

УДК 536.6; 006.91:004

# МОЖЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ТЕПЛА

Ю. В. Яцук

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: jurgen.jazuk@gmail.com

П. В. Бугайцова

Аспірант\*

E-mail: bugajtsova@ukr.net

В. О. Яцук

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: vyatsuk@polynet.lviv.ua

\*Кафедра «Метрологія, стандартизація,  
сертифікація»Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 790713

*Зроблено аналіз методів і засобів індивідуального обліку спожитої енергії та їх метрологічного забезпечення. Вдосконалені структури засобів вимірювання температури метричних систем індивідуального обліку тепла. Показано можливість підвищення точності розробленого термометра у всьому необхідному температурному діапазоні. Запропоновано методика автоматизованого калібрування та метрологічної перевірки термометрів з використанням зразкового переносного прецизійного термометра*

*Ключові слова: прецизійний цифровий термометр, автоматизація, калібрування, метрологічна перевірка на місці експлуатації*

*Сделан анализ методов и средств индивидуального учета потребленной энергии и их метрологического обеспечения. Усовершенствованы структуры средств измерения температуры метрических систем индивидуального учета тепла. Показана возможность повышения точности разработанного термометра во всем необходимом температурном диапазоне. Предложена методика автоматизированной калибровки и метрологической проверки термометров с использованием образцового переносного прецизионного термометра*

*Ключевые слова: прецизионный цифровой термометр, автоматизация, калибровка, метрологическая проверка на месте эксплуатации*

## 1. Вступ

Обмеженість ресурсів та постійне зростання вартості енергоносіїв у світі призводить до нагальної необхідності підвищення точності їх обліку [1 – 3]. Серед усіх видів енергоносіїв індивідуальний облік теплової енергії через її фізичну властивість ( розтікання по всьому простору) є найскладнішим у практичній реалізації [4 – 6].

Завдання індивідуального обліку спожитого тепла суттєво ускладнюється через багатувідний принцип його підведення в багатоквартирних будівлях. Під час індивідуального обліку спожитої теплової енергії необхідно визначити не тільки її кількість, але й під час підрахунку вартості послуги з теплопостачання обов'язково враховувати її якість [3]. Тому актуальним є питанням пошуку можливостей вдосконалення систем індивідуального обліку спожитого тепла та їх метрологічного забезпечення.

## 2. Сучасний стан проблеми

Метрологічне забезпечення завдяки встановленню та застосуванню науково-організаційних умов, технічних засобів, правил і норм сприяє досягненню єдності та необхідної точності вимірювань [7].

Основною тенденцією розвитку метрологічного забезпечення є процесний підхід, який полягає в постійному контролюванні протікання вимірювальних процесів, виявленні та оперативному коригуванні невідповідностей [8].

Бурхливий розвиток мікроелектронних та інформаційних технологій призвів до появи розсоереджених «віртуальних» вимірювальних систем, метрологічна перевірка (МП) яких практично не може здійснюватись за класичною методикою з демонтажем, транспортуванням, перевіркою та поновним монтажем на місці експлуатації [7].

Відомо, що в багатоквартирних будівлях з багатоувідним теплопостачанням для індивідуального обліку спожитого тепла без врізування в існуючу тепломережу доцільно використовувати радіальні системи на основі інтелектуальних сенсорів температури [9] або ж матричні системи [10]. Недоліки традиційних провідникових підходів до побудови вимірювально-комунікаційних систем на сьогодні практично можуть бути усунені завдяки бурхливому використанню бездротових локальних систем, наприклад, за стандартом IEEE802 [11]. Застосування таких відносно недорогих засобів комунікації в пристроях обліку спожитого тепла з урахуванням його кількості та якості створить базис для побудови вимірювально-обчислювальних систем, які на сьогодні бурхливо

розвиваються та отримали назву кібер-фізичних систем [12 – 15].

### 3. Постановка завдання

Важливим завданням сучасних розпорошених вимірювально-обчислювальних систем індивідуального обліку спожитої теплової енергії є автоматизація процесів як вимірювального експерименту, так і метрологічного забезпечення.

### 4. Перспективи вдосконалення метрологічного забезпечення систем індивідуального обліку спожитої теплової енергії

Доцільність використання систем індивідуального обліку спожитої теплової енергії (СІОТ) визначається не тільки можливістю їх практичної реалізації, а й зручністю та вартістю їх періодичного обслуговування. Економічна привабливість широкого впровадження матричних СІОТ в багатоквартирних будівлях з колективним багатим тепlopостачанням полягає в принципіальній можливості оцінювання спожитої теплової енергії в окремих помешканнях без вривування в існуючу тепломережу.

