

**УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА
(ПЭД), С ПРОБОЙ ПОЛУФАБРИКАТА ПРОДУКЦИИ ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ ФРУКТОВОГО СОКА**

Себко В.В.,

*Доктор технических наук, профессор
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

Бабенко В.Н.,

*Кандидат технических наук, ассистент
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

Ойтугдиева Л.В.,

*Студент
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

Иванченко Д.Д.

*Студент
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

**UNIVERSAL FUNCTIONS FOR CONVERTING A PARAMETRIC
ELECTROMAGNETIC SENSOR (PES), WITH A BREAKDOWN OF
THE SEMI-FINISHED PRODUCT IN THE PRODUCTION OF FRUIT
JUICE**

Sebko V.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
National Technical University "HPI"
Kharkiv Ukraine*

Babenko V.

*Ph.D., assistant
National Technical University "HPI"
Kharkiv Ukraine*

Oytugdiyeva L.

*Student, National Technical University "HPI"
Kharkiv Ukraine*

Ivanchenko D.

*Student, National Technical University "HPI"
Kharkiv Ukraine*

Аннотация

Рассмотрена возможность использования теории работы параметрического электромагнитного датчика (ПЭД), применительно к частному случаю контроля температуры полуфабриката яблочного сока. Приведены расчетные значения универсальных функций преобразования ПЭД.

Abstract

The possibility of applying the theory of the parametric electromagnetic sensor (PES) operation to the special case of temperature control of semifinished apple juice is considered. The calculated values of the universal functions of the PES.

Ключевые слова: параметрический электромагнитный датчик (ПЭД), магнитное поле, кратные частоты, компоненты сигналов ПЭД, фруктовый сок, образец, полуфабрикат, готовая продукция, температура, универсальные функции преобразования.

Keywords: parametric electromagnetic sensor (PES), magnetic field, multiple frequencies, components of PES signals, fruit juice, sample, semi-finished product, finished products, temperature, universal conversion functions.

Среди многообразия видов плодовоовощной консервации наиболее распространенной и востребованной продукцией являются соки и изготовленные на основе соков жидкие пищевые продукты: нектары, концентраты, сиропы. В нормативно-правовых документах оговорено, что процентное содержание сока фруктов (овощей) в напитке с названием «сок» не может быть ниже 85% [1–3]. Самым употребляемым в пищу считается яблочный сок, эту продукцию получают в крупных масштабах с последующей упаковкой в установленную нормативными документами тару [1–3].

На сегодняшний день, представляет особый интерес исследования физико-химических характеристик фруктовых соков, как для повышения качества готовой продукции так и для расчетов и проектирования теплообменной аппаратуры применяемой при изготовлении фруктовых соков, концентратов, сиропов и нектаров, например, при нагреве мезги [1–3]. Среди известных методов и устройств измерения температуры жидких сред, особо выделяются электромагнитные устройства и методы [4–8], выходными сигналами которых являются электрические величины, которые можно передавать на расстояние и преобразовывать в другие физико-химические характеристики [4]. Достоинством электромагнитных методов и реализующих их средств измерений является то, что выходные сигналы таких устройств, могут нести сведения о важнейших производственных характеристиках продукции, т.е. о температуре T , вязкости μ , концентрации C , поверхностном натяжении σ , наличии сухих веществ (СВ) и т.д. Среди таких устройств особо выделяются параметрические электромагнитные датчики (ПЭД), обладающие одной обмоткой, которая сочетает в себе функции намагничивания

и измерения выходных сигналов, как правило, в виде активного сопротивления R и индуктивности этой обмотки L [4, 5].

В работах [4–8] рассмотрены электромагнитные методы и параметрические электромагнитные устройства контроля параметров металлических изделий и некоторых сред (воздуха, машинных и трансформаторных масел, 5% раствора серной кислоты), однако применительно к жидким пищевым продуктам эти методы не применялись. При этом, если с учетом результатов работ [4, 5], ввести соответствующие нормированные параметры — компоненты сигналов электромагнитных устройств, например, обобщенный магнитный параметр x и угол сдвига фаз φ между магнитным потоком в образце жидкого пищевого продукта и намагничивающим током, которые связывают компоненты сигналов преобразователя: напряжение на концах стеклянной трубки с пробой полуфабриката, яблочного сока — U и ток I (который проходит через пробу), с температурой T пробы полуфабриката или готовой продукции, реализация этих методов по нашему мнению, становится возможной.

Таким образом, определение температурных параметров образцов плодовоовощной консервации электромагнитными методами, представляет большой теоретический и практический интерес, особенно в плане повышения качества готовой продукции на всех этапах ее создания.

Целью статьи, является исследование возможности использования теории работы параметрического электромагнитного датчика (ПЭД), применительно к частному случаю — измерению температуры полуфабриката яблочного сока.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать схему включения ПЭД с исследуемым образцом полуфабриката яблочного сока.

