

**В.Т. КОНДРАТОВ**

Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України

**О.О. ШМИГА, В.М. ЯЦИШЕН**

Хмельницький національний університет

## НАДЛИШКОВІ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В роботі показані особливості вимірювання вологості та температури сипких харчових продуктів методів надлишкових вимірювань та описана робота цифрового вимірювача вологості зазначених продуктів з приведенням результату вимірювання вологості до температури, за якою виготовлена проба харчового продукту з нормованою за значенням вологістю.

We show features of humidity and temperature measuring bulk foods metodov redundant measurements and describes a digital moisture meter to bring those products with the result of humidity measurement to a temperature at which food is made on test-product of normalized by the value of humidity.

Ключовислова: вимірювання вологості, методи надлишкових вимірювань, цифровий вимірювач вологості

### **Вступ**

Проблема підвищення точності вимірювання вологості харчових продуктів була і є актуальною. На практиці, при вимірюванні вологості сипких харчових продуктів виникають похибки вимірювання, що обумовлені нестабільністю параметрів функції перетворення вимірювального каналу в результаті впливу різних зовнішніх дестабілізуючих факторів. В даній роботі описаний метод надлишкових вимірювань вологості харчових продуктів з автоматичним виключенням систематичних похибок та приведенням значень вологості до нормованого значення температури [1, 2]. Завдяки використанню методів надлишкових вимірювань систематичні похибки результату вимірювання виключаються.

**Об'єкт дослідження** – процес вимірювання вологості сипких харчових продуктів.

**Предмет досліджень** – процес надлишкових вимірювань вологості та температури сипких харчових продуктів.

**Мета роботи** – ознайомлення вчених і спеціалістів з новітнім методом вимірювання вологості сипких харчових продуктів та відповідним технічним рішенням.

### **Результати досліджень**

Для вимірювання вологості нами використано генераторний метод. Відомо, що частота електричних сигналів зворотно пропорційна ємності чи діелектричній проникності –

$$f_{x1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_x L_k}} = \frac{1}{k\sqrt{C_x}} = \frac{1}{k\sqrt{\epsilon_x s_c / l_c}} = \frac{1}{k\sqrt{\epsilon_x v_c / l_c^2}} = \frac{1}{K\sqrt{\epsilon_x}}, \quad (1)$$

де  $L_k$  – індуктивність коливального кола перетворювача;  $C_x$  – ємність коливального кола;  $\epsilon_x$  – діелектрична проникність проби;  $s_c$  – площа ємнісного сенсора;  $l_c$  – висота ємнісного сенсора чи відстань між електродами, що складають сенсор;  $v_c$  – об'єм проби;  $k$  і  $K$  – коефіцієнти пропорційності ( $K = k\sqrt{s_c / l_c}$ ).

Вологість цукру чи іншого харчового продукту залежить від їх вологовмісту при заданій температурі. Діелектрична проникність харчових продуктів змінюється від їх вологості. Цукор, зерно чи інший харчовий продукт заданого об'єму, що розміщений між обкладинками конденсатору змінює ємність останнього. З рівняння величин (1) можна зробити висновок, що діелектрична проникність та ємність пропорційні квадрату частоти:  $\epsilon_x = 1/K^2 f_x^2$ , а  $C_x = 1/k^2 f_x^2$ .

Зміна частоти електричних коливань здійснюється за рахунок зміни, зокрема, електричної ємності сенсора. При цьому, основною вимогою перетворення у частоту, наприклад, електричної ємності проби харчового продукту є забезпечення постійних значень параметрів  $v_c$  та  $l_c$  (див. (1)). Практично це забезпечується шляхом підготовки проби заданого об'єму та відповідних розмірів, яка розташовується у ємності сенсора вологості.

Запропонований метод надлишкових вимірювань вологості сипких харчових продуктів оснований на перетворенні у частоту  $f_{x0}$  електричного сигналу електричної ємності першого чи другого сенсора без проб харчового продукту, вимірюванні та запам'ятовуванні отриманого значення частоти. Причому, до перетворення здійснюється вирівнювання значень електричних ємностей першого та другого сенсорів вологості без наявності проб харчових продуктів при температурі та вологості оточуючого середовища.

Після цього значення електричних ємностей змінюється шляхом введення у перший та другий сенсори вологості проб однорідних та однотипних харчових продуктів, відповідно, невідомої та відомої за значенням вологості, заданого об'єму та при різній за значенням температурі. Далі у частоту електричного сигналу почергово перетворюються електричні ємності першого та другого сенсорів вологості. Частота

електричних сигналів вимірюється, а отримані результати запам'ятовуються. Про вологість цукра, зерна чи іншого харчового продукту судять за відомим рівнянням вимірювання.