При цьому можна й розподілити вартість спожитої теплової енергії в місцях спільного використання (тамбурах, коридорах, вестибюлях тощо) за окремими помешканнями за умови наявності колективного тепло лічильника, за показами якого здійснюються комерційні розрахунки з теплопостачальною організацією. В кінцевому результаті впровадження таких СІОТ об'єктивно сприятиме всебічній економії спожитої теплової енергії кожним із індивідуальних споживачів через наявність кількісних економічних стимулів [10]. Однак, провідна реалізація матричних СІОТ на основі традиційних провідникових комунікацій призводить до значних капітальних затратах на їх прокладання як у межах помешкання, так і між помешканнями на одному поверсі, а також між поверхами та місцями спільного використання. Сучасні мікроелектронна елементна база та інформаційні технології дають можливість відносно недорогої практичної реалізації безпровідних СІОТ у межах як окремих будівель, так і локальних систем обліку спожитого тепла [16, 17]. Слід зазначити, що для реалізації безпровідної матричної СІОТ із врахуванням якості послуги з теплопостачання необхідно використовувати прецизійні засоби вимірювання температури, оскільки, при цьому, вони використовуватимуться як комерційні вимірювальні засоби, за показами яких змінюватимуться й тарифи під час підрахунку вартості за отримувану споживачем послугу з теплопостачання [2]. Такі прецизійні засоби вимірювання температури з межею допустимих значень похибки не більшим від  $\pm 0,08^\circ\text{C}$  можуть бути реалізовані на основі високоомних плівкових платинових термоперетворювачів опору (ТО) та сучасних АЦП [17]. Найпростішим шляхом

досягнення такої високої точності вимірювання температури є врахування поправок в будь-якій ланці вимірювального кола термометра. Зручним у практичному використанні є спосіб з використанням прецизійного цифрового термостата (вітчизняного типу ТСР-0105 НО [18], або аналогічних закордонних типу 9100S/9102S фірми Fluke [19], 3600 фірми Indiamart [20]), за показами якого підстроюватимуться покази налагоджуваного термометра. Особливо зручним при цьому є уведення поправок в цифровій частині термометра з допомогою двох кнопок, натисканням яких може збільшуватись або зменшуватись вміст лічильника результату.

Під час калібрування важливим є питання виду підстроювання адитивного, адитивно-мультиплікативного чи ще складнішого. Зважаючи на вузький діапазон термометра для вимірювання температури в приміщенні від  $+(20...10)^\circ\text{C}$  можна сподіватись на необхідність калібрування термометра лише за температури  $\Theta_0 = +20^\circ\text{C}$ . Детальніший аналіз метрологічних властивостей відомих засобів для моніторингу та реєстрації послуг з теплопостачання із врахуванням їх якості [17] показує, що домінуючою складовою в них є адитивна складова похибка (АСП)  $\Delta_{ax}$ , граничне значення якої подамо виразом

$$\Delta_{ax} = k_{ADH} k_H \Gamma_{13H} \left[ \frac{R_{0H}}{R_{N21H}} \delta_0 + \frac{R_{N2H}}{R_{N21H}} \delta_{N2} + \frac{R_{N1H}}{R_{N21H}} \cdot \frac{R_{3H}}{R_{1H}} (\delta_{N1} + \delta_3 + \delta_1) + \frac{e_x}{U_G} \cdot \frac{R \sum 1}{R_{N21H}} \right], \quad (1)$$

де нижній індекс “н” позначено номінальні значення відповідних величин,

$k_{AD}, k$  - коефіцієнт перетворення АЦП та масштабувального підсилювача АЦП відповідно;

$$\Gamma_{13} = \frac{R_1}{(R_1 + R_3)};$$

$R_1, R_3$  – опори подільника для формування початкової вхідної напруги для АЦП;  $R_{N4}, R_{N2} = R_{N21} + R_{N22}$  - опору струмозадавальних резисторів;  $R_0$  - початковий опір ТО;  $R_{\Sigma 1} = R_0 + R_{N1} + R_{N2}$ ;  $U_G, e_x = e_a + I_a R_0$  - відповідно напруга живлення та еквівалентна вхідна напруга зміщення АЦП;  $5_0, 0$  - напруга зміщення та вхідний струм АЦП;  $R_{N21}$  - опір резистора для формування опорної для АЦП напруги;  $\delta_0, \delta_{N2}, \delta_{N4}, 1_3, 1_1$  - відносні похибки відповідно опорів  $R_0, TO, R_{N2}, R_{N4}, R_3, R_1$ .

