

УДК 543.42:621.37:669.18

В.Ю. КУЧЕРУК, І.А. ДУДАТЬЄВ⁴

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ПОХИБКИ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНИХ ІНФРАЧЕРВОНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗОВОЇ СУМІШІ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна,
E-mails: kucheruk@mail.ru, dudatiev@mail.ru.*

Анотація. Представлена функціональна схема системи вимірювання концентрації димових газів котельних установок з каналом компенсації температурної похибки оптико-абсорбційного інфрачервоного перетворювача.

Аннотация. Представлена функциональная схема системы измерения концентрации димовых газов котельных установок с каналом компенсации температурной погрешности оптико-абсорбционного инфракрасного преобразователя.

Annotation. the functional diagram of the system of measuring of concentration of smoke gases of caldrion options is presented with the channel of indemnification of temperature error optics-absorption of infra-red transformer.

Ключові слова: котельна установка, газоаналітична система, оптичний перетворювач, контролер, програма, компенсація температурної похибки, перехідний процес.

ВСТУП

Промисловість – основний споживач палива, більша частина якого спалюється в котельних установках (КУ). Ефективність роботи котельних установок прямо залежить від наявності достовірної інформації про хід технологічних процесів. Недостовірна інформація, що надходить з газоаналітичної системи (ГС), може спричинити неефективну роботу установок, зокрема неякісне згорання палива. Точне визначення складу продуктів спалювання дає змогу оцінити: ступінь завершеності процесу згорання палива (втрат від хімічної неповноти горіння), умови згорання палива (коефіцієнт надлишку повітря), характер згорання палива в окремих зонах котла (наявність локальних низькотемпературних зон), динаміку процесу горіння, дотримання гранично допустимих норм концентрацій викинутих в атмосферу шкідливих речовин [1].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У роботі [2] проведено огляд сучасних ГС. Окремо було досліджено ГС, які мають у своєму складі блок стабілізації вхідних параметрів (система пробопідготовки), що забезпечує стабілізацію температури проби димового газу. При цьому, з одного боку, проба газу, що подається на оптичний перетворювач має постійну температуру ($T=\text{const}$), тобто таким чином компенсується температурна похибка перетворення. Але, з іншого боку, існує певна неоднозначність в оціненні концентрації суміші. Виходячи з рівняння молекулярно-кінетичної теорії

$$P = n \cdot k \cdot T, \quad (1)$$

де P – тиск газу, n – кількість часток в одиниці об'єму, k – постійна Больцмана, T – температура. Згідно рівняння (1) кількість часток в одиниці об'єму (при $P=\text{const}$) зменшується при збільшенні температури. Так у роботі було досліджено, що при $T=150$ °С концентрація часток у газозоді в 1,4 рази менша, ніж вимірювана за умови кімнатної. Тож постає задача застосування альтернативних методів температурної компенсації оптичних перетворювачів. Метою даної роботи є і підвищення точності вимірювання концентрації димових газів котельних установок.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

ГС має такі функціональні вузли: блок стабілізації вхідних параметрів (БСВП), вимірювальний перетворювач (ВП), пристрій обробки інформації (ПОІ).

Проба, що забирається для аналізу газової суміші безпосередньо з димової труби, має велику “розкиданість” параметрів, а саме: температури, вологості, тиску, запиленості. Якщо подавати димовий газ з нестабілізованими параметрами безпосередньо на вимірювальний перетворювач, це призведе до отримання на виході інформацію про склад димового газу з великою похибкою. Тому у структуру ГС пропонується включати БСВП. БСВП повинен відповідати таким вимогам: висока швидкодія, ефективне та надійне очищення від механічних домішок, зменшення до необхідного значення вологості суміші та тиску.