Від відомих метод надлишкових вимірювань відрізняється тим, що спочатку вимірюється та запам'ятовується температура першого ( $T_{c1}$ ) та другого ( $T_{c2}$ ) ємносних сенсорів з пробами харчового продукту з невідомою та нормованою за значенням вологістю. Це необхідно для того, щоб остаточний результат вимірювання вологості завести до однієї, нормованої за значенням, температури. Дійсно, проба харчового продукту може мати різну температуру, а від температури залежить й вологовміст цього продукту.

Температура другого сенсору стабілізується на заздалегідь заданому рівні, наприклад, при  $T_{c2} = T_n = 20^{\circ}C$ . Це забезпечується за рахунок термостатування чи термостабілізації другого ємносного сенсора вологості.

Апріорі вирівнюються значення електричних ємностей першого та другого сенсорів вологості без наявності у них проб харчових продуктів, але при температурі та вологості оточуючого середовища.

Слід зазначити, що визначення значення частоти  $f_{x0}$  здійснюється для подальшого виключення впливу власної ємності сенсорів на остаточний результат вимірювання вологості харчового продукту. Крім того, це необхідно для визначення значення ємності сенсорів без проб з метою підбору та визначення ємності до-даткового конденсатора, який підключається до кожного сенсора вологості під час визначення частоти вихідного сигналу перетворювача «ємність – частота» (ПЄЧ). У частоту  $f_{x0}$  електричного сигналу перетворюється електрична ємність  $C_0$  першого чи другого сенсора без проб харчового продукту. Частота  $f_{x0}$  електричного сигналу вимірюється, а отримане значення

$$N_{x0} = f_{x0} \Delta t_0, \quad (2)$$

де  $\Delta t_0$  – проміжок часу підрахування у лічильнику кількості імпульсів, що слідує з частотою  $f_{x0}$ , запам'ятовується.

Значення електричних ємностей сенсорів вологості змінюються шляхом введення у зазначені сенсори проб однорідних та однотипних харчових продуктів, відповідно, невідомої  $W_x$  та відомої  $W_0$  за значенням вологості, заданого об'єму  $v_c$  та при температурах  $T_{c1}$  і  $T_{c2}$ . Тобто у ємносні сенсори вологості встановлюють проби досліджуваного харчового продукту (цукру, зерна тощо). Це приводить до зміни ємностей сенсорів.

Далі електричні ємності першого та другого сенсорів вологості перетворюються у частоти  $f_{x1}$  і  $f_{x2}$  електричних сигналів. Після їх вимірювання отримані значення частот

$$N_{x1} = f_{x1} \Delta t_0, \quad (3)$$

$$N'_{x2} = f_{x2}(T_{c2}) \Delta t_0 \quad (4)$$

запам'ятовується.

Потім змінюють температуру  $T_{c2}$  другого ємносного сенсора до заздалегідь заданій і стабілізованій за значенням температури  $T_n$ , при якій була здійснена підготовка проби з нормованою за значенням вологістю  $W_0$ . У момент часу рівності зазначених температур, тобто при  $\{T_{c2}\} = \{T_n\}$ , вимірюється значення частоти  $f_{x2}(T_n) = f_{x2}$  електричного сигналу, з урахуванням подвійної початкової електричної ємності сенсора вологості. Отримане значення частоти

$$N_{x2} = f_{x2} \Delta t_0 \quad (5)$$

запам'ятовується.

Після цього у частоту  $f_{x3}$  електричного сигналу додатково перетворюється сумарна електрична ємність першого та другого сенсорів вологості. Після її вимірювання отримане значення частоти

$$N_{x3} = f_{x3} \Delta t_0, \quad (6)$$

при якій була урахована й подвійна початкова електрична ємність сенсора вологості, запам'ятовується.

