

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

На правах рукопису
УДК 536. 521. 2: 389. 6

ПАРХУЦЬ Любомир Теодорович

**ПОКРАЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПЕРЕНОСНИХ ПІРОМЕТРІВ АПАРАТНИМИ
ЗАСОБАМИ**

Спеціальність 05. 11. 04 — Прилади та методи
вимірювання теплових величин.

*Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук*

ЛЬВІВ — 1997



00752020 (G)

Дисертація
Робота виконана в Державному університеті "Львівська політехніка"

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор,
Заслужений винахідник України
Дудикевич Валерій Богданович

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор,
Бичківський Роман Васильович
- кандидат технічних наук, доцент,
Благітко Богдан Ярославович

Провідна організація — **НВО "Термоприлад" м. Львів**

Захист відбудеться « 4 » 04 1997р. о 11 годині в ауд. 226 головного корпусу на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04. 06. 11 у Державному університеті "Львівська політехніка"(290646, Львів-13, вул. С.Бандери, 12).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою, просимо надсилати за адресою: 290646, м.Львів-13, вул.С.Бандери, 12, Державний університет "Львівська політехніка", вченому секретарю ради Д 04.06.11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" (290013, Львів-13, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий " 3 " 03 1997 р.

**Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., с.н.с.**

Я.Т.Луцик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одним із найважливіших факторів, що впливають на зовнішнє середовище, екологію, життєдіяльність людини та технологічні процеси є температура. Тому біля 40% всіх вимірювань згідно статистичних даних припадає саме на вимірювання температури. В окремих галузях народного господарства цей відсоток ще вищий. Так, в енергетиці температурні вимірювання складають до 70% загальної кількості вимірювань. Особливе значення має температура при контролі, автоматизації та керуванні технологічними процесами. Точність дотримання температурного режиму часто визначає не тільки якість, але й принципову можливість використання чи виготовлення продукції.

Серед приладів, що використовуються для вимірювання температури вагоме місце належить пірометрам, які завдяки своїм позитивним властивостям знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства. Порівняно з контактними методами вимірювання температури безконтактні забезпечують підвищену надійність, особливо при вимірюванні високих температур; можливість вимірювання температури рухомих об'єктів без механічного контакту з ними; можливість вимірювання температури об'єктів, доступ до яких утруднений або взагалі неможливий; можливість вимірювання температур об'єктів малих розмірів без спотворення температурного поля; забезпечують високу швидкість вимірювання.

З використанням в пірометрах мікропроцесорів вдалося значно розширити діапазон вимірювання та функціональні можливості, підвищити точність вимірювання переносними пірометрами. Однак, для широкого кола вимірювань температури використання складних, багатофункціональних, а отже, і дорогих мікропроцесорних пірометрів не завжди оправдане.

Вихідна інформація первинних перетворювачів пірометра може також успішно опрацьовуватись апаратними засобами. Числоімпульсні функціональні перетворювачі (ЧІФП) і функціональні перетворювачі на основі постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП), нові структури яких розглядаються в роботі, вигідно відрізняються від інших високими метрологічними характеристиками, регулярністю і простотою своїх структур, можуть успішно конкурувати з мікропроцесорними засобами. Цьому, зокрема, сприяють нові технології, що втілені у програмованих логічних пристроях (ПЛП).

ПЛП дозволяють оперативно виготовляти цифрові мікросхеми з кількістю вентилів понад 10 тисяч, а також здійснювати корекцію їх електричної схеми безпосередньо в складі пристрою.

Аналіз принципів роботи та структурної організації відомих переносних пірометрів виявив недосконалість існуючих методів визначення впливу фонового випромінювання, що погіршує їх метрологічні характеристики.

Тому актуальними є питання запровадження нової методики визначення впливу фонового випромінювання, розробки оптимальної структури пірометра, апаратних засобів для реалізації його вузлів, які б при простоті структурного та схемного рішень забезпечували необхідні метрологічні характеристики та задані технічні параметри.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу роботи складають результати теоретичних і практичних розробок, які виконував автор в рамках держбюджетних і госпдоговірних робіт на кафедрі "Автоматика і телемеханіка" Державного університету "Львівська політехніка" за період з 1981 до 1996 р.

Роботи проводилися у відповідності з координаційним планом науково-дослідних робіт вищих учбових закладів системи Мінвузу СРСР на 1983-89 р.р., за тематикою "Інформаційні системи"; проблема 4.- "Теорія, принципи побудови і методи розрахунку елементів і пристроїв інформаційно-вимірювальних систем"; підпроблема 4.5 "Розробка методів і систем функціонального перетворення інформації" (наказ Мінвузу СРСР N 1309 від 30.12.1982 р.) і планами науково-дослідних робіт Державного університету "Львівська політехніка" в рамках НДР-3789 (номер державної реєстрації 01820069299), яка виконувалась за програмою робіт ВО "Термоприлад" і СКБ "Електротермометрія" м.Львів, та НДР-4926 (номер державної реєстрації 01901085771) за програмою робіт Кам'янець-Подільського приладобудівного заводу "Модернізація переносних пірометрів часткового випромінювання "Смотрич-П".

Мета і задачі дослідження: покращення метрологічних характеристик переносних пірометрів шляхом розробки нової методики визначення впливу фонового випромінювання та нових принципів структурної організації цифрових апаратних засобів для обробки вимірювальної інформації.

