ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 23, 2009

УДК 621.317

МОЖЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИК МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ

Р.П. Дяк[1)], В.О. Яцук[2)]

1) Комунальне підприємство «Залізничнетеплоенерго», вул. Вокзальна, 10, м. Львів, тел.(032) 262-00-33

2) Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів 79013, тел. (097)934-66-66

Пропонуються шляхи вдосконалення процесу метрологічної перевірки різних типів теплових лічильників. Проаналізовано переваги та недоліки існуючих методик випробувань теплових лічильників та можливості об`єднання існуючої елементної бази метрологічної перевірки в єдину універсальну структуру.
Ключові слова: метрологічна перевірка, тепловий лічильник, автоматизація, тепловий обчислювач, робоче місце, структурна схема, проливна установка.

Предлагаются пути совершенствования процесса метрологической проверки разных типов теплосчетчиков. Проанализированы преимущества и недостатки существующих методик испытаний теплосчетчиков и возможности объединения существующей элементной базы метрологической проверки в единственную универсальную структуру.
Ключевые слова: метрологическая проверка, тепловой счетчик, автоматизация, тепловой вычислитель, рабочее место, структурная схема, проливная установка.

The ways of perfection of process of metrology verification of different types of warmmeters are offered. There are analysed the advantages and lacks of existent methods of warmmeters tests and possibility of association of existent element base of metrology verification in the unique universal structure.
Keywords: metrology verification, thermal meter, automation, thermal calculator, workplace, flow diagram, driving setting.

Здорожчання енергоресурсів диктує нові вимоги до використання засобів їх комерційного обліку, особливо теплової енергії, оскільки традиційно в Україні вона в більшості випадків ще виробляється централізовано. Колективні будинкові теплових лічильники (ТЛ) є першим кроком до усебічної економії теплової енергії в житлово-комунальному господарстві. Кількість встановлених в будинках ТЛ невпинно зростає, а, відтак, невпинно зростає їх кількість, які потребують чергової та позачергової метрологічних перевірок (МП), що, у свою чергу, призводить до значної інтенсифікації процесів МП [1]. Аналіз стану метрологічного забезпечення обліку теплової енергії у м. Львові показав, що оскільки рівень оснащення у місті об`єктів її споживання з використанням перевищує 72%, а термін їх експлуатації є одним з найбільших в Україні, то буде дуже корисним узагальнити цей досвід та зробити певні висновки як про характеристики ТЛ, так і засоби їх МП (рис. 1) [1]. Різноманітність парку встановлених ТЛ, що включає тільки у Львівській області 26 типів засобів вимірювання загальною кількістю понад 3500 ТЛ, вимагає різних процедур проведення МП, що ускладнює її проведення та практично унеможливлює побудову автоматизованої диспетчерської системи моніторингу міської теплопостачальної мережі. На кожен із типів ТЛ розроблені та затверджені в установленому порядку методики МП [2−22]. Водночас зростає й актуальність питання своєчасного та об`єктивного проведення МП у відведений існуючими нормативами час такої кількості типів та кількості одиниць ТЛ, тобто суттєвого підвищення продуктивності метрологічної перевірки ТЛ.

Для проведення МП усіх існуючих типів ТЛ необхідно використовувати 24 одиниці різнотипного метрологічного обладнання, яке включає в себе такі основні його різновиди: проливна установка з межею допустимих значень похибки від 0,33 до 1,25 %; платиновий термоперетворювач опору (ТО) 2-го розряду з діапазоном вимірювання 0-630 ˚С; прецизійний

магазин опору Р4831 кл. т. 0,02; повірочна установка типу УТТ-6; генератор імпульсів кл. т. 0,02; лічильник імпульсів-частотомір; гідравлічний стенд; водяний, нульовий та паровий термостати; взірцеві скляні ртутні термометри; омметр та вольтметр [2–22]. В сучасних умовах інформатизації суспільства для вирішення завдання суттєвого підвищення продуктивності метрологічної перевірки ТЛ практично немає альтернативи використанню автоматизації процесів її здійснення. Однак більша частина із зазначеного вище обладнання не може бути включена в систему автоматичної метрологічної перевірки через фізичну та моральну застарілість і відсутність вбудованих можливостей програмно-керованої роботи. Тому значну увагу слід приділити модернізації та вдосконаленню метрологічного обладнання для автоматизованої МП ТЛ. Крім цього, слід так вдосконалити існуючі методики МП, щоб вони легко піддавалися б алгоритмам автоматизації метрологічної перевірки ТЛ, слід розробити оптимальні в координатах точність-вартість системи автоматизованої МП ТЛ.

