

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Василиха Христина Василівна



УДК 681.7.08; 536.6.081

**ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ВИПРОБУВАНЬ
СОНЯЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Яцук Василь Олександрович,
професор кафедри «Інформаційно-
вимірювальні технології»
Національного університету
«Львівська політехніка»,
м. Львів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, с.н.с.
Яковлев Максим Юрійович,
заступник начальника Наукового
Центру Сухопутних військ з
наукової роботи
Академії сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного,
м. Львів

кандидат технічних наук, доцент
Рудик Юрій Іванович,
головний науковий співробітник
відділу організації науково-дослідної
діяльності Львівського державного
університету безпеки
життєдіяльності,
м. Львів

Захист відбудеться «30» листопада 2017 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. С.Бандери, 28а, ауд. 713 п'ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «30» жовтня 2017 р.

*Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., доцент*



Т.З. Бубела

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Через суттєвий вплив на довкілля під час використання традиційних енергоносіїв та постійне зростання їх вартості останнім часом значна увага приділяється альтернативній і поновлюваній енергетиці. На сьогоднішній день серед альтернативних джерел енергії провідне місце займає використання сонячної енергії, що пов'язано з її загальною доступністю, екологічністю, практичною невичерпністю. Традиційно перетворювачами сонячної енергії у теплову або електричну є колектори (СК) та батареї.

В провідних країнах світу питома вага альтернативної енергетики постійно зростає і в найближчі роки збільшиться до декількох десятків процентів. За прийнятим урядом України розпорядженням «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» до 2020 року передбачено зростання частки енергії з відновлюваних джерел в кінцевому енергоспоживанні від 1,5 % до 11 %.

На даний час на ринку пропонується велика кількість сонячних батарей і колекторів різних виробників і для коректного вибору їх типу та якості необхідні прості методики та обладнання для проведення їх випробувань. Водночас у міжнародних нормативних документах передбачена трудомістка процедура калібрування використовуваної контрольно-вимірювальної апаратури, що суттєво ускладнює випробування таких перетворювачів. Це стримує удосконалення та розроблення нових конструкцій сонячних перетворювачів українського виробництва. Для вирішення цих питань необхідно внести зміни і доповнення в існуючі стандарти щодо теплових випробувань і визначення теплотехнічної ефективності СК. В удосконалених стандартах передбачатиметься використання метрологічно надійного випробувального обладнання та апробованих методик.

Тому актуальними є завдання вдосконалення метрологічного забезпечення процесів перетворення сонячного випромінювання, підвищення точності, чутливості та стабільності апаратури для вимірювання температури, різниці температур, енергетичних параметрів та ефективності сонячних перетворювачів. Проведені дослідження сприятимуть ширшому впровадженню сонячних установок в Україні, що дозволить зробити наступний крок у зменшенні енергетичної залежності держави та охороні довкілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка»: «Розроблення теоретичних основ і технічних засобів для метрологічного забезпечення і сертифікації випробувань при виробництві і експлуатації промислової продукції». Робота виконувалась в межах держбюджетної теми Міністерства освіти і науки України ДБ/Кібер «Інтеграція методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кібер-фізичних систем», №0115U000446 (термін виконання 01.01.2015 р. – 31.12.2017 р.).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження й удосконалення нормативно-технічної бази та контрольно-вимірювальної апаратури, які застосовуються для лабораторних випробувань сонячних перетворювачів.

Виходячи з поставленої мети визначено наступні завдання у дисертації:

1. Проаналізувати сучасні методи, засоби та нормативні документи щодо випробувань сонячних перетворювачів і сформувані основні аспекти їх вдосконалення із врахуванням можливостей зменшення економічних затрат.

2. Дослідити використання абсолютного радіометра з електричним заміщенням, побудованого на основі прецизійних температурних сенсорів, для вимірювання енергетичних параметрів сонячного випромінювання.

3. На підставі експериментальних досліджень вибрати тип та розробити конструкцію температурних чутливих елементів з необхідними характеристиками, які можуть використовуватись в температурних каналах пристроїв для досліджень сонячних перетворювачів.

4. Розробити та дослідити структуру вимірювача температури з розробленими сенсорами та методику коригування його похибок на місці застосування і під час експлуатації.

5. Розробити та дослідити структуру вимірювача різниці температур з запропонованими сенсорами та опрацювати методику його налагодження з метою коригування адитивних і мультиплікативних складових похибки.

