramli et al , 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 705 012002

2. Li, Z. On research of automatic control about moisture content for cereal grains / Z. Li, Y. Zhang, L. Zhang // Journal of Shenyang Normal University. – 2008. – № 26 (1). – P. 79–81.

3. Насиров, Т.З. Расчет емкости конусного преобразователя влагомера зерна и зернопродуктов / Т.З. Насиров, П.Р. Исмагуллаев, Х.Ш. Жаборов // Приборы. – 2019. – № 4 (226). – С. 11–16.

4. Liu, Yang. Development of plane polar probe of capacitive grain moisture sensor [J] / Yang Liu, Mao Zhihui, Dong Lanlan // Transactions of the CSAE. – 2010. – № 26 (2). – P. 185–189.

5. Берлинер, М.А. Измерение влажности / М.А. Берлинер. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

6. Емкостные датчики. Измерения и обработка сигнала [Электронный ресурс] Режим доступа <https://zen.yandex.ru/media/id/5b935f60343d6c00a9f52b06/emkostnye-datchiki-izmereniia-i-obrabotka-signala-5e89905d587fbc169935759d>. –

Дата доступа: 10.08. 2022.

УДК 621.9.048.6

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А.В. Бондарев, канд. техн. наук, доцент, С.А. Горелов, студент
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,
п. Майский, Россия*

Аннотация: В данной работе приводится анализ системы испытаний сельскохозяйственной техники, выявляются предпосылки её совершенствования и возможные перспективные направления развития.