Про значення вологості досліджуваної проби харчових продуктів при температурі оточуючого середовища, тобто при  $\{T_{c1}\} = \{T_{сep}\}$ , судять за рівнянням числових значень

$$N_{Wx} = \{W_0\} \frac{(N_{x3} - N_{x0})^2 / (N_{x2} - N_{x0})^2 - 1}{(N_{x3} - N_{x0})^2 / (N_{x1} - N_{x0})^2 - 1}, \quad (7)$$

що відповідає рівнянню надлишкових вимірювань

$$W_x = W_0 \frac{(f_{x3} - f_{x0})^2 / (f_{x2} - f_{x0})^2 - f_{x0}^0}{(f_{x3} - f_{x0})^2 / (f_{x1} - f_{x0})^2 - f_{x0}^0}.$$

Описаний метод має таку особливість, що одночасно з почерговим перетворенням у частоту електричного сигналу ємностей першого та другого сенсорів вологості, вимірюванням частот і запам'ятовуванням їх значень, у пропорційні напруги  $U_1, U_2$  і  $U_3$ , – при коефіцієнті підсилення  $k_{п1}$ , та напруги  $U_4, U_5$  і  $U_6$ , – при коефіцієнті підсилення  $k_{п2}$ , почергово перетворюються, відповідно, опір  $R_{c1}$

першого термочутливого елемента, послідовно з'єднані між собою опори першого ( $R_{c1}$ ) термочутливого та третього ( $R_0$ ) термонечутливого елементів, опір  $R_0$  третього термонечутливого елемента (резистора), опір  $R_{c2}$  другого термочутливого елемента, послідовно з'єднані між собою опір  $R_{c2}$  другого термочутливого та опір  $R_0$  термонечутливого елементів.

Слід зазначити, що вимірювання температури першого і другого сенсорів здійснюється першим та другим термочутливими елементами (терморезисторами), які мають лінійну залежність опору від температури, але різну чутливість, тобто  $R_{c1} = S'_1 T_{c1}$ , а  $R_{c2} = S''_1 T_{c2}$ , де  $S'_1$  – крутість перетворення температури  $T_{c1}$  у опір для першого термочутливого елемента;  $S''_1$  – крутість перетворення температури  $T_{c2}$  у опір для другого термочутливого елемента. Тому, для виключення впливу різних значень чутливості чи крутості перетворення на результати вимірювання температури, у пропорційні напруги  $U_1, U_2, U_3$  і  $U_4, U_5, U_6$  перетворюються опори двох термочутливих та одного термонечутливого елементів при коефіцієнтах підсилення  $k_{п1}$  і  $k_{п2}$  відповідно.

Спочатку, у напругу

$$U_1 = k_{п1} I_0 (R_{c1} + r_0), \quad (8)$$

де  $I_0$  – стабільний за значенням струм через електричне коло, в якому термочутливий елемент з опором  $R_{c1}$  пропорційний температурі  $T_{c1}$  першого сенсора вологості;  $k_{п1}$  – коефіцієнт підсилення падіння напруги на опорі  $R_{c1}$ ;  $r_0$  – неінформативний опір кола (опір з'єднувальних провідників тощо), перетворюють опір першого ( $R_{c1}$ ) термочутливого елемента та неінформативний опір  $r_0$  частотозадаючого електричного кола. Отриману напругу (8) вимірюють та запам'ятовують.

Після цього у напругу

$$U_2 = k_{п1} I_0 (R_{c1} + R_0 + r_0) \quad (9)$$

перетворюють опори  $R_{c1}$  і  $R_0$  ( $\{R_0\} = \text{const} \equiv \{T_0\}$ ) термочутливого та термонечутливого елементів та неінформативний опір  $r_0$  електричного кола.

Далі у напругу

$$U_3 = k_{п1} I_0 (R_0 + r_0) \quad (10)$$

перетворюють опір  $R_0$  термонечутливого елемента та неінформативний опір  $r_0$  частотозадаючого електричного кола.

Отримані напруги  $U_1$  (8),  $U_2$  (9) і  $U_3$  (10) пропорційні, відповідно, температурі  $T_{c1}$  проби першого сенсора з невідомою за значенням вологістю, сумарній температурі  $T_{10}$  ( $\{T_{10}\} = \{T_{c1}\} + \{T_0\}$ ) та «опорній» чи заданій за значенням температурі  $T_0$ .

За результатами проміжних вимірювань опорів судять про дійсне значення температури проби харчового продукту з невідомою за значенням вологістю за рівнянням величин

$$T_{c1} = T_0 \frac{U_2 - U_3}{U_2 - U_1}. \quad (11)$$

Після цього вимірюється температура другого ємносного сенсора з нормованою за значенням вологості пробою. У напругу

$$U_4 = k_{п2} I_0 (R_{c2} + r_0), \quad (12)$$

де  $I_0$  – стабільний за значенням струм через електричне коло, в якому термочутливий елемент з опором  $R_{c1}$  пропорційний температурі  $T_{c1}$  першого сенсора вологості;  $k_{п2}$  – коефіцієнт підсилення падіння напруги на опорі  $R_{c2}$ , перетворюють опір другого ( $R_{c2}$ ) термочутливого елемента та неінформативний опір  $r_0$  частотозадаючого електричного кола. Отриману напругу (12) вимірюють та запам'ятовують.