На наступному етапі проба газу подається на ВП. Принцип роботи ВП такий: ІЧ випромінювання від джерела поступає в дві розташовані поряд і паралельно один до одного кювети – робочу і порівняльну. Через робочу кювету прокачується газ, який аналізується, а порівняльна кювета містить повітря, вільне від цього газу. Таким чином, утворюється канал порівняння. Далі пучки оптичного випромінювання піддаються модуляції в протифазі один до одного за допомогою обтюратора, що представляє собою диск з прорізами, який обертається. Потім оптичне випромінювання проходить через інтерференційний світлофільтр, що має пропускну смугу, у яку потрапляє лінія поглинання газу, що аналізується. Далі обидва модульовані пучки за допомогою концентратора прямують на піроелектричний фотоприймач. У фотоприймачі здійснюється перетворення потоку випромінювання в пропорційний йому за величиною змінний електричний сигнал (згідно закону Ламберта-Бера) і відбувається його попереднє посилення. Потім сигнал підсилюється до уніфікованого значення (0-5В) в основному підсилювачі і поступає в ПОІ. У зв'язку з розвитком промислових контролерів задачі обробки вимірювальної інформації логічно проводити за їх допомогою, забезпечуючи спряження вихідного сигналу ВП з входом контролера. Для реалізації системи використаємо програмований логічний контролер (ПЛК) VIPA серії System 200V. VIPA 200V – сімейство ПЛК, що призначене для розв'язання задач керування та регулювання в системах автоматизації [3].

У систему введено додатковий канал вимірювання температури на основі терморезистивного датчика (ТРД) СТ1-19 – напівпровідниковий резистор з нелінійною вольтамперною характеристикою, відмінною особливістю якого є різко виражена температурна залежність електричного опору. Датчик має високу чутливість, стабільність та точність (± 1 °C), варіація показу (± 0.1 °C), широкий діапазон вимірювань (-60–300 °C). Опір датчика зменшується при збільшенні температури, тобто це терморезистор з від'ємним температурним коефіцієнтом опору. В залежності від температури газової суміші терморезистор має електричний опір, що зв'язаний з температурою нелінійною функцією, яка описується формулою Стейнхард-Харта (метод параметричної ідентифікації) [4, 5, 6]

$$T = \frac{1}{C_0 + C_1 \cdot \ln R + C_2 \cdot (\ln R)^3}, \quad (2)$$

де T – температура, яка діє на ТРД; R – опір ТРД; $C_{1,2,3}$ – коефіцієнти, які підбираються за умови найкращого наближення до отриманої експериментальної залежності. В нашому випадку ТРД типу СТ1-19 має нелінійну залежність “опір-температура”, яка була отримана експериментально за допомогою еталонних вимірювальних перетворювачів з класом точності 0.2. Аналітична залежність має вигляд

$$T = \frac{1}{0.18 - 0.056 \cdot \ln R + 0.0006 \cdot (\ln R)^3}. \quad (3)$$

Вимірювання концентрації та температури газової суміші відбувається в безперервному режимі. Функціональна схема запропонованої системи представлена на рисунку 1 (схема ГС показана узагальнено у вигляді одноканальної, але практично система є багатоканальною для багатокомпонентного аналізу газової суміші).

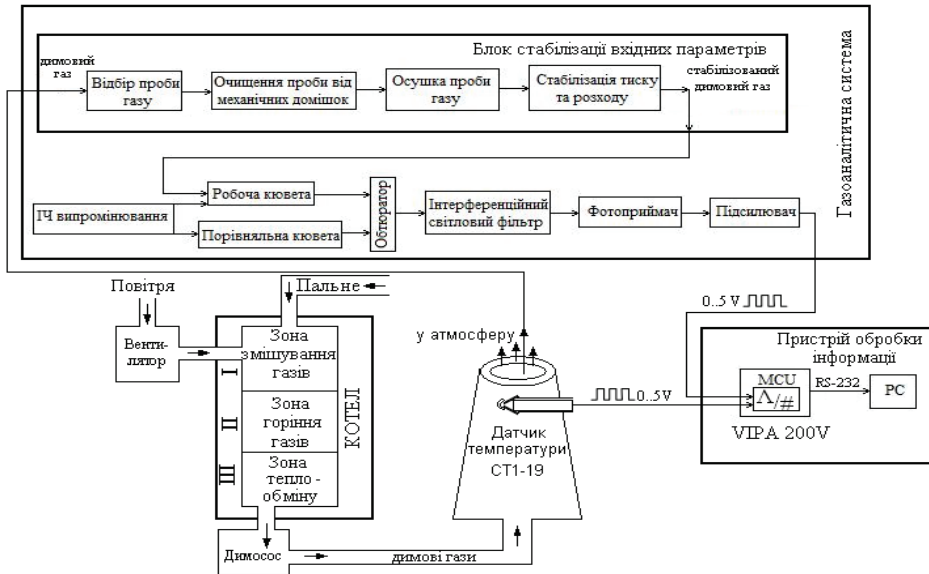


Рис. 1. Функціональна схема ГС з компенсацією температурної похибки оптичного перетворювача