В роботі поставлені і вирішені наступні задачі:

- виконано аналіз існуючих принципів структурної організації радіаційних пірометрів (РП) і фактори впливу на їх основні метрологічні характеристики;
- проведено аналіз існуючих методів визначення поправки на фонове випромінювання, виявлено їх недоліки та розроблена нова методика визначення поправки на фон;
- запропоновано нові принципи побудови і розроблено нові структури базових елементів РП, за рахунок чого зменшено ряд складових похибки вимірювання температури, зменшено споживану потужність, підвищено надійність та покращено технологічність РП без використання мікропроцесора;
- розширено функціональні можливості переносного пірометра - визначення мінімального, максимального та середнього значень температур, довготривале запам'ятовування виміряних значень;
- розроблено методику автоматизованого розрахунку параметрів

структурних елементів РП та здійснено аналіз їх метрологічних характеристик.

Методи дослідження: В теоретичних та експериментальних дослідженнях використовувались теорія похибок, чисельні методи аналізу з ЕОМ, диференціальне та інтегральне числення, методи оптимізації. Вірогідність наукових висновків підтверджена результатами експериментальних досліджень та моделюванням на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- на основі проведеного аналізу принципів структурної організації радіаційних пірометрів та факторів впливу на їх метрологічні характеристики, виявлені недоліки існуючих структур та запропоновані шляхи вирішення наявних проблем;
- запропоновано нову методику визначення поправки на фонове випромінювання та її практичну реалізацію;
- проаналізовані та вибрані класи функцій для лінеаризації номінальних статичних характеристик (НСХ) первинних пірометричних перетворювачів, використання яких дозволило створити апроксимуючі перетворювачі з покращеними метрологічними характеристиками;
- для апроксимації та лінеаризації характеристик пірометричних перетворювачів розроблені нові структури цифрових функціональних перетворювачів (ЦФП) з покращеними характеристиками, більшість з яких захищена авторськими свідоцтвами;
- розроблена методика розрахунку і на її основі алгоритми та програмне забезпечення для автоматизованого проектування лінеаризуючих пристроїв на ЕОМ;
- розроблені табличні функціональні перетворювачі (ТФП) зі змінним кроком дискретизації і ЧФП на базі ПЗП, на основі яких побудовані багатодіапазонні лінеаризуючі пристрої;
- розроблена методика та програмне забезпечення для автоматизованого градування пірометрів при серійному виробництві.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що:

- запропонований цифровий спосіб введення коефіцієнта випромінювання об'єктів та методика визначення поправки на фонове випромінювання суттєво зменшують похибку вимірювання температури, а також дозволяють підвищити точність вимірювання коефіцієнта випромінювання об'єктів за відомою температурою;
- розроблені структури цифрових лінеаризуючих пристроїв із роширеним діапазоном лінеаризації дозволили скоротити апаратні затрати, розширити сферу використання пірометра;
- розроблена методика розрахунку параметрів лінеаризуючих пристроїв пірометра та її програмне забезпечення дозволили автоматизувати процес розрахунку та підвищити його точність;
- запропоновані принципи структурної організації і розроблені структури дозволили виготовити нескладний та недорогий цифровий переносний пірометр з малим споживанням, високою точністю та широким

діапазоном вимірювання температури і коефіцієнта випромінювання, з можливістю визначення та введення поправки на фонове випромінювання, знаходження мінімального, максимального та середнього значень вимірюваних температур та їх довготривале запам'ятовування без використання мікропроцесора;

- запропонований спосіб автоматизованого градування пірометрів дозволяє підвищити його точність та покращує технологічність при серійному виробництві.

Реалізація результатів роботи:

- виконані дослідження і розроблені цифрові пристрої впроваджені в блоці цифрової обробки інформації пірометра часткового випромінювання, мікропотужних цифрових пристроях лінеаризації характеристик переносних пірометрів комплексу АПІР-П, цифровому лінеаризуючому пристрої пірометра комплексу АПІР-С в НВО "Термоприлад" м.Львів;

- на основі проведеного аналізу та досліджень розроблений структур спроектований та виготовлений переносний пірометр, який впроваджений на Кам'янець-Подільському приладобудівному заводі для модернізації серійних переносних пірометрів "Смотрич-4П" та "Смотрич-5П";

- діючі експериментальні зразки переносного пірометра, виготовлені за безпосередньою участю автора, демонструвалися на ВДНГ України, де відзначені Дипломом III-го ступеня (1986 р.) та ВДНГ СРСР (1987р.).

Особистий внесок автора є основним на всіх етапах досліджень і полягає у формулюванні завдань та безпосередньому виконанні усіх етапів роботи та експериментальних досліджень. Автором особисто запропонована методика визначення поправки на фонове випромінювання, розроблений алгоритм розрахунку параметрів лінеаризаторів на ЕОМ; табличні функціональні перетворювачі зі змінним кроком лінеаризації; ЧІФП на базі ПЗП та програмне забезпечення для їх автоматизованого проектування; методика та програмне забезпечення для автоматизованого градування пірометрів при серійному виробництві.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались на Республіканській науково-технічній конференції "Структурні методи підвищення точності засобів і систем автоматизації експериментальних досліджень", Київ, 1983 р.; V-ій Всесоюзній науково-технічній конференції "Стан і перспективи розвитку засобів вимірювання температури контактними і безконтактними методами", Львів, 1984 р; Першій Українській науково-методичній конференції "Автоматика, управління та автоматизація технологічних процесів, екологічного контролю та моніторингу" "Текавтоматика-93", Алушта, 1993 р.; III-ій науково-технічній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва", Хмельницький, 1995 р.; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Державного університету "Львівська політехніка" в 1982-96р.р.