2. Привести функции преобразования ПЭД с контролируемой пробой, зондируемой магнитным полем двух кратных частот.

На рис. 1, с учетом результатов работ [4–6], представлена схема установки для измерения температуры — включающей в себя ПЭД, который работает на двух кратных частотах магнитного поля. Схема включает в себя три идентичных преобразователя ПЭД (ПЭД₁, ПЭД₀, ОПЭД), т.е. действующий — ПЭД₁ с исследуемой пробой полуфабриката, разностный — ПЭД₀ и опорный — ОПЭД [4–6], источник сигналов — ИС, измеритель частоты намагничивающего тока — ИЧ, осциллограф — ОС, образцовое сопротивление — $R_{обр}$, измерители напряжения — V , V_1 , V_2 , V_3 , измеритель фазового угла — ИФ, амперметр в цепи нагревателя — А, автотрансформатор — АТ, самописец — С со стробоскопическим устройством (понижающим частоту питания), сопротивление самописца — R_c , в схеме также обозначены I — намагничивающий ток, I_n — ток нагревателя. Измеритель напряжения V_2 измеряет разностное напряжение ΔU между показаниями измерителей напряжения V_3 и V_1 [5]. Измеритель напряжения V_3 регистрирует падение напряжения на

ПЭД₀, а В₁ – определяет падение напряжения на ПЭД₁ с нагреваемой пробой полуфабриката (которая помещается в стеклянную трубку). Зависимый от температуры фазовый угол $\varphi_{\text{вн}1t}$ на первой частоте ПЭД, который работает на кратных частотах, регистрируют с помощью измерителя фазового угла ИФ [5]. Для контроля формы выходного напряжения на источнике сигналов, используют осциллограф ОС, а для контроля формы намагничивающего тока, применяют самописец С [9]. Схема также включает в себя греющее устройство для изменения температуры образца полуфабриката фруктового сока – ГУ [9], в качестве контрольного метода измерения температуры, используется термопара хромель-копель (ТХК) [9].

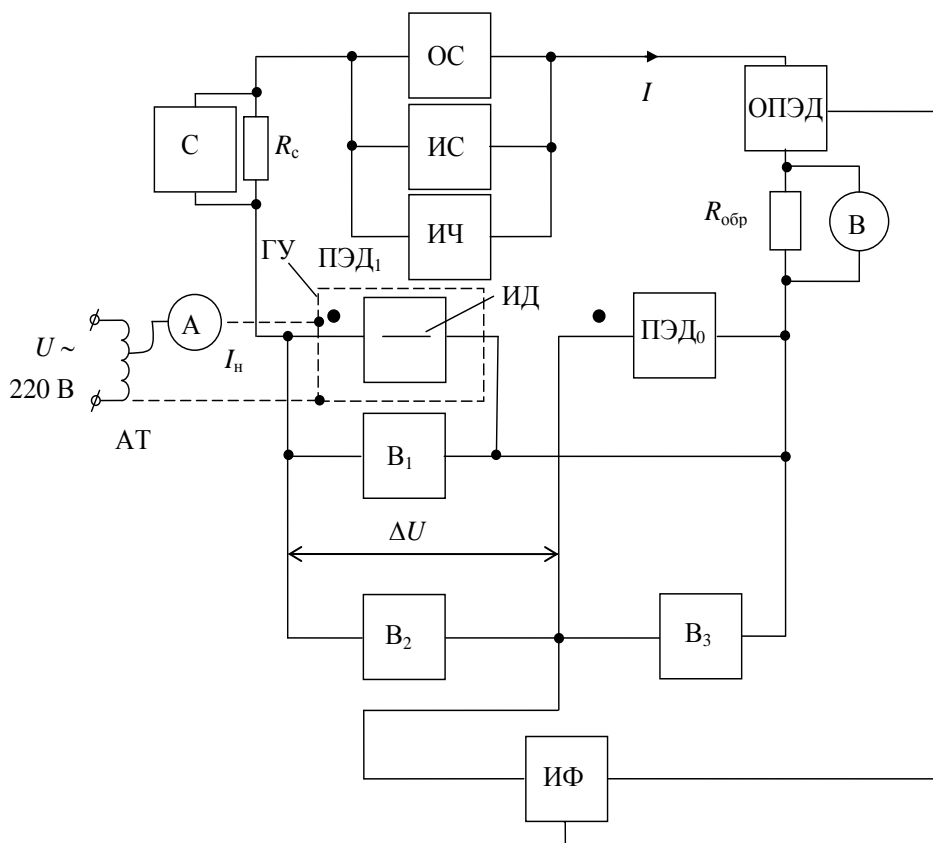


Рисунок 1. Схема ПЭД для реализации электромагнитного метода измерения температуры пробы полуфабриката сока, основанного на кратных частотах

Параметры измерительной установки работающей на кратных частотах: радиус стеклянной трубки с контролируемой пробой $a = 13 \cdot 10^{-3}$ м, радиус ПЭД $a_{\text{п}} = 17 \cdot 10^{-3}$ м, длина ПЭД $l = 0,4$ м, значения кратных частот при $t = 22^\circ\text{C}$, $f_1 = 1720$ Гц и $f_2 = 6880$ Гц.