Програмно додатковий канал вимірювання температури реалізуємо у програмному пакеті WINPLC7 [7] на мові програмування Ladder Diagram (LAD) [8]. У програмі функціональний блок FC 105 (Scaling analog value) приймає значення з ТРД у заданому діапазоні (0–9000 Ом) та відображає його як дійсне значення (змінна MD 4). При початку надходження сигналу з датчика запускається програмований таймер (T1). Змінна MD 4 на наступному етапі передається у математичний ланцюг, що описує функціональну залежність (2) і на виході ланцюга (змінна MD1) відображає значення температури газової суміші у $^{\circ}\text{C}$. У робочому режимі сигналізатори Q0.0 та Q0.1 знаходяться у стані логічної одиниці. Приклад роботи програми при значенні опору 1621.92 Ом знятого з ТРД і відповідно температури 116.82°C на $22 \cdot 10^3$ секунд після початку вимірювання зображено на рисунку 4.

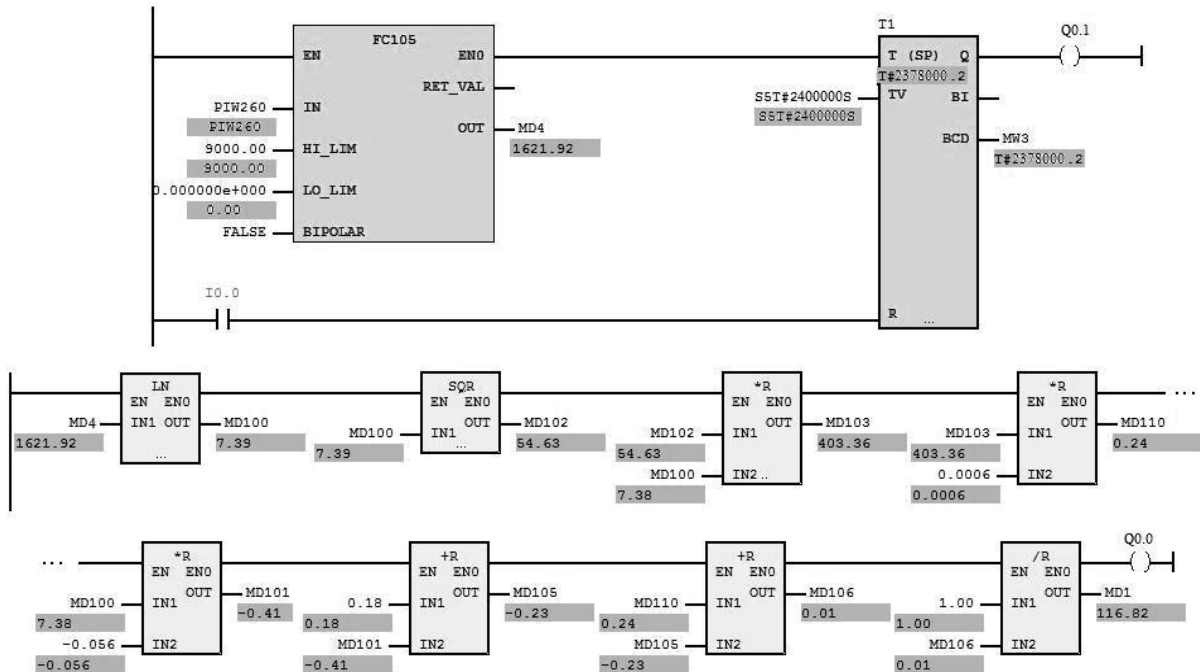


Рис. 2. Програмна реалізація вимірювального каналу температури

Залежність зміни температури газової суміші від часу представлено на рисунку 3 (вимірювання проводились протягом $2,4 \cdot 10^6$ секунд при роботі котла ТТМЕ-464).

