

УДК 681.7

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПНЕВМОДАТЧИКА РАЗМЕРНОГО КОНТРОЛЯ

*В. А. ТРЕТЬЯКОВА, А. А. АФАНАСЬЕВ, В. Ф. ГОГОЛИНСКИЙ*

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

UDC 681.7

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SECONDARY MEASURING CONVERTER FOR A PNEUMATIC SENSOR OF DIMENSIONAL CONTROL

*V. A. TRETYAKOVA, A. A. AFANASIEV, V. F. GOGOLINSKY*

**Аннотация.** Разработаны конструкции емкостного измерительного и емкостного эталонного преобразователей и электрическая структурная схема вторичного измерительного преобразователя (ВИП) для совместного использования с пневмодатчиком с целью бесконтактного технологического контроля толщины пленки. Математическое моделирование работы ВИП показало возможность измерения толщины пленки с дискретностью до 0,1 мкм.

**Ключевые слова:** синтетическая пленка, толщина, измерение, пневмодатчик, емкостный датчик, электронный блок, моделирование.

**Abstract.** The designs of the capacitive measuring and capacitive reference transducers and the electrical block diagram of the secondary measuring transducer (SMT) for joint use with a pneumatic sensor for the purpose of non-contact technological control of the film thickness have been developed. Mathematical modeling of the operation of the SMT showed the possibility of measuring the film thickness with a resolution of up to 0,1  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** synthetic film, thickness, measurement, pneumatic sensor, capacitive sensor, electronic unit, modeling.

Научно-технический прогресс и расширение производства практически всех видов пищевой продукции вывели тароупаковочную индустрию на уровень ведущих мировых отраслей, которая стремительно развивается. Упаковка из синтетических пленок позволяет сократить потери продукции, гарантировать ее качество, увеличить сроки ее хранения, обеспечить доставку потребителю. С ее помощью можно регулировать температуру продуктов в условиях микроволнового нагрева, создавать оптимальную газовую атмосферу внутри оболочки при хранении продуктов питания, направленно изменять состав продукта, используя биологически активные материалы с иммобилизованными ферментами.

Для изготовления подавляющего большинства тароупаковочной продукции используются полимерные материалы: однослойные газопроницаемые пленки для кратковременного хранения пищевых продуктов; многослойные барьерные пленки для долгосрочного хранения, включая упаковки с измененной газовой

атмосферой; полимерные пленки с активным наполнителем; «умные» упаковочные материалы.

Основным параметром пленок является их толщина. Отклонение этого параметра от нормативного значения приводит к значительным материальным и энергетическим потерям и увеличению себестоимости готовой продукции. Поэтому актуальной является задача контроля толщины пленки в процессе её производства, что обеспечивает оперативное управление технологическим процессом.

Для измерения толщин пленок используются механические, акустические, оптические, электрические, магнитные, вихретоковые и радиационные методы, в которых сравниваются параметры физических полей до и после их взаимодействия с объектом контроля. Данные методы основаны на различных физических принципах, позволяющих получить конечный информативный параметр в виде электрического сигнала, уровень которого коррелирует с толщиной объекта. Вышеперечисленные методы различаются по точности измерения, быстродействию, достоверности результатов, возможности автоматизации как собственно измерений, так и документирования их результатов и, что особенно важно для производителей, по стоимости практической реализации. Для производителей также важно делать замеры с высокой точностью и разрешающей способностью и в режиме реального времени [1]. Этим требованиям удовлетворяет метод замера аэродинамического сопротивления воздушного зазора между воздушным соплом и пленкой [2, 3]. Его недостатком является отсутствие электрического сигнала на выходе пневмодатчика. Для устранения этого недостатка конструкция пневмодатчика была усовершенствована путем добавления к нему вторичного измерительного преобразователя для преобразования неэлектрической измеряемой величины (толщины пленки) в электрическую (рис. 1).

Для вторичного преобразования первичного сигнала (линейного перемещения подвижного элемента пневмодатчика) в электрический сигнал используется преобразователь емкостного типа [4]. Он состоит из двух пластин, расположенных напротив друг друга и разделенных воздушным зазором (рис. 2).

К подвижному штоку  $1$  пневмодатчика жестко прикреплен нижний электрод  $2$  емкостного преобразователя. Его верхний электрод  $3$  крепится на стержне  $4$  на расстоянии  $d$  от нижнего электрода. На стержне  $4$  также закреплен эталонный емкостный преобразователь с неизменным зазором  $d_э$  между электродами  $5$  и  $6$ . Внутренние поверхности электродов покрыты тонким защитным слоем диэлектрика толщиной  $h_{зсд} = 50 \cdot 10^{-6}$  м.