Таким образом, далее будем использовать два кратных значения, зависящего от температуры параметра x_t , при этом x_{1t} – обобщённый параметр

на частоте ПЭД f_{1t} , а x_{2t} – обобщённый параметр на второй кратной зондирующей образец частоте f_{2t} , т.е. $x_{2t} = 2x_{1t}$, а $f_{2t} = 4f_{1t}$, соответственно для ПЭД работающего на кратных частотах.

Зависимое от температуры, полное эквивалентное сопротивление параметрического электромагнитного датчика ПЭД $z_{\text{ЭКВ}t}$, находят из выражения [4, 5]

$$z_{\text{ЭКВ}t} = R_{\text{ЭКВ}t} + j\omega L_{\text{ЭКВ}t}, \quad (1)$$

где: индекс t – означает, что здесь и в дальнейшем контролируемая величина рассматривается при текущей температуре t пробы полуфабриката [6–8];

ω – циклическая частота изменения магнитного поля;

j – мнимая единица, $j = \sqrt{-1}$.

Вносимое полное электрическое сопротивление ПЭД (которое также зависит от температуры), можно записать в виде [4, 5]

$$\dot{z}_{\text{ВН}t} = \dot{z}_0 - z_{\text{ЭКВ}t}, \quad (2)$$

где: z_0 – полное сопротивление ПЭД при отсутствии образца [4].

Выражение для определения удельного нормированного полного сопротивления $z_{\text{ВН}t}^*$ ПЭД, имеет вид [4, 5]

$$z_{\text{ВН}t}^* = \frac{z_{\text{ВН}t}}{\omega_1 L \eta} = -k_t \sin \varphi_t + jk_t \cos \varphi_t, \quad (3)$$

где: ω_1 – первая циклическая частота изменения магнитного поля, далее индексы "1 и 2" свидетельствуют о принадлежности той или иной величины к определенной частоте магнитного поля;

η – коэффициент заполнения деталью преобразователя.

Модуль и фазовый угол, зависимо от температуры, удельного нормированного сопротивления $z_{\text{ВН}t}^*$, определяется по формуле [4-6]

$$z_{\text{ВН}t}^* = \sqrt{(1 - k_t \cos \varphi_t)^2 + (k_t \sin \varphi_t)^2}, \quad (4)$$

и

$$\text{tg} \varphi_{\text{ВН}t} = -\frac{1 - k_t \cos \varphi_t}{k_t \sin \varphi_t} \quad (5)$$

где: k_t – удельный нормированный магнитный поток;

φ_t – угол сдвига фаз.

Следует отметить, что теперь для x_{1t} или f_{1t} , используются соответствующие значения величин $z_{\text{ВН}1t}^*$ и $\text{tg} \varphi_{\text{ВН}1t}$, а для x_{2t} или f_{2t} , соответственно значения – $z_{\text{ВН}2t}^*$ и $\text{tg} \varphi_{\text{ВН}2t}$. При этом если взять отношение $z_{\text{ВН}1t}^* / z_{\text{ВН}2t}^*$, то в данном случае, в формуле для определения удельного нормированного полного сопротивления обмотки ПЭД исчезнет параметр η , а первая функция преобразования для ПЭД работающего на кратных частотах магнитного поля, зондирующего пробу полуфабриката, будет иметь вид

$$z_{\text{ВНН}}^{**} = \frac{z_{\text{ВН1}t}^*}{z_{\text{ВН2}t}^*} = \frac{z_{\text{ВН1}t} \omega_{2t}}{z_{\text{ВН2}t} \omega_{1t}} = \frac{4z_{\text{ВН1}t}}{z_{\text{ВН2}t}} =$$

$$= \frac{\sqrt{(1-k_{1t} \cos \varphi_{1t})^2 + (k_{1t} \sin \varphi_{1t})^2}}{\sqrt{(1-k_{2t} \cos \varphi_{2t})^2 + (k_{2t} \sin \varphi_{2t})^2}} = f(\varphi_{\text{ВН1}t}) \quad (6)$$

где: $\varphi_{\text{ВН1}t}$ – угол сдвига фаз на первой частоте магнитного поля ПЭД.