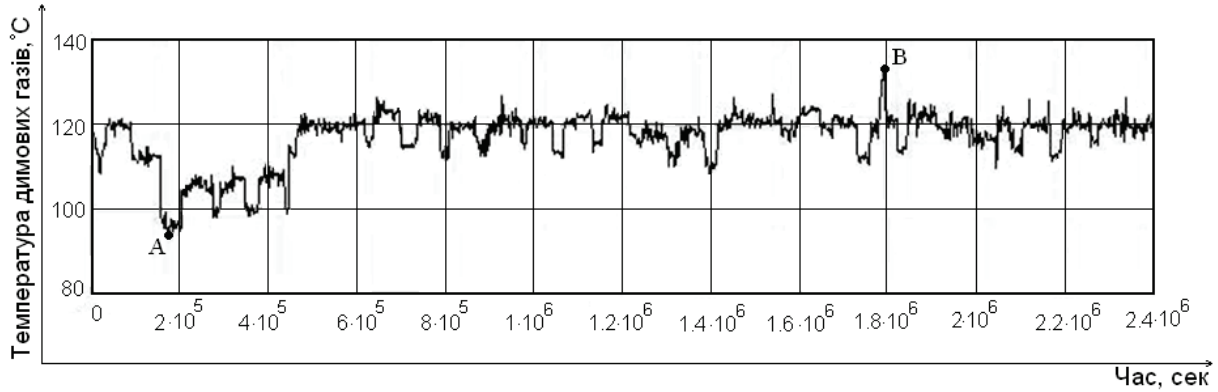


Рис. 3. Зміна температури газової суміші, що покинули топку, у часі

На отриманій залежності були визначені точки екстремумів А та В. На рисунку 4 представлені отримані результати проведених експериментальних досліджень залежності вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури, що змінюється в діапазоні від $A=96\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $B=134\text{ }^{\circ}\text{C}$, при постійній концентрації газової суміші ($\varphi=const$). Визначено, що при ΔT ($\Delta T = T_B - T_A = 134 - 96 = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$), вихідний сигнал оптичного перетворювача змінюється в діапазоні від 4 до 4,35 В ($\Delta U_{вих} = 0,35\text{ В}$), при цьому додаткова похибка внаслідок зовнішнього дестабілізуючого температурного фактору складає до 7%.

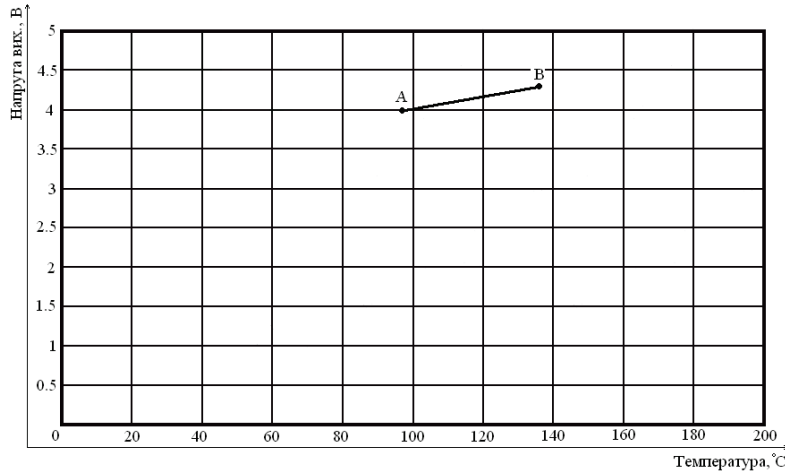


Рис. 4. Залежність вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури при постійній концентрації газової суміші без термокомпенсації