Электрическая емкость емкостных преобразователей описывается выражением

$$C = \frac{S}{\frac{d}{\epsilon_{зсд}} + \frac{d - d_1}{\epsilon_0}}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь электродов емкостных преобразователей,  $S = 0,1023 \text{ м}^2$ ;  $d_1$  – толщина защитного слоя диэлектрика,  $d_1 = 2 h_{зсд}$ ;  $\epsilon_{зсд}$  – относительная диэлектрическая проницаемость защитного слоя диэлектрика,  $\epsilon_{зсд} = 2,28$ ;  $d$  – номинальное расстояние между электродами емкостного преобразователя,  $d = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная вакуума,  $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ .

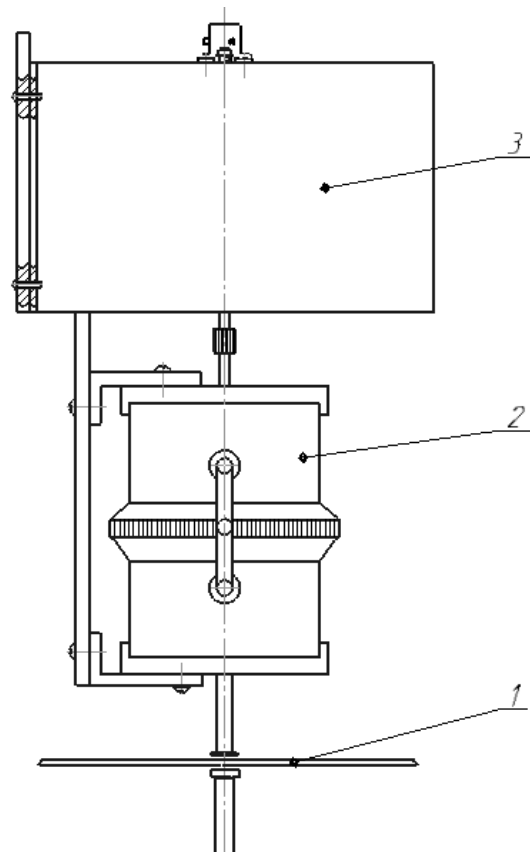


Рис. 1. Пневмоэлектрический преобразователь: 1 – объект контроля; 2 – первичный преобразователь (пневмодатчик); 3 – вторичный измерительный преобразователь

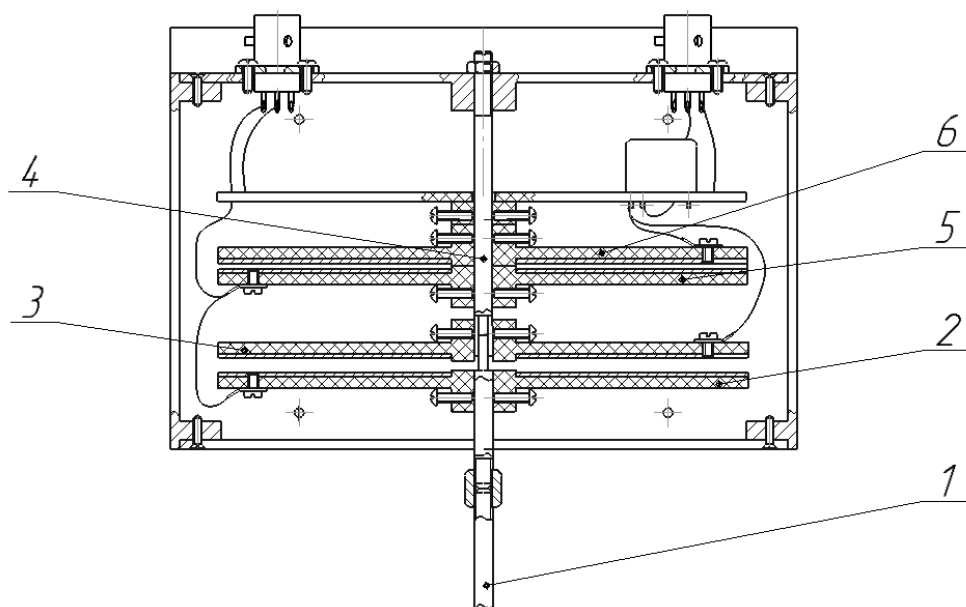


Рис. 2. Конструкция емкостных измерительного и эталонного преобразователей

Предположив, что отклонение толщины пленки от номинального значения будет лежать в диапазоне  $\pm 50 \cdot 10^{-6}$  м, определим максимальную и минимальную емкость измерительного преобразователя  $C_{ИП}$ . При минимальном зазоре ( $d_{\min} = 0,6 \cdot 10^{-3}$  м)

$$C_{ИП \max} = \frac{S}{\frac{d_{\min}}{\varepsilon_{зсд}} + \frac{d_{\min} - d_1}{\varepsilon_0}} = 166,5 \text{ пФ.} \quad (2)$$