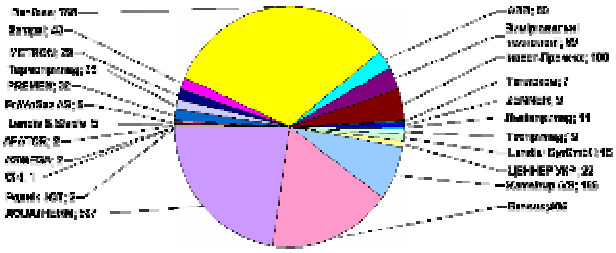


Рисунок 1 – Структура типів будинкових теплолічильників у м. Львові

Метою даної статті є розроблення уніфікованого методу та методики автоматизації процесів МП ТЛ у вимірювальній лабораторії (ВЛ) на базі існуючих методів автоматизації.

Проведений аналіз існуючих методик метрологічної повірки (МП) показав, що їх можна чітко розподілити за принципами проведення вимірювань на дві групи: методики поелементної та комплектної МП. Для виявлення особливостей їх практичного застосування детальніше проаналізуємо їх проведення.

Методика поелементної метрологічної повірки полягає на окремому визначенні метрологічних характеристик витратоміра, термоперетворювачів опору при вимірюванні температур та різниці температур та теплообчислювача під час обчислення об'єму і маси теплоносія та кількості теплоти. Методика комплектної метрологічної перевірки базується на використанні проливної установки та комплекту термостатів для імітації температури подавального та зворотного трубопроводів.

Визначення метрологічних характеристик первинних перетворювачів витрати (ППВ) окремо або разом із обчислювачем при вимірюванні об'єму (маси) теплоносія відбувається з допомогою взірцевої проливної установки (ПУ) [23] (рис. 2). Похибка визначається шляхом порівняння різниці між кінцевим V_k та початковим V_n значенням об'єму за повірюваним лічильником з робочим еталоном об'єму V_e, виміряним установкою [23]:

$$\delta_V = \left((V_k - V_n) - V_e\right)/V_e , \qquad (1)$$

де V_k, V_n, V_e – покази об'єму рідини кінцевого та початкового повірюваного ТЛ та еталонної ПУ, відповідно.



Рисунок 2 - Структурна схема робочого місця з випробування ППВ

Методику зменшення методичної похибки дискретності відліку об'ємів V_k та V_n, які задаються в мірному баці, запропоновано і описано в [23].

Найпростіша процедура визначення метрологічних характеристик термоперетворювачів опору (ТО) при вимірюванні температур полягає у вимірюванні електричного опору R_{ti} термоперетворювачів при певних значеннях температури 0 ^{0}C R_0 та 100 ^{0}C R_{100} і порівнянні значення опору при 0 ^{0}C R_0 та розрахованого значення відношення $W_{100}=R_{100}/R_0$ із допустимих значень (рис. 3). Якщо значення відношення W_{100} та опору при R_0 знаходяться у межах допустимих значень, то з таблиць номінальних статичних характеристик перетворення ТО можна знайти поточні значення виміряного опору ТО R_{ti} за температури t_i так:

$$R_{ti}=W_{ti}\,R_0, \qquad (2)$$

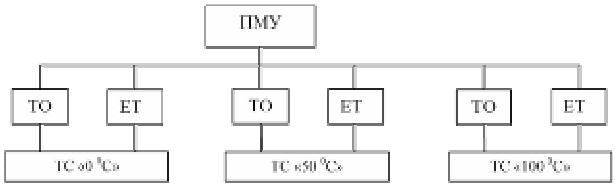
де R_{ti} – опір ТО за температури t_i , W_{ti} – значення відношення опорів ТО за температури t_i до опору R_0.

Значення різниць температур $\Delta t_i = t_i - t_e$ знаходять за відхиленнями опорів ΔR_{ti} з рівняння

$$\Delta R_{ti} = R_{ti} - R_e = \Delta t_i (dR_{ti}/dt_i) , \qquad (3)$$

де dR_{ti}/dt_i – чутливість ТО, розрахована для значення температури t_i; R_e – опір еталонного

ТО за температури t_e.