Публікації. За темою дисертації опублікована 21 друкована робота, в тому числі 8 авторських свідоцтв, 5 статей, 6 тез і матеріалів конференцій, 2 заключних звіти з науково-дослідних робіт.

Структура роботи.

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі аргументована актуальність теми дослідження, її зв'язок з планами роботи університету, мета, наукова новизна роботи, практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуті фізичні закони, які описують процес теплового випромінювання та проведено аналіз принципів структурної організації переносних пірометрів. На основі виконаного порівняння пірометрів різних типів певна перевага віддана радіаційним пірометрам, які мають найширший діапазон вимірювання температур, сфери застосування, позбавлені суб'єктивності (порівняно з оптичними) в процесі отримання результату вимірювання, потребують менших апаратурних затрат (порівняно з пірометрами спектрального відношення), що є важливим аргументом при їх переносному виконанні.

Показано, що на метрологічні характеристики радіаційних пірометрів впливають ряд факторів (рис.1), які пов'язані з:

- об'єктом вимірювання (ОВ) - вимірювана температура T , відстань від об'єкта L , коефіцієнт випромінювання $\epsilon(\lambda, T)$, діаметр об'єкта $D_{об}$ (методична похибка ΔT_{ϵ});
- об'єктом фону (ОФ) - температура об'єкта фону T_{ϕ} , коефіцієнт випромінювання об'єкта фону $\epsilon_{\phi}(\lambda, T_{\phi})$ (похибка фону ΔT_{ϕ});
- проміжним середовищем (ПС) - пропускна здатність $t(\lambda)$, розмір діафрагми D_1 , навколишня температура t (похибка ПС ΔT_t);
- первинним перетворювачем (ПП) - діапазон вимірювання $T_{н..T_{в}}$, робочий спектральний діапазон $\lambda_1.. \lambda_2$, показник візування k , швидкодія t (основна похибка ΔT_u);
- способом апроксимації та лінеаризації у вторинному перетворювачі (ВП) (похибка апроксимації ΔT_a та лінеаризації ΔT_l).

Похибки вимірювання температури пірометрами, викликані вказаними факторами впливу, можна виділити у дві групи - методичні та інструментальні.

До методичних відносяться похибки, викликані:

- залежністю коефіцієнта випромінювання ϵ від температури, характеру поверхні об'єкта (наявність окисної плівки, колір, шерехатість, кривизна);
- поглинанням випромінювання проміжним середовищем, наявністю в атмосфері водяної пари, двоокису вуглецю, порошу, газів і т.д.;

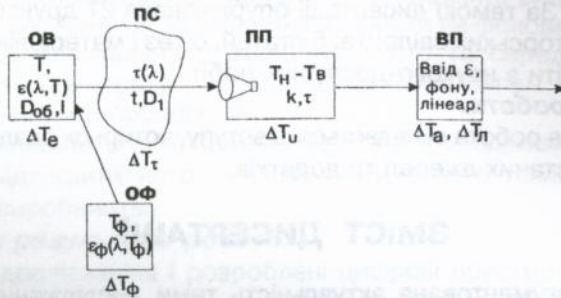


Рис.1. Фактори впливу на метрологічні характеристики РП

- відбиванням об'єктом вимірювання випромінювання навколишніх предметів (фонове випромінювання).

Інструментальну групу похибок складають:

- статичні (зміна параметрів оптичної системи, приймача випромінювання, підсилювача-перетворювача, похибки введення поправки на коефіцієнт випромінювання ε та фонове випромінювання, лінеаризатора, електричні завади);
- динамічні (інерційність приймача випромінювання, швидкодія підсилювача-перетворювача, лінеаризатора);
- метрологічні (похибка градувальних засобів).

Проведений аналіз принципів роботи відомих пірметрів виявив наявність методичної похибки, викликані недосконалістю методики визначення поправки на фонове випромінювання. В переносних пірметрах типу "Смотрич-4П" для компенсації фонового випромінювання необхідно "направити пірметр на характерний об'єкт, який має температуру навколишнього середовища, виміряти температуру цього об'єкта при $\varepsilon=1.0$, встановити значення $\varepsilon=0.1$ і обертанням коректора "Т" досягти повторення раніше виміряного значення температури навколишнього середовища".

Очевидно, що від правильного вибору "характерного" об'єкта і відповідності його температури температурі навколишнього середовища залежатиме точність введення поправки на фонове випромінювання, а отже, і точність вимірювання температури. В реальних умовах вимірювання джерел фонового випромінювання може бути декілька, а їх вплив різний, і така методика компенсації впливу фонового випромінювання призведе до появи методичної похибки, яка становитиме одиниці і навіть десятки процентів (особливо при малих значеннях ε).