Далі у напругу

$$U_5 = k_{п2} I_0 (R_{c2} + R_0 + r_0) \quad (13)$$

перетворюють опори  $R_{c2}$  і  $R_0$  термочутливого та термонечутливого елементів та неінформативний опір  $r_0$  електричного кола.

Після цього у напругу

$$U_6 = k_{п2} I_0 (R_0 + r_0) \quad (14)$$

перетворюють опір  $R_0$  термонечутливого елемента та неінформативний опір  $r_0$  електричного кола.

Отримані напруги  $U_4$  (12),  $U_5$  (13) і  $U_6$  (14) пропорційні, відповідно, температурі  $T_{c2}$  проби першого сенсора з відомою і нормованою за значенням вологістю, сумарній температурі  $T_{20}$  ( $\{T_{20}\} = \{T_{c2}\} + \{T_0\}$ ) та «опорній» за значенням температурі  $T_0$ .

За результатами проміжних вимірювань опорів судять про дійсне значення температури проби

цукру чи іншого харчового продукту з відомою за значенням вологістю за рівнянням величин

$$T_{c2} = T_n = T_0 \frac{U_5 - U_6}{U_5 - U_4} \quad (15)$$

Про дійсне значення вологості досліджуваної проби цукру чи інших харчових продуктів відносно стабілізованій за значенням температури (15), при якій виготовлялась проба харчового продукту, судять за електронними таблицями відповідності ( $W_{xT_0} = F(W_x, T_0)$ ).

Як видно з отриманих аналітичних виразів (7), (11) і (15), при виконанні операції віднімання виключаються адитивні складові похибки вимірювання. При виконанні операції ділення виключаються мультиплікативні складові похибки результату визначення вологості проби харчового продукту та температури.

Використання методу надлишкових вимірювань забезпечило: виключення впливу на результат вимірювання абсолютних значень та нестабільності параметрів функцій перетворення ємності у частоту електричних сигналів; початкового значення частоти електричних сигналів перетворювача «ємність-частота» (ПЄЧ); підвищення точності вимірювання температури при часовій та температурній нестабільності параметрів функцій перетворення каналу вимірювання температури; виключення впливу на результат вимірювання зовнішніх дестабілізуючих факторів. Описаний метод забезпечує високоточне вимірювання як вологості, та й температури проб за рахунок автоматичного виключення систематичних похибок.

На рисунку наведена функціональна схема одного з варіантів реалізації цифрового діелькометричного вимірювача вологості сипких харчових продуктів, що реалізує описаний метод вимірювання.

Робота даного діелькометричного вимірювача вологості складається з трьох тактів вимірювання і такту обробки результатів проміжних вимірювань частоти та температури.

Після ввімкнення живлення всі функціональні блоки встановлюються в вихідний стан. Автоматичні перемикачі АП1 – АП6 встановлюються у положення, показане на рисунку. Цифровий відліковий пристрій ЦВП показує нулі. Слід зазначити, що ємнісні сенсори вологості ЄС1 чи ЄС2 з електричною ємністю  $C_e$  підключаються до частотозадаючого кола перетворювача ПЄЧ по чергово за допомогою першого автоматичного перемикача АП1. За допомогою третього автоматичного перемикача АП3 до цього кола додатково підключається ще й електричний конденсатор ЕК з додатковою ємністю, яка вибирається рівною за значенням ємності  $C_e$  сенсора вологості, тобто  $\{C_{ЕК}\} = \{C_e\}$ .

Спочатку здійснюється вирівнювання електричних ємностей сенсорів ЄС1 і ЄС2 без проб шляхом зміни (за програмою з МК) вихідної напруги цифроаналогового перетворювача ЦАП, що поступає на варікап ВК. Останній послідовно включений з електричним конденсатором ЕК1 (див. рисунок). Одночасно, по команді з мікропроцесора МП, по чергово змінюється положення автоматичного перемикача АП1, а частота вихідного електричного сигналу перетворювача ПЄЧ контролюється за допомогою МП. У момент часу досягнення однакових показань запам'ятовуються значення вихідної напруги ЦАП і значення (2) частоти  $f_{x0}$  вихідного сигналу перетворювача ПЄЧ.