ПМУ – потенціометрична установка; ТО – термоперетворювачі опору, що випробовуються; ЕТ – еталонні термометри; ТС – термостати

Рисунок 3 – Структурна схема робочого місця для випробування термоперетворювачів опору

Слід відмітити, що у випадку застосування прецизійних термостатів типу ТСР–0105 немає необхідності у використанні еталонних термометрів [24, 25]. Усі точки температурного діапазону відтворюються послідовно у одному термостаті.

Однак при цьому не контролюється похибка від нелінійності платинових ТО, які використовуються в ТЛ. Дійсно, значення опору ТО можна подати через експериментально визначене співвідношення W_{100} таким чином:

$$R_t = W_t R_0 = R_0\left(W_{100} + \Delta W_t\right), \qquad (4)$$

де $\Delta W_t = A(t - 100) + B(t^2 - 100^2)$ – температурна залежність відхилення відношення опорів від W_{100}.

Як показує аналіз співвідношення (4), відхилення ΔW_t суттєво залежить від різниці температур t - 100 і в діапазоні вимірювання температур в ТЛ (20–150) ^{0}С це може приводити до суттєвого зростання похибки визначення різниці температур, особливо з урахуванням того факту, що ТО до ТЛ під`єднуються дводротовою лінією зв`язку. Тому на практиці застосовується також метод, який дозволяє знаходити значення різниць температур $\Delta t_i = t_i - t_e$ практично в будь-якій точці діапазону вимірювань за виміряними значеннями температур t_i в термостатах. При цьому визначаються дійсні значення функції перетворення платинових ТО, що апроксимуються відомим співвідношенням Календара. Для цього вимірюються значення опорів ТО для трьох різних значень температур, наприклад, t_1=0 ^{0}С, t_2=50 ^{0}С та t_3=100 ^{0}С та знаходяться дійсні значення R_0 опору ТО та коефіцієнти A та B його апроксимаційної залежності шляхом розв'язку системи з таких трьох рівнянь:

$$\begin{cases} R_{t11} = R_{01}(1 + A_1 t_1 + B_1 t_1^2), \\ R_{t12} = R_{01}(1 + A_1 t_2 + B_1 t_2^2), \\ R_{t13} = R_{01}(1 + A_1 t_3 + B_1 t_3^2), \end{cases} \qquad (5)$$

$$\begin{cases} R_{t21} = R_{02}(1 + A_2 t_1 + B_2 t_1^2), \\ R_{t22} = R_{02}(1 + A_2 t_2 + B_2 t_2^2), \\ R_{t23} = R_{02}(1 + A_2 t_3 + B_2 t_3^2), \end{cases} \qquad (6)$$

де R_{t11}, R_{t12}, R_{t13} і R_{t21}, R_{t22}, R_{t23} – опір ТО1 і ТО2 за температур t_1, t_2, t_3, відповідно

Значення R_{01}, A_1, B_1 та R_{02}, A_2, B_2 розраховуються за формулами: $R_{01}=R_{t11}$, $R_{02}=R_{t21}$,

$$A_1 = \frac{(R_{t12}/R_{t11})\cdot(t_3/t_2) - (R_{t13}/R_{t11})\cdot(t_2/t_3)}{t_2 - t_3}, \qquad (7)$$

$$B_1 = \frac{(R_{t13}/R_{t11} - 1) - (R_{t12}/R_{t11} - 1)\cdot(t_3/t_2)}{t_3(t_3 - t_2)}, \qquad (8)$$

$$A_2 = \frac{(R_{t22}/R_{t11})\cdot(t_3/t_2) - (R_{t23}/R_{t11})\cdot(t_2/t_3)}{t_2 - t_3}, \qquad (9)$$

$$B_2 = \frac{(R_{t23}/R_{t11} - 1) - (R_{t22}/R_{t11} - 1)\cdot(t_3/t_2)}{t_3(t_3 - t_2)}. \qquad (10)$$

За розрахованими значеннями коефіцієнтів A_i та B_i можна визначити відповідні температури, які виміряні кожним з ТО за формулою:

$$t_i = \frac{-A_i + \sqrt{A_i^2 + 4B_i(R_{ti} - R_{0i})}}{2B_i}. \qquad (11)$$

Абсолютну похибку підібраної пари ТО при перетворенні різниці значень температури в подавальному t_{1i} та зворотному t_{2i} трубопроводах Δ_{dt} визначають для кожного тесту за формулою:

$$\Delta_{dt} = (t_{1i} - t_{2i}) - \Delta_{tp}, \qquad (12)$$

де Δ_{tp} – розрахункове значення різниці температур.