Не вирішена дана проблема і в мікропроцесорних пірметрах фірми AGA "Thermopoint-80" та "Смотрич-М6П", в яких поправка на фонове випромінювання визначається шляхом сканування навколишнього середовища і визначення усередненого фонового випромінювання, що

падає на вимірюваний об'єкт. Ця методика має кілька недоліків. По-перше, джерела фонового випромінювання можуть бути розташовані на різних рівнях по висоті і за рахунок обмеженого поля зору пірометра фонове випромінювання частини з них не буде враховане. По-друге, оператору необхідно забезпечити постійну кутову швидкість сканування, щоб усереднене значення було близьким до реального. По-третє, при скануванні пірометр направляється на кожне з джерел фонового випромінювання під прямим кутом і вимірює максимальне значення фонового потоку, а при вимірюванні температури вимірюваного об'єкта фонові потоки випромінювання від джерел фону падають і відбиваються від його поверхні під різними кутами і реальний вплив кожного з них буде відрізнятися від визначеного.

Отже, існуючі методи визначення і врахування поправки на фонове випромінювання навколишнього середовища та їх практична реалізація у відомих пірометрах (навіть мікропроцесорних) мають суттєві недоліки і при вимірюванні температури об'єктів в реальних умовах не забезпечують достатньої компенсації впливу фонового випромінювання, а тому не дозволяють отримати високу точність вимірювання температури.

Крім цього, аналогові пристрої обробки інформації в пірометрах "Смотрич-4П" та "Смотрич-5П", забезпечуючи високу швидкодію, мають порівняно низьку точність (2.5%) та невисоку часову і температурну стабільність. Вони складні у виготовленні та потребують ручного індивідуального налагодження.

Мікропроцесорні пірометри забезпечують високу точність, температурну стабільність і широкі функціональні можливості, але є дорогими та вимагають значних затрат для розробки програмного забезпечення. Вони характеризуються відносно низькою швидкодією (у порівнянні з число-імпульсними перетворювачами), пов'язаною з послідовною обробкою інформації (спочатку проводиться вимірювання, потім виконується математична обробка інформації, яка в свою чергу потребує певного часу) та відносно високою вартістю (наприклад, "Thermopoint-80" - \$ 1200, "Смотрич - М6П - \$ 1500). Така вартість пірометра суттєво звужує сфери його використання.

Крім того, враховуючи універсальність мікропроцесора, його використання в переносних пірометрах оправдане лише тоді, коли на нього покладаються функції виконання складних математичних обчислень та статистичної обробки отриманих результатів, а також забезпечення розширених функціональних можливостей пірометра. Зокрема, знаходження мінімальної, максимальної та середньої температур при скануванні поверхні вимірюваного об'єкта, знаходження швидкості зміни температури об'єкта при його нагріванні чи охолодженні, вимірювання температури у вказані моменти часу або через певні проміжки часу та інше.

Тому питання розробки недорогих (\$ 100..300) переносних пірометрів, які забезпечують точність вимірювання температури в межах 1%, усувають методичну похибку від впливу фонового випромінювання навколишнього середовища, побудовані без використання мікропроцесорів є актуальним.

Зменшення інструментальної похибки, що вноситься засобами обробки вимірної інформації в пірометрах, може бути досягнуте шляхом перетворення сигналу первинного вимірювального перетворювача в цифрову форму і використанням цифрових пристроїв введення коефіцієнта випромінювання об'єкта і поправки на фонове випромінювання та апроксимуючо-лінеаризуючих пристроїв, які мають високу точність, часову і температурну стабільність.

Другий розділ присвячений принципам побудови засобів цифрової обробки інформації первинних перетворювачів переносних пірометрів. При наявності фонового випромінювання сигнал на виході первинного перетворювача описуємо виразом [2]:

$$U_c = U_{об} \cdot \varepsilon + U_\phi \cdot (1 - \varepsilon), \quad (1)$$

де $U_{об}$ - сигнал, пропорційний реальній температурі ОБ;

ε - коефіцієнт випромінювання ОБ;

U_ϕ - сигнал, пропорційний усередненому фоновому випромінюванню навколишнього середовища;

$(1 - \varepsilon)$ - коефіцієнт відбивання ОБ.

З виразу (1) отримується вираз для знаходження сигналу, що пропорційний реальній температурі об'єкта:

$$U_{об} = \frac{U_c}{\varepsilon} - \frac{U_\phi \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon} = \frac{U_c}{\varepsilon} - \left(\frac{U_\phi}{\varepsilon} - U_\phi \right) \quad (2)$$

Друга частина формули (2) визначає поправку на фонове випромінювання.

На основі аналізу, проведеного в першому розділі, розроблена структурна схема пірометра (рис.2), який складається з первинного вимірювального перетворювача ПВП, перетворювача напруга-частота ПНЧ, вузла введення коефіцієнта випромінювання "ε", вузла визначення поправки на фонове випромінювання Фон, лінеаризуючого пристрою ЛП, блока індикації БІ, блока керування БК, блока живлення БЖ.

З метою застосування цифрових засобів обробки інформації розроблено прецизійний мікропотужний ПНЧ [3], який перетворює вимірювальний сигнал в число-імпульсний код.