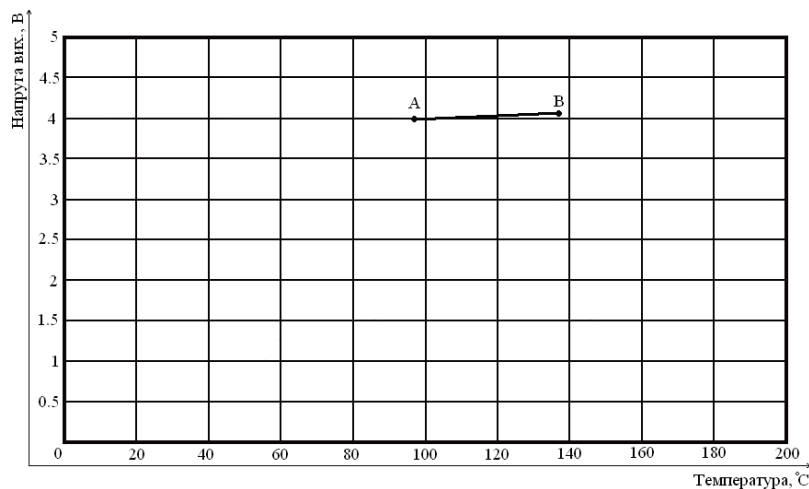


Рис. 5. Залежність вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури при постійній концентрації газової суміші з термокомпенсацією

Таким чином, вихідний сигнал перетворювача $U_{вих}$ визначається як сума сигналів, що зазнала модуляції за рахунок зміни концентрації газової суміші та температури [9]

$$U_{\text{вв}} = U(\varphi) + U(T), \quad (4)$$

де $U(\varphi)$ – вихідний сигнал від концентрації, $U(T)$ – вихідний сигнал від температури.

Для компенсації температурної похибки використаємо метод додаткового вимірювання [10, 11]. Тоді за рахунок введення каналу вимірювання температури

$$U_{\text{вв}} = U(\varphi) + U(T) + U'(T), \quad (5)$$

де $U'(T)$ – вихідний від каналу вимірювання температури.

Умовою компенсації температурної похибки є відношення

$$U(T) = -U'(T). \quad (6)$$

Тому розрахунок компенсатора $U'(T)$ зводиться до знаходження оптимальної вихідної характеристики пристрою термокомпенсації, що відповідав би умові (6).

Вирішення задачі компенсації температурної похибки зводиться до програмного обчислення двох сигналів. За допомогою контрольних точок проводиться розбиття температурного діапазону на $(N-1)$ піддіапазонів для кожного з яких існує функція лінеаризації характеристик вимірювального каналу

$$U'(T) = a + b \cdot T, \quad (7)$$

де a, b – коефіцієнти, які розраховуються на основі відомих значень $U_{\text{вих}}$ початку та кінця діапазону.

Для досягнення найменшої похибки лінеаризації пропонується розбивати діапазон вимірювання на піддіапазони з кроком 1°C . На рисунку 5 представлені залежності вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури, що змінюється в діапазоні від $A=96^\circ\text{C}$ до $B=134^\circ\text{C}$, при постійній концентрації газової суміші ($\varphi = \text{const}$). Визначено, що при $\Delta T=38^\circ\text{C}$, вихідний сигнал оптичного перетворювача змінюється в діапазоні від 4 до 4,025 В ($\Delta U_{\text{вих}}=0,025$ В), при цьому додаткова похибка внаслідок зовнішнього дестабілізуючого температурного фактору зменшилась до 0,5%.

При вимірюванні в часі температури газового потоку приймач може не встигати слідкувати за зміною цієї температури внаслідок певного значення показника теплової інерції, який залежить від геометричної форми і розмірів чутливого елемента, теплоємності і густини матеріалу, з якого виготовлено чутливий елемент, а також коефіцієнта тепловіддачі між потоком і приймачем [12]. Якщо перехідний режим роботи ВП є надто інерційним та суттєво впливає на значення сумарної похибки вимірювального каналу (системи) можна скористатись роботою [13], де розглянуто методи вимірювання швидкозмінних температур газових потоків шляхом введення поправок у покази інерційних приймачів температури та описано методику проведення таких вимірювань.