Структурна схема робочого місця з випробувань теплового обчислювача (ТПО) під час вимірювання вхідних сигналів об'єму V_k і V_n, температур t_n і $t_{зв}$ та різниці температур Δt, часу T та кількості теплоти $Q_к$ і Q_n складається з таких основних блоків: магазинів опору для імітації опору ТО в подавальному МО-П та зворотному МО-ЗВ трубопроводах, генератора імпульсів для імітації сигналів витратоміра і лічильника імпульсів (рис. 4). Відносну похибку δ_{VTO} теплового обчислювача при перетворенні

вхідних сигналів та обчисленні об'єму теплоносія визначають як

$$\delta_{VTO} = \left(\left(V_k - V_П\right) - \Delta V_P\right)/\Delta V_P , \qquad (13)$$

де V_k, $V_П$ – кінцевий та початковий показ об'єму за тепловим обчислювачем, відповідно; $\Delta V_P = Nc_{V_Л}$ – розрахункове значення об'єму теплоносія ΔV_P; $c_{V_Л}$ – ціна вихідного імпульсу лічильника води в одиницях об`єму; N – число імпульсів, виміряне лічильником імпульсів ЛІ.

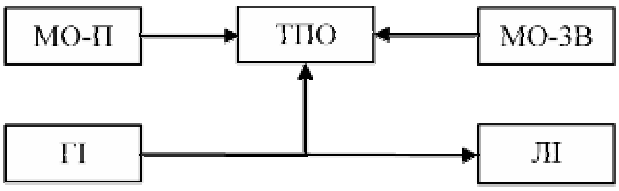


Рисунок 4 - Структурна схема робочого місця з випробувань теплообчислювача під час вимірювання вхідних сигналів об'єму, температур та кількості теплоти

Мінімальну кількість імпульсів N_{lmin}, яку необхідно подати на тепловий обчислювач, визначають за формулою:

$$N_{l\min} = \frac{100c_{VTO}}{0{,}2\delta_{VTOnT}C_{V_Л}}, \qquad (14)$$

де $c_{\text{vто}}$ – ціна найменшого розряду показувального пристрою тепло обчислювача під час індикації об'єму.

Відносну похибку δ_{mTO} теплообчислювача при перетворенні сигналів та обчисленні маси теплоносія обчислюють за співвідношенням:

$$\delta_{mTO} = \left(\left(m_k - m_П\right) - \Delta m_p\right)/\Delta m_p , \qquad (15)$$

де $\Delta m_p = \Delta V_p \rho$ – розрахункове значення маси теплоносія; ρ – густина води за певної температури та тиску.

Значення густини води приймається рівним ρ=0,96581 т/м^3 за температури 90 ^{0}С при встановленні лічильника в подавальному трубопроводі та ρ=0,97838 т/м^3 за температури 70 ^{0}С при встановленні лічильника води в зворотному трубопроводі. Значення ρ визначені для тиску носія в трубопроводі 1,6 МПа.

Відносну похибку $\delta_{Q\text{ТПО}}$ теплового обчислювача при перетворенні вхідних сигналів та обчисленні кількості теплоти розраховують так:

$$\delta_{Q\text{ТПО}} = \left(\left(Q_k - Q_П\right) - \Delta Q_P\right)/\Delta Q_P , \qquad (16)$$

де $Q_к$, $Q_п$ – кінцеве і початкове значення кількості теплоти за тепло обчислювачем, відповідно; $\Delta Q_P = N_l c_{V_Л} \Delta t K_t$ – розрахункове значення кількості теплоти; N_l – число імпульсів, виміряне лічильником імпульсів; Δt – різниця температур подавального та зворотного трубопроводів; K_t – коефіцієнт пропорційності, що встановлюється за довідниковими даними для тиску 1,6 МПа.

Дані, які необхідні для розрахунків, можливо отримувати через існуючі інтерфейси ТПО, як, наприклад, це реалізовано виробниками ТЛ «Danfoss» (Данія), «AQUATHERM» (Польща). Відтворювати сигнали ТО можливо за допомогою кодокерованих імітаторів опору [28].