Алгоритм роботи пірометра визначається виразом (2), для реалізації якого передбачені три режими роботи. В режимі "ε" перед вимірюванням температури досліджуваного об'єкта встановлюється коефіцієнт його

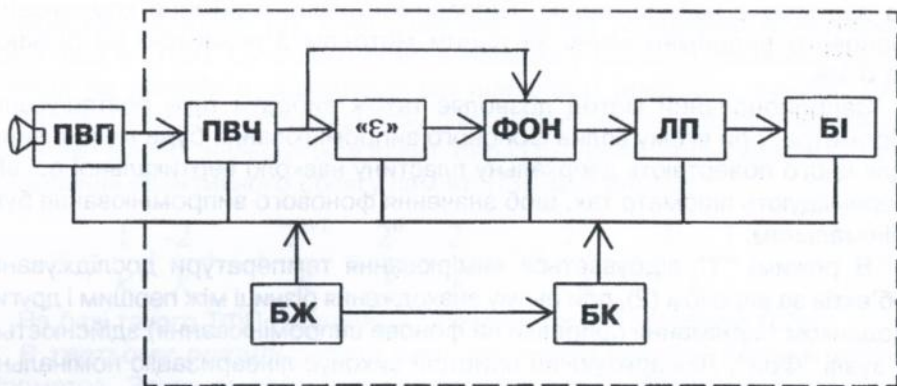


Рис.2. Структурна схема розробленого пірометра

випромінювання ε . Значення цього коефіцієнта висвічується на цифровому табло блока індикації з дискретністю 0.001 (в діапазоні 0.100 - 1.000) і визначає коефіцієнт передачі вузла " ε ", який виконує множення вимірної інформації на $1/\varepsilon$.

В режимі " Φ " визначається поправка на фонове випромінювання ($U_{\Phi}/\varepsilon - U_{\Phi}$), значення якої зберігається в вузлі "Фон".

Запропонована автором нова методика визначення поправки на фонове випромінювання навколишнього середовища полягає у визначенні загального потоку фонового випромінювання U_{Φ} , який падає на вимірювальний об'єкт і відбивається його поверхнею в напрямку пірометра.

З цією метою пропонується розташувати перед досліджуванним об'єктом дзеркальну пластину паралельно його поверхні. Дзеркальна пластину повинна мати коефіцієнт відбивання інфрачервоного випромінювання в робочому спектральному діапазоні пірометра рівний одиниці або максимально близький до одиниці. В пірометрі встановлюють коефіцієнт випромінювання ε досліджуваного об'єкта, направляють пірометр на дзеркальну пластину і вимірюють значення поправки на фонове випромінювання навколишнього середовища за виразом ($U_{\Phi}/\varepsilon - U_{\Phi}$). Для цього вимірне значення фону U_{Φ} проходить через вузол " ε ", на виході якого отримуємо складову U_{Φ}/ε , а у вузлі "Фон" визначається і запам'ятовується значення фонові поправки ($U_{\Phi}/\varepsilon - U_{\Phi}$), яке при вимірюванні температури буде відніматися від значення U_{Φ}/ε .

Дзеркальна пластину може бути виготовлена з матеріалів, коефіцієнт відбивання яких близький до одиниці (поліровані золото, мідь, срібло, платина). З економічної точки зору найкращих є використання мідної пластини, яка має один з найближчих до одиниці коефіцієнт відбивання, а

за вартістю є найдешевшою. Експериментально отримано компенсацію фонового випромінювання за даним методом з похибкою не більшою за 0.1%.

Запропонований метод дозволяє також вибрати таке розташування пірометра, при якому вплив фонового випромінювання буде мінімальним. Для цього повертають дзеркальну пластину навколо вертикальної осі або переміщують пірометр так, щоб значення фонового випромінювання було мінімальним.

В режимі "Т" відбувається вимірювання температури досліджуваних об'єктів за виразом (2), при цьому знаходження різниці між першим і другим доданком (віднімання поправки на фонове випромінювання) здійснюється у вузлі "Фон". Лінеаризуючий пристрій виконує лінеаризацію номінальної статичної характеристики первинного пірометричного перетворювача при визначенні поправки на фонове випромінювання та вимірюванні температури об'єктів.

На основі аналізу експериментальних номінальних статичних характеристик (НСХ) ПВП визначено клас апроксимуючих функцій (прямих та обернених), які можуть використовуватися для лінеаризації НСХ. Приведені структури лінеаризуючих пристроїв, що використовують обернену та пряму функціональні залежності.

Запропоновано варіант значного (в сотні разів) зменшення споживаної потужності лінеаризатора на базі прямих функцій за рахунок роботи в імпульсному режимі.

Синтезовано базові структури та виконано їх аналіз для лінеаризаторів на основі число-імпульсних функціональних перетворювачів (ЧІФП), новизна і ефективність яких захищена авторськими свідоцтвами [10-14], які відтворюють функції

$$\left. \begin{aligned}
 y &= a \left(1 - \exp\left(-\frac{x}{a}\right) \right); & y &= a \left(\exp\left(\frac{x}{a} - 1\right) \right); \\
 y &= \sqrt[3]{kx}; & y &= \frac{ak}{(k - ax)}; \\
 y &= 2m \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{x}{m}\right); & y &= 2m \left(\operatorname{ch}\left(\frac{x}{m}\right) - 1 \right); \\
 y &= \frac{m}{2} \sin^2 \frac{x}{m}; & y &= \frac{m}{2} + \frac{1}{2} \cos^2 \frac{x}{m}; \\
 y &= 2m \sin^2 \frac{x}{2m}; & y &= 2m \sin^4 \frac{x}{2m}.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Запропоновано табличний функціональний перетворювач зі змінним