Результати розрахунків показують, що зміна значення похибки  $\Delta_{ax}$  після калібрування термометра може становити прийнятні для практики декілька десятків кельвіна під час зміни температури від  $+20^\circ\text{C}$  до  $+10^\circ\text{C}$  лише з використанням дуже стабільної (температурні коефіцієнти опору не більш від  $\pm 5 \cdot 10^{-5} 1/\text{K}$ ) та відповідно дорогої елементної бази. Причиною цього є формування початкового опорного АЦП на основі високоомних подільників. З метою послаблення вимог до стабільності резистивної елементної бази можна рекомендувати збільшувати кількість чутливих елементів ТО, але це призводитиме до суттєвого зростання вартості СІОТ.

Суттєво зменшити вимоги до стабільності та вартості елементної бази СІОТ можна з використанням гальванічно розділеного від живлення АЦП блоку формування вимірювального струму [21]. Однак це призведе до певного ускладнення структури СІОТ та необхідності застосування прецизійних опера-

ційних підсилювачів. Детальний аналіз шляхів побудови точних стабільних недорогих СІОТ показав можливість їх реалізації з використанням інтегральних АЦП, в яких є два генератори вимірювальних струмів, температурний коефіцієнт відношення яких може не перевищувати лише декілька десятих часток на мільйон [22].

В структурі такого засобу для вимірювання температури в приміщенні рис. 1.

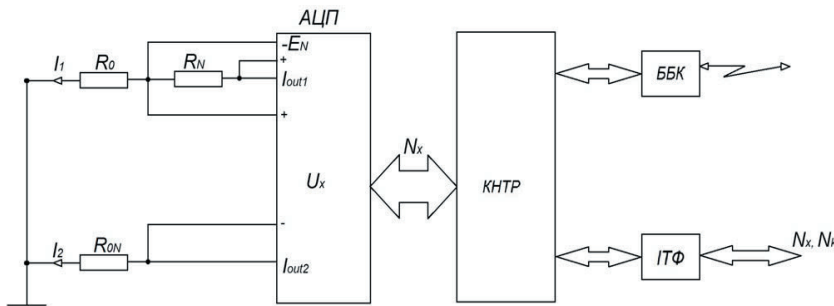


Рис. 1. Структурна схема автоматичного прецизійного засобу для вимірювання температури в опалювальному приміщенні

До виходу першого генератора вимірювального струму  $I_1 (I_{out1})$  відносно аналогової шини підключено послідовно сполучені ТО  $R_0 I_0$  опорний резистор  $R_N$ , на якому формується опорна для АЦП напруга  $E_N = I_1 R_N \cdot R_0$  до виходу другою генератора вимірювального струму  $I_2 (I_{out2})$  під'єднано зразковий резистор  $R_{ON}$ , на якому формується початкова напруга  $U_{ON} = I_2 R_{ON}$ .

Спадки напруг на ТО  $U_0 = I_1 R_0$  та  $U_{ON}$  подаються до диференціальних входів АЦП та перетворюються в код  $N_x$ . Режимми роботи АЦП, блоку бездротових комунікацій (ББК) та інтерфейса (ІТФ) керує контролер КНТР. Код результату вимірювання  $N_x$  можна подати як

$$N_x = k_{AD} k \frac{I_1(R_0 + R_L) - I_2 R_{ON} + e_x}{I_1 R_N + e_N} = k_{AD} k \frac{R_0 V_0}{R_N} \left(1 - \frac{e_N}{I_1 R_N}\right) + k_{AD} k \frac{R_0 - R_{ON} I_2 / I_1 + R_L + e_x / I_1}{R_N}, \quad (2)$$

де  $I_1, I_2$  - значення вимірювальних струмів першого та другого генератора струмів;

$R_0, R_0, V_0 = W_0 - 1$  - відповідно опір, початковий опір та відносна температурна зміна опору ТО;

$R_{ON}, R_N$  - опори зразкових резисторів;

$k_{AD}, k$  - коефіцієнти перетворення АЦП та масштабувального підсилювача АЦП;

$e_x = e_{ax} + I_{INx}^+ R_0 - I_{INx}^- R_{ON}$ ,  $e_N = e_{aN} + I_{INN} R_N$  - еквівалентні напруги зміщення АЦП входів відповідно вимірювальної та опорної напруг;

$e_{ax}, e_{aN}, I_{INx}^+, I_{INx}^-, I_{INN}$  - напруги зміщення та вхідні струми обох входів АЦП;

$R_L$  - опір з'єднувальних провідників.