Після цього у ємності сенсорів ЄС1 і ЄС2 встановлюються проби харчового продукту з невідомою та відомою за значенням вологістю і температурою (досліджуваного та стандартного зразків продукту). У сенсорі вологості ЄС1 встановлюється температура оточуючого середовища, тобто  $\{T_{c1}\} = \{T_{cep}\}$ .

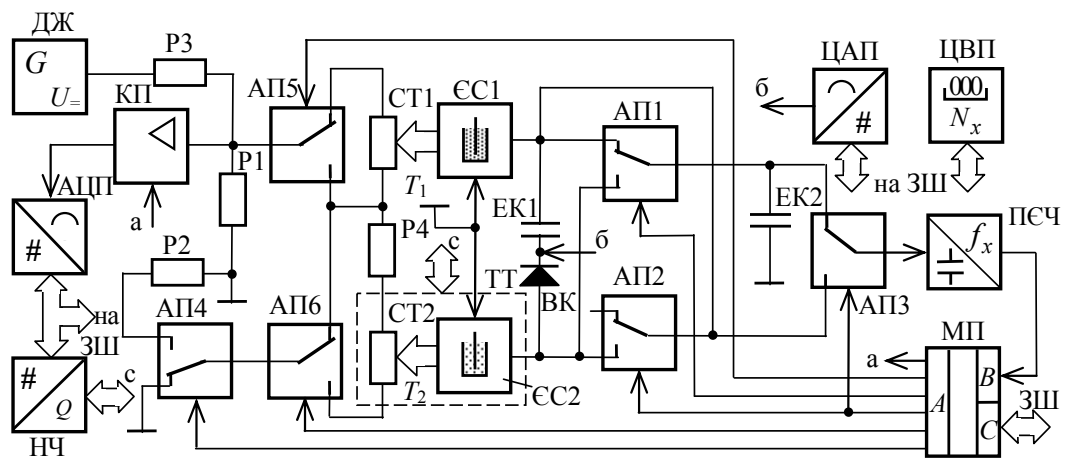


Рис. 1. Функціональна схема вимірювача вологості сипких харчових продуктів

По команді з МП за допомогою нагрівача НЧ термостату ТТ температуру сенсора ЄС2 з пробую, що має нормовану за значенням вологість, встановлюють рівною температурі створення цієї проби і встановлення нормованої за значенням вологості, тобто  $\{T_{c2}\} = \{T_n\}$ .

Контроль за температурою першого та другого сенсорів ЄС1 і ЄС2 здійснюється за допомогою

першого та другого термочутливих елементів (резисторів СТ1 і СТ2). За їх допомогою температура сенсорів ЄС1 і ЄС2 перетворюється у відповідні напруги. Останні підсилюються у підсилювачі КП з керованим коефіцієнтом підсилення та перетворюються у коди чисел за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП. Отримані дані поступають, через загальну шину ЗШ і порт «С» у МП, де вони обчислюються за відповідними рівняннями числових значень (11) і (15). Значення температури виводяться на ЦВП.

Після встановлення заданої температури в середині термостату ТТ з сенсором ЄС2 і термочутливим резистором СТ2, сенсорі вологості ЄС1 і ЄС2 різної температури по чергово підключаються до перетворювача ПЄЧ. Оскільки вихід перетворювача ПЄЧ підключений послідовного порту «В» МП, то за допомогою останнього здійснюється вимірювання частоти вихідного сигналу перетворювача ПЄЧ при різних положеннях автоматичних перемикачів АП1, АП2 і АП3. Це обумовлено реалізованим методом надлишкових вимірювань.

У першому такті вимірюється частота  $f_{x1}$  електричного сигналу з виходу перетворювача ПЄЧ, який формується при підключенні до нього сенсора ЄС1 з пробєю харчового продукту невідомої вологості за допомогою автоматичного перемикачів АП1 і АП3 (при їх положеннях, що показані на рисунку). Результат (3) вимірювання зазначеної частоти запам'ятовується в оперативному запам'ятовуючому пристрої МП.

У другому такті вимірюється частота  $f_{x2}$  електричного сигналу з виходу перетворювача ПЄЧ, який формується при підключенні до нього сенсора ЄС2 з пробєю харчового продукту з відомою вологістю. Це здійснюється по команді з МП шляхом зміни положення автоматичного перемикача АП1 на протилежне. Результат (5) вимірювання зазначеної частоти також запам'ятовується в оперативному запам'ятовуючому пристрої МП.