кроком дискретизації [8], який дозволяє значно розширити ефективний обсяг пам'яті ПЗП. Суть його роботи полягає у розбитті діапазону зміни функції на ділянки в залежності від швидкості приросту функції. Для спрощення апаратної реалізації розмір кроку дискретизації функції на кожній наступній ділянці збільшується вдвічі. Вираз для обчислення коефіцієнта K збільшення ефективного обсягу пам'яті ПЗП має вигляд:

$$k = \frac{1}{k} + \frac{2}{k} + \dots + \frac{2^{k-1}}{k} = \frac{2^0}{k} + \frac{2^1}{k} + \dots + \frac{2^{k-1}}{k} = \frac{2^k - 1}{k} \quad (4)$$

На базі такого ТФП побудовані лінеаризатори з похибкою 0.2%.

В третьому розділі роботи виконана оцінка похибок базових вузлів пірометра. Зокрема показано, що основна похибка ПНЧ не перевищує 0.05%. Шляхом імітаційного моделювання на ЕОМ розроблених структур ЧІП виконаних на число-імпульсних помножувачах (ЧІП) та нагромаджувальних суматорах (НС) виявлено, що похибка структур на ЧІП зростає зі збільшенням кількості розрядів, а похибка структур на НС не перевищує одиниці молодшого розряду [10].

Для зменшення похибки ЧІП запропоновано структурний метод підвищення точності [6], суть якого полягає у введенні в структуру ЧІП елементів для обчислення дробової частини поточних результатів. Отримані математичні вирази для максимальної абсолютної похибки запропонованого ЧІП показують її зменшення в порівнянні з класичним ЧІП в 2^m раз, де m - число розрядів дробової частини.

В розроблених базових елементах єдиними параметрами, які можна змінювати є число розрядів ЧІП чи НС та початкові умови (запис в лічильники початкових значень). Це дозволяє отримати певне наближення апроксимованої та апроксимуючої функцій, однак похибка такого наближення є досить великою (одиниці відсотків), що не задовільняє вимоги до лінеаризуючих пристроїв пірометрів.

Для підвищення точності лінеаризації в базовий функціональний перетворювач слід ввести додаткові блоки задання параметрів, які дозволяють змінювати форму кривої і отримати наближення з необхідною точністю (рис.3).

Виходячи з числа ланок, що формують основний і проміжні цифрочастотні потоки, в даному перетворювачі можна включити чотири блоки ($k_1 \dots k_4$) задання параметрів і отримати функцію перетворення

$$y = \frac{k_1}{k_2 \cdot k_3} a \left[1 - \exp\left(-\frac{k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot x}{a}\right) \right] \quad (5)$$

Отримати задану похибку наближення на всьому діапазоні зміни функції одним набором параметрів $k_1 \dots k_4$ часто неможливо. Тоді весь діапазон

розбивають на кілька ділянок, на яких можна забезпечити наближення з необхідною точністю. Для кожної ділянки знаходять певний набір значень параметрів $k_1 \dots k_4$, а їх введення в лінеаризаторі забезпечується лічильником Ліч. з дешифратором ДШ.

Для розбиття на ділянки та знаходження значень цих коефіцієнтів автором розроблено методику розрахунку, алгоритм і програмне забезпечення для її реалізації на ЕОМ, які дозволяють проектувати лінеаризатори з заданою точністю.

В четвертому розділі розглянуто шляхи розширення функціональних можливостей пірометра та подальшого вдосконалення лінеаризуючих присторів. Запропоновано цифрові пристрої для знаходження мінімального, максимального і середнього значень вимірюваних температур [15,16].

Синтезовано нову структуру лінеаризатора з ЧІФП на базі ПЗП, що дало можливість створити багатодіапазонний лінеаризатор пірометра використовуючи лише одну мікросхему ПЗП. На рис.4 зображена структура лінеаризатора, застосованого при модернізації пірометрів "Смотрич-4П" та "Смотрич-5П". В ПЗП даного ЧІФП можна записати до 8-ми НСХ пірометра, причому кожна НСХ записується в послідовному коді у свій розряд даних.

Вибір необхідної характеристики, в залежності від вибраного діапазону вимірюваних температур, здійснюється шляхом подачі на адресні входи мультиплектора А1..А3 відповідного двійкового коду.

Для формування результату в паралельному коді на виході ЧІФП встановлений лічильник Ліч.2. При виборі діапазонів з нижньою межею вимірюваних температур відмінною від 0°C , перед початком кожного вимірювання в нього імпульсом "Запис" попередньо записується початковий код, який відповідає нижній межі вимірювання.

Суттєвою перевагою даного лінеаризатора є те, що при застосуванні в ньому ПЗП з малим обсягом пам'яті (1 мікросхема КР573РФ5) отримано багатодіапазонний лінеаризатор з похибкою, яка не перевищує 0.1%. Всі процеси його моделювання та проектування легко автоматизуються на ЕОМ.

Розроблено пакет програм, який дозволяє за експериментально отриманою НСХ первинного перетворювача (у вигляді таблиці дискретних значень) виконати її інтерполяцію за допомогою кубічного сплайну та екстраполяцію за межами діапазону, сформувати таблицю даних для запису в ПЗП з вказаною точністю, дискретністю та числом цифр для індикації результату, визначити обсяг пам'яті ПЗП, яка необхідна для забезпечення вибраних параметрів ЧІФП (причому, якщо ЧІФП повинен працювати в кількох діапазонах, то формується комбінований код, так, щоб кожному розряду ПЗП відповідала своя НСХ). Для програмування ПЗП формується спеціальний файл даних для програматора.