Вираз для граничної похибки коду вимірювання температури  $\Delta N_x$  із врахуванням очевидного спів-

відношення  $R_{ON} - R_{ONH} \frac{I_{2H}}{I_{1H}} = 0$  знайдемо як (нижнім індексом "н" подано номінальні значення величин)

$$\Delta N_x = N_{xH} \left( \delta_{AD} + \delta_k + \delta_N + \delta_0 + \delta_v + \frac{e_N}{I_1} \right) + \frac{R_{ONH} \delta_0 + R_{ONH} \frac{I_{1H}}{I_{2H}} (\delta_{ON} + \delta_2 + \delta_1) + R_L + \frac{e_x}{I_{1H}}}{R_{NH}}, \quad (3)$$

де  $\delta_{AD}, \delta_k, \delta_2, \delta_1, \delta_N, \delta_{ON}, \delta_v$  - відносні похибки, відповідно коефіцієнтів перетворення АЦП та вбудованого масштабувального підсилювача, значень струмів  $I_2$  та  $I_1$ , зразкових резисторів  $R_N$  та  $R_{ON}$  та відносної температурної зміни  $V_0 = A\theta + B\theta^2$  опору ТО.

Розрахунки показують, що для АЦП типу AD7709, значень параметрів структури:

$$k_H = 128; R_{OH} = 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_{ONH} = 10^3 \text{ Ом}; R_{NH} = 5 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_L \leq 1 \text{ Ом};$$

$$e_x \approx e_N \leq \pm 4 \text{ мкВ}; I_{1H} = I_{2H} = 0,2 \text{ мА}; \delta_2 \approx \delta_1 \leq \pm 10^{-3};$$

$\delta_{ON} \approx \delta_N \leq \pm 10^{-3}$  значень АСП та МСП термометра не перевищуватимуть відповідно  $\pm 0,1\text{К}$  та  $\pm 0,5\text{К}$ .

Зміни значень цих похибок під час зміни температури в опалюваному приміщенні від  $+20^\circ\text{C}$  до  $+10^\circ\text{C}$  та відносно великих значеннях температурних коефіцієнтів опорів  $R_{ON}$  та  $R_N$   $\epsilon_R \leq \pm 10^{-4} 1/\text{K}$ , відношень струмів  $I_1$  та  $I_2$   $\epsilon_I \leq \pm 2 \cdot 10^{-5} 1/\text{K}$ , та для мікросхем типу AD7709 відповідно не перевищуватимуть  $\pm 0,05\text{К}$  та  $\pm 0,04\text{К}$ .

### 5. Автоматизація калібрування засобів для індивідуального обліку теплової енергії

Розпоширеність та масовість засобів для індивідуального обліку теплової енергії узагалі ставить під сумнів доцільність традиційних підходів до калібрування та метрологічної перевірки засобів вимірювань.

Окрім великих трудомісткості, організаційних та фінансових затрат, пов'язаних з демонтажем та транспортуванням таких засобів до перевірювальних лабораторій, принципіальним моментом під час цієї процедури є неможливість коректної перевірки усього передавально-комунікаційного тракту системи для індивідуального обліку спожитої теплової енергії.

З огляду на сказане, завдання автоматизації калібрування та метрологічної перевірки СІОТ розподіляється на два окремих завдання – автоматизації метрологічних процедур під час калібрування та МП засобів СІОТ і перевірки засобів комунікаційних каналів для передавання вимірювальної інформації.

Для автоматизації процесів калібрування та МП засобів СІОТ можна використовувати переносні прецизійні цифрові термостати, наприклад, типу T150 [23], для здійснення необхідних метрологічних про-

цедур безпосередньо на місці експлуатації засобів СІОТ.