У третьому такті вимірюється частота  $f_{x3}$  електричного сигналу перетворювача ПЄЧ, який формується при підключенні до нього першого і другого сенсорів ЄС1 і ЄС2 з різними пробами. Це здійснюється по команді з МП шляхом встановлення АП1 у положення, що показано на рисунку, а АП2 – на протилежне вказаному на рисунку положення. Результат (6) вимірювання зазначеної частоти також запам'ятовується.

В четвертому такті відбувається обробка результатів проміжних вимірювань отриманих значень частот електричних сигналів з виходу перетворювача ПЄЧ згідно з рівнянням числових значень (7). В результаті отримують дійсне значення вологості проби харчового продукту.

Одночасно з вимірюванням частоти здійснюється вимірювання температури сенсорів ЄС1 і ЄС2 методом надлишкових вимірювань. Причому, за час вимірювання дійсного значення вологості проби цукру, зерна чи іншого харчового продукту, що дорівнює одному циклу вимірювань, здійснюється вимірювання опорів двох термочутливих і одного термонечутливого елементів (резисторів СТ1, СТ2 і Р1) при різних значеннях коефіцієнту  $k_{\pi}$  підсилення підсилювача КП напруги. За результатами вимірювань опорів визначаються значення температури обох сенсорів вологості. Для перемикачів термочутливих і термонечутливих елементів використовуються автоматичні перемикачі АП4, АП5 і АП6.

Спочатку, у першому такті вимірювання температури сенсору ЄС1, по команді з МП автоматичні перемикачі АП4, АП5 і АП6 встановлюються у положення, що показане на рисунку. В результаті через послідовно з'єднані між собою опори додаткового резистору Р3, замкненого автоматичного перемикача АП5, термочутливого елементу СТ1, що розміщений у сенсорі ЄС1, та автоматичних перемикачів АП4 і АП6 потече стабілізований за значенням струм від джерела ДЖ стабільного струму. В результаті на результуючому опорі, що складається з послідовно з'єднаних між собою опорів термочутливого елементу СТ1, замкнених автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6 та з'єднувальних провідників, має місце падіння напруги. Остання за допомогою підсилювача КП підсилюється у задане число  $k_{\pi 1}$  разів. Отримана напруга  $U_1$  (8), що містить інформацію про температуру  $T_{c1}$  проби першого сенсора, перетворюється у код відповідного числа за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП і поступає у МП.

У другому такті вимірювання, по команді з МП, автоматичний перемикач АП4 встановлюється у положення, що протилежне показаному на рисунку. В результаті струм від ДЖ потече через послідовно з'єднані між собою опори додаткового резистору Р3, замкнених автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6, а також термочутливого елементу СТ1. На вхід підсилювача КП поступить напруга  $U_2$  (9), що містить інформацію про сумарну температуру  $T_{10}$ , що дорівнює сумі температур  $T_{c1}$  проби першого сенсора ЄС1 і температурі  $T_0$  термонечутливого елементу (резистора) Р2, тобто ( $\{T_{10}\} = \{T_{c1}\} + \{T_0\}$ ). Ця напруга за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код відповідного числа і поступає у МП, де запам'ятовується в оперативному запам'ятовуючому пристрої.

У третьому такті вимірювання, по команді з МП, автоматичні перемикачі АП4 і АП5 встановлюються у положення, протилежне показаному на рисунку. В результаті через опір термонечутливого елементу Р2 та опори замкнених автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6 та з'єднувальних провідників потече стабілізований за значенням струм від джерела ДЖ стабільного струму. В результаті здійснюється падіння напруги, яка за допомогою підсилювача КП також підсилюється у задане число  $k_{\pi 1}$  разів. Отримана напруга  $U_3$  (10) містить інформацію про опорну за значенням температуру  $T_0$ . Вона також перетворюється у код числа за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП та

запам'ятовується.

Про дійсне значення температури  $T_{c1}$  проби у сенсорі ЄС1 з судять за рівнянням надлишкових вимірювань (11).