Даний пакет включає в себе і програму для керування роботою програматора мікросхем серії KP573 та контролю правильності записаної в ПЗП інформації.

Для автоматизованого проектування табличних функціональних перетворювачів пакет включає відповідну програму, яка дозволяє формувати таблицю даних для програмування ПЗП в паралельному коді, а також розбивати НСХ на кілька ділянок при проектуванні ТФП зі змінним кроком дискретизації.

Програмне забезпечення пакету написано на мові PASCAL.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити та виготовити експериментальний зразок переносного пірометра для роботи в діапазонах $0..100^{\circ}\text{C}$, $15..45^{\circ}\text{C}$, $30..200^{\circ}\text{C}$, $200..900^{\circ}\text{C}$, $800-1500^{\circ}\text{C}$, $50..800^{\circ}\text{C}$; час вимірювання 0.5 с; загальна похибка пірометра не перевищує 1.0%; похибка електричної частини пірометра (без вимірювального первинного перетворювача) не перевищує 0.2%; споживана потужність не більша 250 мВт. Передбачені можливості визначення мінімального, максимального і середнього значень вимірюваних температур. Орієнтовна вартість \$ 200.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. На основі виконаного аналізу принципів роботи та структурної організації переносних пірометрів виявлено фактори впливу на їх метрологічні характеристики, виділено методичні та інструментальні похибки, вказано недоліки існуючих методів визначення впливу фонового випромінювання та засобів обробки інформації, що дозволило визначити шляхи вирішення наявних проблем.

2. Запропоновано нову методику визначення поправки на фонове випромінювання, яка дозволяє зменшити похибку від впливу фонового випромінювання (експериментально отримано 0.1%).

3. Оптимізовано структурну схему пірометра та розроблено структури цифрових вузлів введення коефіцієнта випромінювання, визначення фонові поправки, знаходження мінімального, максимального та середнього значень вимірюваних температур, що дозволило покращити метрологічні характеристики пірометра.

4. Визначено клас функцій для лінеаризації НСХ первинних пірометричних перетворювачів і синтезовано цифрові структури ЧІФП, що дозволило реалізувати лінеаризуючі пристрої підвищеної точності. Новизна розробок захищена 8 авторськими свідоцтвами.

5. Запропоновано табличні функціональні перетворювачі (ТФП) зі змінним кроком дискретизації і новий тип ЧІФП на базі ПЗП, на основі яких побудовані багатодіапазонні лінеаризуючі пристрої.

6. Розроблено методику розрахунку, алгоритми та програмне забезпечення для автоматизованого проектування лінеаризуючих пристроїв на ЕОМ.

7. Розроблено методику та програмне забезпечення для автоматизованого градування пірометрів при серійному виробництві.

8. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені і впроваджені блок цифрової обробки інформації пірометрів часткового випромінювання, мікропотужний пристрій лінеаризації характеристик переносних пірометрів комплексу АПР-П та багатодіапазонний цифровий пірометр з розширеними функціональними можливостями для модернізації серійних пірометрів "Смотрич-П".

ОСНОВНИ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ВІДОБРАЖЕНІ В НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

1. Дудыкевич В.Б., Пархуць Л.Т., Стрилецький З.М. Блок цифровой обработки информации переносного пирометра // Республиканская научно-техническая конференция "Структурные методы повышения точности средств и систем автоматизации экспериментальных исследований". Тезисы докладов. - Киев; 1983. - С. 120-121.

2. Дудыкевич В.Б., Пархуць Л.Т., Стрилецький З.М., Засименко В.М., Самченко Г.П. Универсальный переносный пирометр // Пятая Всесоюзная научная конференция "Состояние и перспективы развития средств измерения температуры контактными и бесконтактными методами" (Температура-84). Тезисы докладов, том 2. - Львов, 1984. - С. 72-73.

3. Дудыкевич В.Б., Мычуда З.Р., Пархуць Л.Т. Измерительный преобразователь напряжения в частоту с пониженным энергопотреблением. // Вестник Львовского политехнического института № 198. Львов, изд-во при Львовском государственном университете издат. объединения "Вища школа", 1985. - С. 45-50.

4. Пархуць Л.Т. Покращення метрологічних характеристик переносних пірометрів апаратними методами // Третя науково-технічна конференція "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва". Збірник матеріалів конференції. - Хмельницький, 1995. - С. 66.

5. Пархуць Л.Т., Стрилецький З.М. Цифрові функціональні перетворювачі в лінеаризаторах характеристик пірометричних давачів // Третя науково-технічна конференція "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва". Збірник матеріалів конференції. - Хмельницький, 1995. - С. 144.

6. Пархуць Л.Т., Стрилецький З.М. Структурний метод підвищення

точності та аналіз похибок число-імпульсного помножувача // Вимірювальна техніка та метрологія, Вип.№ 51, Львів.- 1995.- С. 16-19.