Таким образом, 1-ая функция преобразования, это зависимость отношения сопротивлений $z_{\text{ВН1}t}^*/z_{\text{ВН2}t}^*$ на двух кратных частотах ПЭД, от $\varphi_{\text{ВН1}t}$ (фазового угла на первой частоте), второй функцией преобразования, является зависимость обобщенного параметра x_{1t} (на первой частоте ПЭД, работающего на двух кратных частотах) от фазового угла $\varphi_{\text{ВН1}t}$. Расчётные зависимости универсальных функций преобразования $z_{\text{ВН1}t}^*/z_{\text{ВН2}t}^*$ от $\varphi_{\text{ВН1}t}$ и x_{1t} от $\varphi_{\text{ВН1}t}$, ПЭД с пробой полуфабриката, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Расчётные зависимости универсальных функций преобразования и компонентов сигналов ПЭД на кратных частотах магнитного поля.

x_{1t} и x_{2t}	k_t	φ_{1t} и φ_{2t}	$k_t \cos \varphi_t$	$k_t \sin \varphi_t$	$z_{\text{ВНН1}t}^*$ и $z_{\text{ВНН2}t}^*$	$\varphi_{\text{ВН1}t}$ и $\varphi_{\text{ВН2}t}$	$\frac{z_{\text{ВН1}t}^*}{z_{\text{ВН2}t}^*}$
0,1	0,999999	0,072	0,999998	-0,00126	0,200004	-89,568	0,99977
0,2	0,999979	0,289	0,999967	-0,00499	0,20005	-88,2842	0,996268
0,4	0,999667	1,146	0,999467	-0,01999	0,200799	-83,1377	0,945968
0,8	0,994717	4,559	0,99157	-0,07907	0,212268	-63,4502	0,643748
1,6	0,925849	16,939	0,885681	-0,26975	0,329738	-10,9824	0,540065
3,2	0,576979	36,952	0,461087	-0,34685	0,610553	47,02283	0,490561

Выражение для определения температуры образца полуфабриката, выглядит следующим образом

$$t = \frac{1 + \kappa t_0}{\kappa} \left[\left(\frac{z_{\text{ВНН1}t}^* \cdot \sigma_0 x_{1t}^2 \cdot x_{\text{инд}}}{a_{\text{п}}^2 \cdot b \cdot 2\pi f_{1t} \cdot \mu_0} - 1 \right) \right] + t_0. \quad (8)$$

где: k – постоянный температурный коэффициент, который определяется экспериментально; t_0 – начальная температура полуфабриката;

σ_0 – удельная электрическая проводимость при начальной температуре;

x_1 – обобщенный магнитный параметр на первой частоте магнитного поля ПЭД;

$x_{\text{инд}}$ – индуктивное сопротивление ПЭД без изделия;

b – измеренное численное значение сопротивления обмотки ПЭД на первой частоте магнитного поля, при этом параметр b имеет размерность [Ом];

f_1 – первая частота магнитного поля ПЭД;

μ_0 – магнитная постоянная.

Таким образом, приведены универсальные функции преобразования параметрического электромагнитного датчика (ПЭД), работающего на кратных частотах магнитного поля зондирующего пробку полуфабриката яблочного сока.

Список использованной литературы

1. ДСТУ 4283.1:2007. Консерви. Соки та сокові продукти. Терміни та визначення понять».
2. ДСТУ 4283.2:2007. Консерви. Соки та сокові продукти. Номенклатура та вимоги».
3. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: Навч. посібник. — К.: Вища освіта, 2004. — 272 с.
4. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики для контроля методом вихревых токов. — Новосибирск. — Наука, 1967. — 144 с.
5. Себко В.П. Индуктивный преобразователь для многопараметровых, бесконтактных измерений — В сб. Локальные автоматизированные системы автоматики и вычислительной техники, Киев: Наукова думка, 1983, с. 103–109.
6. Себко В.В., Гора С.А., Чан Куанг Минь и др. Параметрический преобразователь для определения потерь мощности. — Техническая электродинамика, 1993, №4, с. 75–78.
7. Багмет О.Л., Машнева И.В., Себко В.В., Москаленко И.И. Расчет характеристик электромагнитного преобразователя температуры // Измерительная техника. — Харьков. — 1997. — № 1. — С. 57–60.
8. Себко В.В. Використання теорії теплового контактного вихорострумового перетворювача (КРП), стосовно сумісного контролю трьох параметрів немагнітної речовини // Восточно – Европейский журнал передовых технологий. — Харьков: — 2008. — Вып. 3/4 (33). — С. 39–43.
9. Блецкан Д.І., Горват А.А., Кабацій В.М. Електричні вимірювання: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / За редакцією професора Д. І. Блецкана. — Ужгород.: ВАТ “Видавництво “Закарпаття”, 2008. — 400 с.