Аналогічно визначається температура  $T_{c2}$  сенсора з нормованою за значенням вологості пробою. Оскільки чутливості лінійного перетворення температури у опір неіdentичні за значенням, тобто  $R_{c1} = S'_{t1}T_{c1}$ , а  $R_{c2} = S'_{t2}T_{c2}$ , то визначення температури  $T_{c2}$  здійснюється при значенні коефіцієнта підсилення підсилювача КП рівному  $k_{п2}$ . Причому значення коефіцієнту  $k_{п2}$  вибирається таким, щоб напруги

$$U_1 = k_{п1}I_0(R_{c1} + r_0) = k_{п1}I_0(S'_{t1}T_{c1} + r_0) = k_{п1}S'_{t1}I_0(T_{c1} + \Delta T_0) = S_t I_0(T_{c1} + \Delta T_0) \quad (16)$$

і

$$U_4 = k_{п2}I_0(R_{c2} + r_0) = k_{п2}I_0(S'_{t2}T_{c2} + r_0) = k_{п2}S'_{t2}I_0(T_{c2} + \Delta T_0) = S_t I_0(T_{c2} + \Delta T_0) \quad (17)$$

мали однакову чутливість до вимірювальних температур, тобто, щоб  $k_{п1}S'_{t1} = k_{п2}S'_{t2} = S_t$ .

У першому такті вимірювання температури сенсору ЄС2, по команді з МП, автоматичні перемикачі АП1 і АП6 встановлюються у положення, протилежні показаному на рисунку. В результаті через послідовно з'єднані між собою опори додаткового резистору Р3, замкненого (у іншому стані, ніж показано на рисунку) автоматичного перемикача АП5, термочутливого елемента СТ2, що розмішений у сенсорі ЄС2 вологості, автоматичного перемикача АП4 (і іншому стані) та з'єднувальних провідників потече стабілізований за значенням струм від джерела ДЖ стабільного струму. В результаті на опорі, що складається з послідовно з'єднаних між собою опорів термочутливого елемента СТ2, замкнених автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6 та з'єднувальних провідників, здійснюється падіння напруги. Ця напруга за допомогою підсилювача КП підсилюється у  $k_{п2}$  рази. Отримана напруга  $U_4$  (12) містить інформацію про температуру  $T_{c2}$  проби першого сенсора. За допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП напруга (12) перетворюється у код числа, поступає через ЗШ у МП, де й запам'ятовується.

У другому такті вимірювання, по команді з МП, автоматичний перемикач АП4 також встановлюється у положення, протилежне показаному на рисунку. В результаті струм вже потече через послідовно з'єднані між собою опори додаткового резистору Р3, замкненого автоматичного перемикача АП5 (що знаходиться у протилежному стані, ніж показано на рисунку), термочутливого елемента СТ2, автоматичних перемикачів АП6 і АП4 та з'єднувальних провідників.

На вхід підсилювача КП поступить напруга, що отримана за рахунок падіння струму на опорі, що складається з послідовно з'єднаних між собою опорів термочутливого елемента СТ2, термонечутливого елемента Р2, замкнутих автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6 та з'єднувальних провідників. Зазначена напруга за допомогою підсилювача КП, підсилюється у  $k_{п2}$  рази. Отримана напруга  $U_5$  (13) містить інформацію про сумарну температуру  $T_{20}$ , що дорівнює сумі значень температури  $T_{c2}$  проби першого сенсора ЄС1 і температури  $T_0$  термонечутливого елемента (резистора) Р2, тобто  $\{T_{20}\} = \{T_{c2}\} + \{T_0\}$ . Напруга (13) за допомогою АЦП перетворюється у код числа і запам'ятовується.

У третьому такті вимірювання, по команді з блоку управління 21, автоматичний перемикач АП6 встановлюються у положення, показане на рисунку. В результаті через послідовно з'єднані між собою опори додаткового резистору Р3, замкнених автоматичних перемикачів АП4, АП5 і АП6, з'єднувальних провідників та термонечутливого елемента Р2 потече стабілізований за значенням струм від джерела ДЖ стабільного струму. В результаті на цьому опорі здійснюється падіння напруги, яка за допомогою підсилювача КП підсилюється у  $k_{п1}$  рази. Отримана напруга  $U_6$  (14), що містить інформацію про опорну за значенням температуру  $T_0$ , перетворюється у код числа і запам'ятовується в оперативному запам'ятовуючому пристрої МП.

Про дійсне значення температури  $T_{c2}$  проби у сенсорі ЄС2 з судять за рівнянням надлишкових вимірювань (15).

За отриманими значеннями температур  $T_{c1}$  і  $T_{c2}$  ( $\{T_{c2}\} = \{T_H\}$ ) корегують значення вологості  $W_x$  зерна чи іншого сипучого матеріалу за електронними таблицями відповідності ( $W_{xT_H} = F(W_x, T_H)$ ), що записані у пам'ять постійного запам'ятовуючого пристрою МП. Тобто значення вологості досліджуваної проби зерна чи інших сипучих матеріалів, отримане при температурі оточуючого середовища  $T_{сер}$  ( $\{T_{сер}\} = \{T_{c1}\}$ ), приводиться до значення, що відповідає температурі  $T_H$  підготовки проби з нормованою за значенням вологістю  $W_0$ .