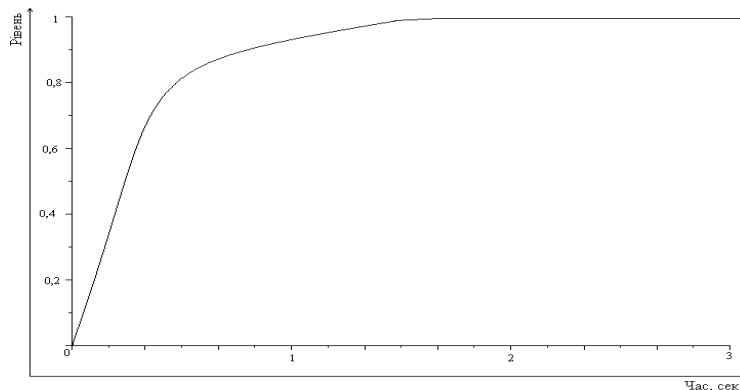


Рис. 6. Перехідна характеристика $h(t)$

Для ТРД ВП температури використаємо диференціальне рівняння першого порядку [10, 11]:

$$\frac{dU(T)}{dt} + \frac{\alpha_k S}{mc} \cdot U(T) = \frac{\alpha_k S}{mc} \cdot \Theta(T), \quad (8)$$

де $U(T)$ – температура сенсора, S – площа поверхні сенсора, m – маса сенсора, c – питома теплоємність матеріалу сенсора, α_k – коефіцієнт конвекційного обміну, $\Theta(T)$ – вимірювана температура.

Прийmemo вихідну величину $U(T)$ як одиничну функцію (функцію Хевісайда) та отримаємо аналітичну залежність для перехідної характеристики аперіодичної ланки:

$$U(T) = k \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (9)$$

де k – коефіцієнт передачі, τ – стала часу, що визначається параметрами засобу вимірювання. Одержані результати моделювання реакції ТРД ВП на вхідний сигнал $I(t)$, представлені на рисунку 6. Перехідна характеристика $h(t)$ побудована в середовищі символічної математики Maple VI.

В подальшому планується детально дослідити динамічні характеристики розробленої системи, а саме: вплив різниці тривалостей перехідних процесів між ГС та ТРД на загальний результат вимірювання та пошук шляхів компенсації даної розбіжності.

ВИСНОВКИ

У роботі представлена функціональна схема системи вимірювання концентрації димових газів котельних установок з компенсацією температурної похибки оптико-абсорбційного інфрачервоного перетворювача за рахунок введення додаткового каналу вимірювання температури газової суміші. Програмно канал термокомпенсації реалізовано у програмному пакеті WINPLC7 на мові контактно-релейних схем автоматики. Експериментально досліджено залежність вихідних характеристик оптичного перетворювача від температури без термокомпенсації та з термокомпенсацією. Наведена методика термокомпенсації вихідних характеристик оптичного перетворювача. До того ж додатковий температурний канал може забезпечити контроль втрат тепла з газами, що покинули топку котла.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплюх З.М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу димових газів // *Енергетика и Электрификация*, 2004. – №3. – С. 10-18.
2. Козубовський В.Р. Оптичні прилади газового аналізу для контролю забруднення атмосферного повітря (огляд) // *Метрологія та прилади* №2 – 2010. – С. 62-70.
3. Режим доступу: www.VIPA.de
4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 1973. – 398 с.
5. Денисенко В.В., Халявко А.Н. Термометры сопротивления, термисторы и термопары // *ПиКАД*. – 2005. – №1. – С. 50 – 54.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
7. Режим доступу: www.WinPLC7.de
8. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О., Кулаков П.І. Програмування логічних контролерів SCHNEIDER ELECTRIC. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 132с.
9. Бугайов Ю.В., Шабатура Ю.В. Використання мікропроцесорних систем для компенсації температурної похибки оптичних перетворювачів // *Вісник Технологічного університету Поділля*. – 2003, №3/Т.2. – С. 152-154.
10. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця ВДТУ, 2001. – 220с.
11. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. Метрологія та вимірювальна техніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 190с.
12. Фединець В.О. Дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів для вимірювання температури газових середовищ // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2003, вип. 63. – С. 60 – 62.
13. Фединець В.О. Вимірювання швидкозмінних температур газових потоків шляхом введення поправки у покази приймачів температури // *Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник*, 2007, вип. 17.5. – С. 217 – 220.

Надійшла до редакції 7.02.2011р.

КУЧЕРУК В.Ю. – д.т.н., професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ДУДАТЬСВ І.А. – магістрант кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.