7. Пархуць Л.Т., Гордійчук Р.А., Наконечний А.Й. Вимірювач потужності імпульсів інфрачервоного випромінювання // Вісник Державного університету "Львівська політехніка" "Автоматика, вимірювання та керування" № 292.- Львів: 1995.- С. 80-82.

8. Пархуць Л.Т. Табличні функціональні перетворювачі із змінним кроком дискретизації // "Автоматика, вимірювання та керування" Вісник Державного університету "Львівська політехніка".- № 305, Львів: Вища школа, 1996, с.122-125.

9. Пархуць Л.Т., Стрілецький З.М. Дослідження похибок число-імпульсних перетворювачів // Вісник Державного університету "Львівська політехніка" "Автоматика, вимірювання та керування" № 305.- Львів: 1996, с.126-128.

10. А.с. 1170461 СССР, МКИ G06 F15/31. Вычислительное устройство / В.Б.Дудыкевич, З.Ш.Батршин, Л.Т.Пархуць, З.М.Стрилецкий.- Оpubл. 30.07.85, Бюл. № 28.

11. А.с. 1193669 СССР, МКИ G06 F7/544. Цифровой преобразователь элементарных функций / З.Ш.Батршин, В.Б.Дудыкевич, О.Б.Котыло, Л.Т.Пархуць, Стрилецкий З.М.- Оpubл.23.11.85, Бюл. №43.

12. А.с. 1203517 СССР, МКИ G06 F7/552. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, О.Б.Котыло, Л.Т.Пархуць.- Оpubл.07.01.86, Бюл. № 1.

13. А.с. 1205151 СССР, МКИ G06 F15/31. Цифровой функциональный преобразователь / К.А.Глуценко, В.Б.Дудыкевич, О.Б.Котыло, Л.Т.Пархуць.- Оpubл.15.01.86, Бюл.№2.

14. А.с. 1218384 СССР, МКИ G06 F7/548. Устройство для вычисления тригонометрических функций / З.Ш.Батршин, В.Б.Дудыкевич, Л.Т.Пархуць, З.М.Стрилецкий.- Оpubл.15.03.86, Бюл. №10.

15. А.с. 1234849 СССР, МКИ G06 F15/36. Устройство для определения среднего арифметического значения / З.Ш.Батршин, В.Б.Дудыкевич, Р.М.Катарина, Л.Т.Пархуць, З.М.Стрилецкий.- Оpubл.30.05.86, Бюл. № 20.

16. А.с. 1322313 СССР, МКИ G06 F15/36. Устройство для определения среднего арифметического электрических величин / З.Ш.Батршин, В.Б.Дудыкевич, Л.Т.Пархуць, З.М.Стрилецкий, И.В.Маслий.- Оpubл. 07.07.87, Бюл. № 25.

17. А.с. 1383348 СССР, МКИ G06 F7/68. Устройство для цифрочастотного умножения / В.Б.Дудыкевич, Ю.В.Опотяк, В.И.Отенко, Л.Т.Пархуць, Олива Вильяр Пастор (Куба).- Оpubл.23.03.88, Бюл.№11.

АННОТАЦИЯ

Пархуць Л.Т. Улучшение метрологических характеристик переносных пирометров аппаратными средствами.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.11.04-приборы и методы измерения тепловых величин**, Государственный университет «Львовская политехника», Львов, 1997.

Защищается 21 работа, в том числе 5 статей, 8 авторских свидетельств, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований посвященных улучшению метрологических характеристик переносных радиационных пирометров. Предложена новая методика определения и компенсации влияния фонового излучения окружающей среды и средства для ее реализации, позволяющие компенсировать влияние фонового излучения с точностью 0.1%.

Разработаны цифровые устройства для реализации узлов введения коэффициента излучения, учета фонового излучения, линеаризации, определения минимального, максимального и среднего значений измеряемых температур. Разработан и внедрен многодиапазонный цифровой переносной пирометр для измерения температуры от 0 до 1500°C с основной погрешностью не более 1.0%.

Parkhuts L.T.

Dissertation as manuscript for obtaining of the degree of candidate technical sciences, speciality **05.11.04-Devices and methods for measuring thermal values**, State University «Lviv Polytechnic», Lviv, 1997.

Parkhuts L.T. The improvement of metrological characteristics of portable pirometers by hardware.- Manuscript.

Thesis for a Candidate of Science degree in speciality 05.11.04 -devices and methods of thermal quantities measurement.- State University «Lvivska Polytechnica», Lviv, 1997.

21 scientific publications, including 5 articles, 8 author's certificates, which contain theoretical and experimental results of the improvement of metrological characteristics of portable radiational pirometers. The new method for definition and compensation of environmental radiation influence, and devices on the base of this method that compensate environmental radiation influence with the accuracy 0,1%, are defended.

The digital devices for the performance of units of radiation coefficient input, environmental radiation, linearization, definition of minimum, maximum an average values of measured temperature were developed. The basic elements of the linearizer are pulse-numerical functional converters and table functional converters that based on read-only-memory chips. The multirational digital portable pirometer for temperature measurement from 0 to 1500°C with the main error less then 1,0% was elaborated and put into practice.

Ключові слова: пирометр, температура, вимірювання, линеаризація, цифровий, переносний.



Ав 37.161

Підписано до друку 26.02.97р. Формат 60x84/16.
Обсяг 1 друк. арк. Зам. № 0037. Тир. 100.
Львів. Видавничий дім «СОВА»