Таким чином, метод надлишкових вимірювань вологості харчових продуктів та відповідне технічне рішення забезпечують: високоточне вимірювання як вологості, так й температури проб харчових продуктів; виключення впливу на результат вимірювання нестабільності функцій перетворення ємності у частоту електричних сигналів та початкового значення частоти перетворювача; високоточне вимірювання температури при часовій та температурній нестабільності параметрів функції перетворення каналу вимірювання

температури; виключення впливу на результат вимірювання зовнішніх дестабілізуючих факторів опорів автоматичних перемикачів та з'єднувальних провідників; приведення результату вимірювання вологості харчового продукту до температури проби цього продукту з нормованою за значенням вологістю.

Зазначені переваги обумовлені тим, що методи надлишкових вимірювань інваріантні до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів і забезпечують отримання результатів вимірювання, приведених до входу вимірювального каналу.

Технічна реалізація цифрового вимірювача не є важкою і потребує стандартних функціональних елементів. Програмне забезпечення вимірювача здійснюється у відповідності з описаним методом вимірювання.

### Література

1. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в техноло-гічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.

2. Кондратов В.Т., Яцишен В.М. Метод надлишкових вимірювань вологості зерна та інших сипких продуктів. Патент України № 90924 С2. Бюл. № 11, 2010.

Надійшла до редакції  
17.10.2010 р.

**УДК 621.32**

**О.О. СЕМЕНОВА, А.О. СЕМЕНОВ**

Вінницький національний технічний університет

**В.В. ЧУХОВ**

Житомирський державний технологічний університет

## **КЕРУВАННЯ У АТМ-МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

У роботі запропоновано здійснювати керування трафіком у АТМ-мережах за допомогою інтелектуальних технологій. Для уникнення перевантажень у мережі пропонується використовувати фазі-контролер трафіка. Розроблено структурну схему фазі-контролера трафіка, якій містить дві складові: фазі-контролер перевантаження та фазі-контролер доступу.

In the work it has been proposed to control traffic in ATM-networks using soft-computing. In order to avoid congestion in the network it is proposed to use a fuzzy traffic controller. A lock diagram of the fuzzy traffic controller was developed, having two parts: a fuzzy congestion controller and a fuzzy access controller.

Ключові слова: мережа, інтелектуальні технології, керування, фазі-контролер, трафік, множина термів, функція належності.

### Вступ

Сучасні інтелектуальні технології – фазі-логіка, фазі-контролери, нейронні мережі, нейро-фазі-мережі, вейвлет-мережі, Баєсові класифікатори, генетичні та еволюційні алгоритми – використовуються для розв'язання технічних наукових і прикладних задач, у випадку, коли традиційні методи не можуть дати задовільного результату [1].

Відомі два основні способи впровадження інтелектуальних технологій. Перший полягає у розробленні спеціального програмного забезпечення для персональних комп'ютерів. Другий полягає у розробленні пристроїв, які можуть імітувати роботу людського мозку. Другий спосіб є більш ефективним, хоча і менш поширеним.

Останнім часом до передачі інформації висуваються більш високі вимоги. Одному і тому самому абонентові можуть бути передані різні за характером повідомлення: рухомі зображення, комп'ютерні файли, електронна пошта, інформація із системи дистанційного навчання (у тому числі мультимедійна), фільми по кабельному телебаченню та ін. Причому джерела цієї інформації є, як правило, асинхронними. Інформація від одних джерел може надходити безупинно, від інших – час від часу. Швидкість надходження інформації від різних джерел є різною. Так, мовний потік надходить зі швидкістю 64 кбіт/с, а передача рухомого зображення вимагає швидкості від 1,5 до 100 Мбіт/с [2].

Для узгодження різних вимог була запропонована нова технологія передачі, що одержала назву режиму асинхронної передачі (Asynchronous Transfer Mode – АТМ). Ця технологія допускає запис будь-якого виду інформації у комірці фіксованої довжини.

### Постановка задачі

Підвищити якість функціонування АТМ-мережі можна за рахунок використання інтелектуальних технологій – фазі-контролерів, нейронних мереж та генетичних алгоритмів.

За допомогою фазі-контролера трафіка можливо одночасно контролювати середню швидкість