Однак окрім значної вартості переносних термостатів суттєвим недоліком при цьому є достатньо великий час здійснення процедур калібрування та МП засобів СІОТ, пов'язаний з тривалим часом виходу на режим прецизійних цифрових термостатів. Зменшення часу проведення метрологічних процедур можна досягнути шляхом використання зразкового цифрового термометра з межею допустимих значень похибки не більшим від декількох сотих часток кельвіна. Такий прецизійний термометр може бути побудований на основі запропонованої структури з адитивним та мультиплікативним підстроюванням його індивідуальної статичної функції перетворення за методикою поданою в [21].

Аналогове адитивне підстроювання може здійснюватися шляхом зміни опору змінного резистора, увімкненого послідовно з резистором  $R_{ON}$ , а мультиплікативне - шляхом зміни опору змінного резистора, увімкненого послідовно з резистором  $R_N$ . Для врахування індивідуальної статичної характеристики зразкового термометра доцільно використовувати прецизійні цифрові термотати, при цьому під час адитивного підстроювання досягають рівності показів обох засобів при температурі в околі  $+20^{\circ}\text{C}$  та під час мультиплікативного підстроювання - в околі  $+10^{\circ}\text{C}$ .

З метою автоматизації процедури калібрування та МП засобів СІОТ доцільно проводити в період часу, коли температура в опалювальному приміщенні є в діапазоні  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , використовуючи малогабаритний пасивний термостат, в якому розміщують сенсори перевірю вального та зразкового термометрів для уникнення можливих градієнтів температури в приміщенні. Вихідний інтерфейсний роз'єм зразкового термометра при цьому слід під'єднати до відповідного роз'єму перевірю вального термометра, через відому функцію "plug and play" перевірю вальний пристрій перейде в режим калібрування. При цьому в контролері перевірю вального термометра розраховуватиметься різниця кодів  $\Delta N_x = N_x - N_k$ , де  $N_x, N_k$  - відповідно, покази перевірю вального та зразкового термометрів.

Ця різниця кодів у вигляді поправки  $НП = -\Delta N_x$  зберігатиметься в енергонезалежній пам'яті перевірю вального термометра та з її допомогою автоматично формуватиметься скоригований код  $N_{xk} = N_x + НП$  результату вимірювання.

Після автоматизованого коригування код результату вимірювання, автоматично передаватиметься на системний контролер вищої ієрархії з ознакою повідомлення про метрологічну перевірку термометра з даним системним номером встановленого у певному місці.

Системний контролер після зчитування та запам'ятовування калібрувального коду передає його назад до термометра з даним активним номером. Після прийняття коду системного контролера перевірюваним термометром здійснюється їх порівняння  $\Delta N_{zk} = N_{zk} - N_{xkk} \leq \pm 1$ .

Якщо ця умова задовольняється, то використовувані засоби та лінії зв'язку визнаються метрологічно придатними до подальшого використання. В іншому разі необхідно проводити ремонтні роботи.

Очевидно, що з метою збільшення метрологічної надійності усі операції з передаванням та сприйняттям кодів доцільно проводити багатократно.

## 6. Висновки

На підставі зробленого аналізу існуючих методів і засобів доведена ефективність використання матричної системи з бездротовими комунікаціями для індивідуального обліку спожитої теплової енергії в будівлях з багатоувідним теплостачанням та наявністю колективного тепло лічильника.

Із врахуванням сучасного рівня розвитку мікроелектронних та інформаційних технологій вдосконалено структуру прецизійних термометрів для реалізації матричних бездротових систем індивідуального обліку спожитої теплової енергії.

Теоретично показано, що за результатами калібрування лише в одній точці прецизійні термометри можна використовувати в усьому вимірювальному температурному діапазоні.

Запропоновано технологію розроблення відносно недорогого прецизійного термометра для автоматизації процедур калібрування та метрологічної перевірки засобів систем індивідуального обліку спожитої теплової енергії.

Розроблено методики автоматизованої метрологічної перевірки як засобів вимірювання температури на місці експлуатації, так і засобів та ліній зв'язку передавання даних в розпоршених системах індивідуального обліку спожитої теплової енергії.

## Література

1. Бакалін, Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент [Текст]: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Ю. І. Бакалін. – 3-те вид., доп. та перероб. – Х.: Бурун і К, 2006. – 319 с.
2. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення та типового договору про надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення" від 21 липня 2005 р. – №630.
3. Житлово-комунальне господарство України проблеми моніторингу стану реформування і розвитку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL:http://archive.nbu.gov.ua/portal/soc\_gum/Dums/2012\_3/12kmsrr.pdf.
4. Лозбін, В. І. Теплотехнічні аспекти обліку витрат теплової енергії індивідуальними споживачами [Текст] / В. І. Лозбін, П. Г. Столярчук, В. М. Засименко, В. О. Яцук, Т. О. Плавинська // Вісник ДУ «Львівська політехніка» . – Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – № 365. – 1999. – С. 88-91.