Визначення метрологічних характеристик теплового лічильника при вимірюванні кількості теплоти, об'єму теплоносія, температури здійснюється на комплексному робочому місці на основі проливної установки та комплекту термостатів (рис. 5). Через ППВ ТЛ від пристрою задання еталонного значення об`єму (ЕТО) та гарячоводної проливної установки ПУ пропускають певний еталонний об`єм V_e теплоносія при певній температурі, значення якого контролюється еталонним лічильником ЕЛ [26]. Сигнал витрати ППВ подається на ТПО ТЛ, а відносну похибку δ_v теплового лічильника під час вимірювання витрати визначають за співвідношенням (1). Термостати ТС-П і ТС-ЗВ відтворюють температури подавального $t_п$ та зворотного $t_{зв}$ трубопроводів, значення яких вимірюються еталонними термометрами ЕТ та ТО-П подавального і ТО-ЗВ зворотного трубопроводів ТЛ.

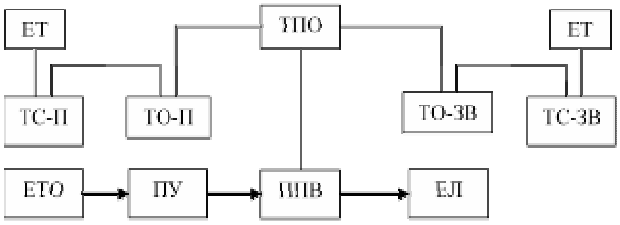


Рисунок 5 - Структурна схема комплексного робочого місця з випробування теплолічильника

Похибку теплового лічильника при вимірюванні теплоти (Q),%, за формулою:

$$\delta_Q = 100\left(\left(Q_K - Q_П\right) - Q_e\right)/Q_e , \qquad (17)$$

де $Q_e = \left(h_1 - h_2\right)\rho V_e$ – розрахункове значення теплової енергії; h_1, h_2 – питома ентальпія теплоносія в подавальному та зворотному

трубопроводі, відповідно.

Питому ентальпію та густину визначають за стандартними довідниковими даними для значень температур, що виміряні еталонними термометрами в термостатах, і для значень тиску, що уведені або встановлені в теплового обчислювачі [27].

Значення абсолютної похибки теплового лічильника Δ_t при вимірюванні температури визначається шляхом порівняння його показів з показами еталонних термометрів у термостатах $\Delta_t = t_B - t_e$, де t_B – значення температури за теплового лічильником, що повіряється; t_e – значення температури за еталонним термометром.

Існуюче обладнання, яке використо-вується для здійснення метрологічної повірки, не дає можливості автоматизації процесу тому, що:

– не оснащено інтерфейсами обміну даних, що не дозволяє використовувати виміряні величини у вигляді електронних даних;

– не існує штатних затверджених в установленому порядку програм опрацювання отримуваної інформації;

– відсутня система формування, зберігання та використання метрологічних баз даних, що не відповідає сучасним умовам контролю за використанням енергоносіїв;

– під час проведення операції метрологічної перевірки існує ймовірність внесення у результати, наприклад, розрахунки суб`єктивних похибок оператора;

– необхідна постійна присутність персоналу;

– проведення одночасної метрологічної перевірки декількох приладів є неможливим.

Аналіз показав, що для вирішення вказаних завдань та з метою автоматизації процесу метрологічної перевірки доцільно:

– застосовувати сучасне метрологічне обладнання, яке можна інформаційно пов'язувати в єдину мережу вимірювальної лабораторії;

– розробити та використовувати програми опрацювання отриманих метрологічних даних про результати метрологічної перевірки;

– використовувати стандартні інтерфейси для обміну даними з теплолічильником;

– формувати метрологічні бази даних про результати усіх перевірок теплолічильників.

ВИСНОВКИ

Для метрологічної перевірки ТЛ доцільніше використовувати комплектний метод завдяки його простоті та можливості автоматизації процесу. Однак з використанням цього методу складніше порівняно з методом поелементної повірки діагностувати причини виникнення метрологічних відмов ТЛ. Через обмеження методичного характеру за допомогою цього методу можна метрологічно перевіряти ТЛ з умовним діаметром проходу не більшим 50 мм.

Метод поелементної метрологічної перевірки суттєво складніший в технічній реалізації (необхідно три окремих робочих місця), однак на його базі значно простіше локалізувати блок ТЛ, в якому виникла метрологічна відмова.

Для автоматизації процесів метрологічної перевірки у першу чергу слід розробити кодо-керовані міри опору з метрологічними характеристиками, які є не гіршими від характеристик магазинів опору з ручним перемиканням встановлюваних значень опорів.