При максимальном зазоре ( $d_{\max} = 0,7 \cdot 10^{-3}$  м)

$$C_{ИП \min} = \frac{S}{\frac{d_{\max}}{\varepsilon_{зсд}} + \frac{d_{\max} - d_1}{\varepsilon_0}} = 140,7 \text{ пФ.} \quad (3)$$

График зависимости емкости измерительного преобразователя от линейного перемещения штока пневмодатчика в заданном диапазоне значений имеет следующий вид (рис. 3).

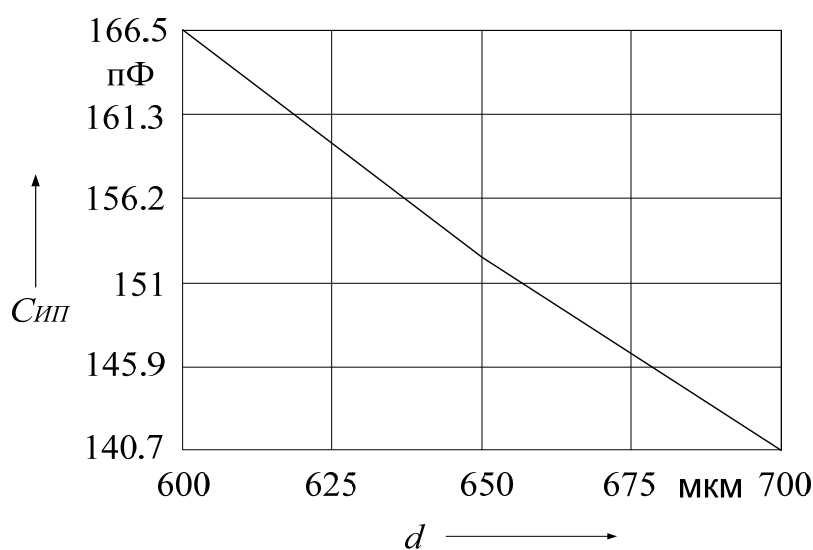


Рис. 3. График зависимости емкости измерительного преобразователя от линейного перемещения штока пневмодатчика

Результаты расчетов показывают, что электрические емкости преобразователей будут иметь малую величину, соизмеримую с паразитными емкостями, создаваемыми окружающими преобразователь объектами и соединительными проводами. Для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов на результат измерения в состав вторичного преобразователя, кроме измерительного, включен эталонный емкостный преобразователь. Его емкость

$$C_9 = \frac{S}{\frac{d_9}{\epsilon_{зсд}} + \frac{d_9 - d_1}{\epsilon_0}} = 156,6 \text{ пФ.} \quad (4)$$

где  $d_9$  – номинальный зазор между обкладками измерительного емкостного преобразователя,  $d_9 = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м.

Для получения электрического измерительного сигнала разработана структурная схема электронного блока вторичного измерительного преобразователя (ВИП) [5] (рис. 4).