5. Lukaszewicz, P. Ogrzewanie, nawilżanie, jonizacja powietrza i rozliczanie kosztów ciepła (Опалювання, зволоження, іонізація повітря і визначення вартості опалення) [Text] / P. Lukaszewicz // Materiały konferencyjne „Problemy jakościowe, energetyczne i eksploatacyjne w maszynach cieplnych”, 19-20 września 2002, Bydgoszcz, Polska. – S. 179-189.
6. Directive 2004/22/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on measuring instruments (Директива 2004/22/EC Європейського парламенту і комісії від 31 березня 2004 р. про вимірювальні прилади). – Official Journal of the European Union, L 135/1. 31.04.2004.
7. Каталог фірми Analog Device [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL: www.analog.com.
8. ДСТУ ISO 10012:2005. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання [Текст]. – Введ. 2006-01-01. – К.: Держстандарт, 2006. – 39 с.
9. Дубовой, В. М. ИВС теплоснабження житлових будинків [Текст] / В. М. Дубовой, В. В. Кабачій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – №2. – 1998. – С. 160-163.
10. Столярчук, П. Проблеми обліку теплової енергії індивідуальними споживачами [Текст] / П. Столярчук, В. Яцук, В. Лозбін, Б. Голука // Стандартизація, сертифікація, якість. – №1. – 2006. – С. 43-50.
11. Tanenbaum, A. S. Computer Networks [Electronic resource] / A. S. Tanenbaum. – 5th edition. – Prentice Hall, 2010. – 960 p. – ISBN-10:0132126958. – Available at: www.amazon.com/Computer-Network-5th-Anolrew-Tomenbaum/dp/0132126958.
12. White, J. R&D challenger and solution for mobile cyber-physical application and supporting internet services [Text] / J. White and others // Journal of internet services and applications. – Vol. 1. – May 2010. – P. 45-56.
13. Jiafu Wan. Advances in Cyber-Physical Systems Reseach [Text] / Jiafu Wan, Nehua Yan, Hui Suo, Fang Li // KS11 Trans internet and Information Systems. – Vol.5. – №.11. – November 2011. – P. 1891-1908.
14. Мельник, В. А. Персональні суперкомп'ютери: архітектура, проектування, застосування [Текст]: монографія / В. А. Мельник, А. О. Мельник. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. – 2013. – 516 с.
15. Fradkov, A. L. Cybernetical Physics From Control of Chaos to Quantum Control [Text] / A. L. Fradkov. – Springer-Verlay, 2007. – 241 p.
16. Каталог ELFA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL: http://www.elfaelektronika.com.
17. Яцук, В. Засоби підвищення якості надання послуг із теплоснабження [Текст] : зб. тез доповідей / В. Яцук, П. Бугайцова, Ю. Яцук. / Міжнар. Науково-практична конф. «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22-24 травня 2013 р. – Львів, Вид-во Львівської політехніки, 2013. – С. 262-263.
18. Дяк, Р. П. Повірка термометруювачів опору з використанням прецизійного термометра ТСР-0105НО [Текст]: матеріали VI МНТК / Р. П. Дяк, М. В. Телех // Теплодооблік-2008. – Київ: “Укрметртестстандарт”. – 2008. – С. 216-220.
19. Fluke-Hart Scientific Model 9100S/9102S Dry-Well Temperature Calibrators (Калібратори температури моделей 9100S/9102S) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL: www.instrumat.com/products/21210/fluke-hart-scientific-model9100s9102s-dry-well-temperature-calibrators.
20. 3600 Digital Temperature Calibrator (Цифровий калібратор температури типу 3600) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL: www.indiamart.com/askib-engineers/calibrators.html.
21. Яцук, В. Методи підвищення точності вимірювання [Текст] / В. Яцук, П. Малачівський. – Львів: «Бескид Біт», 2008. – 358 с.
22. Delfa sigma ADC AD7709 [Electronic resource]. – Available at: \www/ URL: http://www.analog.com/static/imported-files/data\_sheets/AD7709.pdf
23. T150 High Precision Temperature Field Calibrator (Високоточний переносний калібратор температури) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL:www.palmerwahl.com/product\_home.php?itm=5961.