1. Дяк Р.П. Практико-економічні підстави для впровадження автоматизації метрологічних випробувань теплолічильників / Р.П. Дяк // Український метрологічний журнал. – 2009. - №3. — С. 31−35. 2. Теплолічильники. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 3339:1996. – К.: Держстандарт України, 1998. 3. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення: ДСТУ 2708:1999. – К. : Держстандарт України, 2000. 4. Теплолічильники. Частина 1. Загальні вимоги: ДСТУ EN 1434-1:2006. 5. Теплолічильники. Частина 5. Первинна повірка: ДСТУ EN 1434-5:2006. 6. Теплолічильники складені. Методика повірки: МПУ 041/06: 2002. − К.: Держстандарт України, 2002. 7. Теплолічильники. Методика повірки : Р 081/24.59-99: 1999. 8. Счетчики холодной воды. Методы и средства поверки: ГОСТ 8.156-83. 9. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань: ДСТУ 2858: 1994. - К.: Держстандарт України, 2000. 10. Термопреобразователи сопротивления. Методы и средства поверки : ГОСТ 8.461-82. 11. Тепловодосчетчики СВТУ -10. Методика поверки: ШИМН.407251.005И1: 2006. 12. Теплолічильники ультразвукові POLLUSTAT E. Методика повірки: МП 081/24.291:20 04. – К.: Укрметртестстандарт, 2004. 13. Теплолічильники CALMEX N. Методика повірки: Р 081/24.178:2004. 14. Счетчики тепловой энергии CALMEX КОМРАКТ. Методика поверки: МП 081/24.199:2002. – К: Укрметртестстандарт, 2002. 15. Лічильник теплової енергії «OPTIMEX». Методика повірки. – Суми, 2000. 16. Теплосчетчики SONOCAL, SONOCAL U. Методика поверки: СНК.00.00.000 И. − 2000. 17. Счетчики тепловой энергии и воды

SONOGYR, SONOGYR U. Методика поверки: СОН.00.00.000.N. - 1998. 18. Теплолічильники TERMO SN 1000 і TERMO SN 2000. Методика повірки: М148.01.96. – 1997. 19. Счетчики тепловой энергии. Методика поверки : Р 081/24.04:1996.– К.: Держстандарт України, 1996. 20. Ультразвуковые расходометры SONOFLO моделей SONO 4100/3000, SONO3300/3000, SONO 3110/3000. Методика поверки. – 1995. 21. Теплосчетчики «PREMECAL» и «PREMECAL D». Методика поверки. – 1994. 22. Теплосчетчики «SONOCAL» и «ЕЕМ-1». Методика поверки.– 1994. 23. Дяк Р.П. Особливості зчитування імпульсів на проливних установках / Р.П.Дяк, М.В. Гаврилкін // IX міжн. конф. «КУСС -2008»: тези доп. – Вінниця, 2008. – С 25. 24. Дяк Р.П. Повірка термоперетворювачів опору з використанням прецизійного термостата ТСР–0105 НО / Р.П. Дяк, М.В. Терех // VI міжн. нак.-прак. конф. «Тепловодообл ік-2008»: матеріали конф. - К.: Укрметртестстандарт, 2008. – С. 216-220. 25. Друзюк В.М. Термостати рідинні серії ТСР-0105, характеристики та результати досліджень / В.М. Друзюк, О.П. Байко, Ю.А. Земба // Метрологія та прилади. – 2008. – №6. – С.2. 26. Дяк Р.П. Обробка М.В результатів вимірювань теплолічильників за методикою повірки Р 081/24 59-99. Р.П. Дяк, М.В. Терех, В.І. Коваленко // VI міжн. нак.-техн. конф. «Метрологія-2008»: наукові праці в 2-х томах:– т. 1. – Харків, ННЦ «Інститут метрології». – 2008. – С. 355-357. 27. Вода. Удельный обьем и энтальпия при температурах 0–800 ^{0}С и давлениях 0,001–1000 МПа. Таблицы стандартных справочных данных: ГСССД 98–86. 28. Дяк Р.П. Шляхи автоматизації робочих місць з випробувань теплообчислювачів загальнобудинкових теплолічильників / Р.П. Дяк, В.О. Яцук, П.Г.Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2009. – №70. – С. 106–109.

Поступило в редакцію 03.12.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Наконечний А.Й.