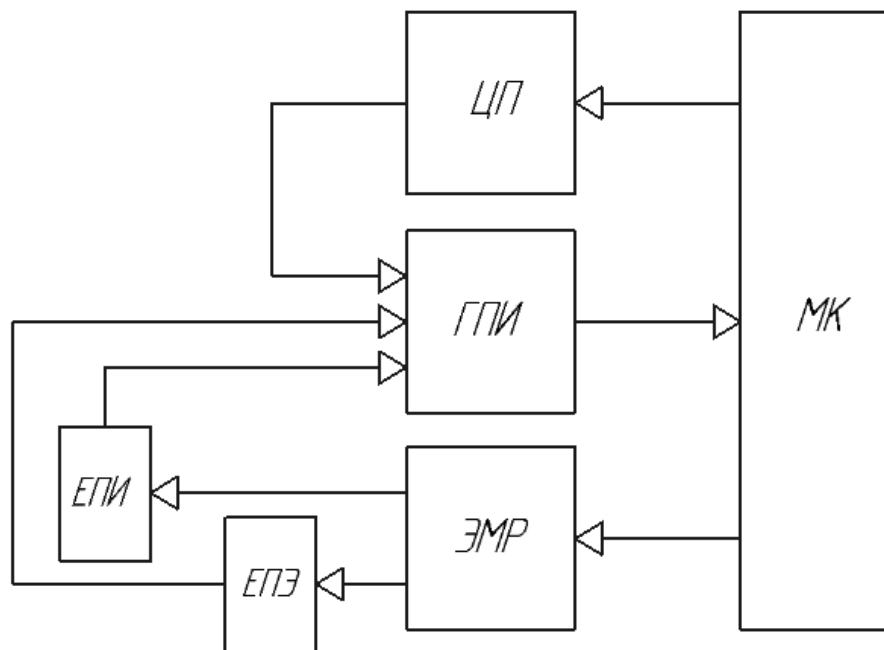


Рис. 4. Структурная схема ВИП

В его состав входят генератор прямоугольных импульсов *ГПИ*, цифровой потенциометр *ЦП*, электромагнитное реле *ЭМР*, емкостный преобразователь измерительный *ЕПИ* и емкостный преобразователь эталонный *ЕПЭ*. Управление работой ВИП осуществляется программно с использованием микроконтроллера (*МК*). С помощью *ЭМР* осуществляется поочередное подключение *ЕПИ* и *ЕПЭ* к *ГПИ*. *ЦП* используется для программной подстройки частоты *ГПИ*.

Частота импульсов на выходе *ГПИ* при подключении к нему *ЕПИ*

$$F(C_{ин}) = \frac{1,44}{RC_{ин}}, \quad (5)$$

где  $R$  – сопротивление *ЦП*, кОм.

Зависимость частоты *ГПИ* от расстояния между электродами *ЕПИ* ( $F_{ГПИ}(C_{ин}) = F(d)$ ) и, соответственно, от толщины пленки имеет следующий вид (рис. 5).

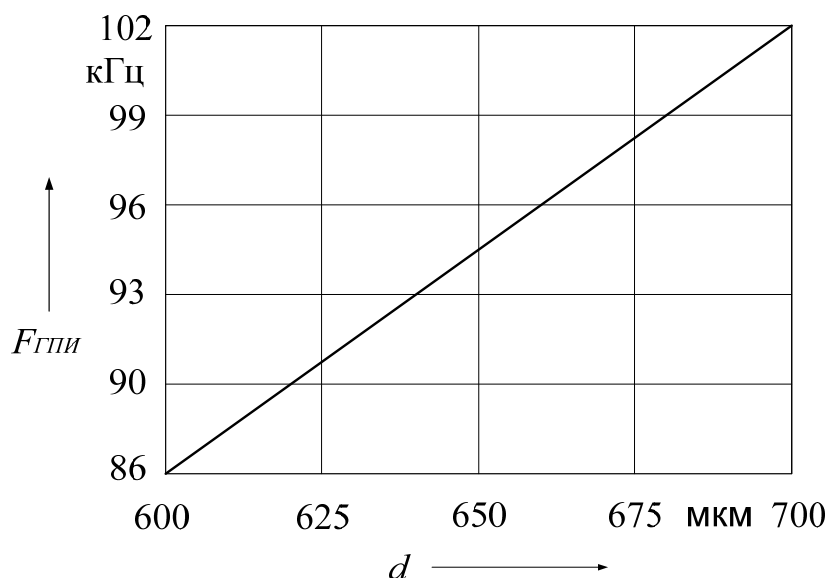


Рис. 5. Зависимость  $F_{ГПИ}(C_{ИП})$  от параметра  $d$

Полученные результаты моделирования работы ГПИ позволяют сделать оценку чувствительности спроектированного ВИП. Зная, что при изменении толщины пленки на 100 мкм  $F_{ГПИ}(d)$  изменяется от 86478 до 102378 Гц, определим, насколько будет изменяться частота  $\Delta F_{ГПИ}$  ВИП при изменении толщины пленки на 0,1 мкм:

$$\Delta F_{ГПИ} = (F(C_{ИП})_{\max} - F(C_{ИП})_{\min})/1000 = 15,9 \text{ Гц/мкм.}$$

Результаты моделирования показывают возможность измерения толщины пленки с дискретностью до 0,1 мкм.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ухарцева, И. Ю. Современная упаковка для пищевых продуктов / И. Ухарцева, Ж. Кадолич, Е. Цветкова // Тара и упаковка. – 2016. – № 2. – С. 18–23.
2. Пневматический способ измерения поперечных размеров движущегося изделия и устройство для его осуществления: а. с. SU 1453170 / В. Ф. Гоголинский, А. И. Потапов. – Оpubл. 23.01.1989.
3. Способ бесконтактного контроля профиля изделия и устройство для его осуществления: пат. ВУ 12407 / Е. И. Марукович, А. П. Марков, А. В. Коннов, В. Ф. Гоголинский, А. А. Александрович. – Оpubл. 30.06.2009.
4. Левшина, Е. С. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. – 390 с.
5. Гутников, В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В. С. Гутников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.: ил.