6. Вдосконалити методику випробувань сонячних перетворювачів стосовно визначення теплових характеристик у закритих приміщеннях із застосуванням імітаторів потоку сонячного випромінювання та радіометрів з електричним заміщенням.

Об'єкт дослідження – вимірювання енергетичних параметрів випромінювання, температури і різниці температур під час випробувань сонячних перетворювачів.

Предмет дослідження – методи та засоби покращення нормативно-технічного забезпечення випробувань сонячних перетворювачів.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувались загальнонаукові методи аналізу, порівняння, систематизації, методи збирання та оброблення інформації, метод електричного заміщення для вимірювання електричних параметрів сонячного випромінювання, методи оцінювання якості вимірювань і випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримані такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано в радіометрі з електричним заміщенням застосовувати напівпровідникові термочутливі діоди, які різночасово використовуються як сенсори температури під час сприйняття сонячного опромінювання та як нагрівачі, а потім і сенсори температури під час електричного заміщення, причому в обох випадках сенсори нагріваються відносно температури довкілля на однакове значення, що дає можливість підвищення точності і швидкодії вимірювань.

2. Вдосконалено процедуру коригування похибок цифрового вимірювання різниці температур під час випробувань сонячних перетворювачів, яка полягає у встановленні і запам'ятовуванні нульових показів цифрового термометра під час розміщення обох сенсорів в термостаті при температурі довкілля з подальшим почерговим розміщенням обох сенсорів в термостаті з температурою відмінною від температури довкілля та визначенні і запам'ятовуванні в контролері

мультиплікативних коригувальних коефіцієнтів.

3. Вдосконалено структуру цифрових вимірювачів температури з діодними сенсорами, в якій значення вимірювального струму, напруг зміщення і опорної для АЦП формуються від одного джерела зразкової напруги, що дає можливість взаємно незалежного коригування його показів у двох температурних точках, при 0 °С коригується адитивна складова похибки, яка в подальшому використовується як поправка до усіх результатів перетворень, а в околі максимальної вимірюваної температури встановлюється значення мультиплікативного коригувального коефіцієнта як відношення номінального та отриманого значень кодів, який відповідає цій температурі, що дає змогу підвищити їх точність і метрологічну надійність.

4. Вперше запропоновано коригувати похибку від нелінійності діодних сенсорів в цифрових вимірювачах температури шляхом їх розміщення в термостаті за трьох різних температур, які включають 0 °С та значення приблизно рівні половині і максимальному значенню вимірюваної температури, запам'ятовуванні цих результатів перетворень та процедуру визначення на цій основі параметрів логарифмічних апроксимаційних залежностей сенсорів, які в подальшому використовуються як адитивні поправки до його поточних показів, що забезпечує підвищення їх точності в широкому температурному діапазоні.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Проведені експериментальні дослідження підтверджують ефективність застосування запропонованих температурних сенсорів у радіометрі з електричним заміщенням для випробувань сонячних перетворювачів, а також у таких галузях як харчова промисловість, комунальне і сільське господарство тощо.

2. Запропонована методика вимірювання параметрів сонячного випромінення та визначення теплотехнічної ефективності сонячних перетворювачів у закритих приміщеннях із застосуванням імітатора потоку сонячного випромінення стимулюватиме розроблення нових та удосконалення існуючих конструкцій сонячних колекторів та перетворювачів.

3. Розроблені доповнення до існуючих вітчизняних стандартів в частині теплових випробувань сонячних колекторів дають можливість вітчизняним виробникам сонячних колекторів зменшити собівартість випробувань своєї продукції безпосередньо в Україні.

4. Результати роботи мають вагомим наукове значення і можуть бути використані в програмах навчальних курсів кафедри інформаційно-вимірювальних технологій за спеціальністю «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та за спеціалізаціями: «Метрологічне забезпечення випробувань та якості продукції»; «Якість, стандартизація та сертифікація».

Особистий внесок здобувача. У дисертації використані розробки, ідеї, результати теоретичних і практичних досліджень, що відображені в наукових працях і представлені на конференціях, у роботі яких автор брала безпосередню участь. Зокрема у друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачу належить: [1] – пропозиція у приймачах сонячного випромінення з електричним заміщенням використовувати напівпровідникові перетворювачів температури та платинові термоперетворювачів опору; [2] – проведення експериментальні

дослідження взаємозамінності напівпровідникових перетворювачів температури з метою створення температурних сенсорів та розрахунок коефіцієнта ідеальності та опору бази транзисторних діодів; [3] – проведення експериментальні дослідження температурних сенсорів та розроблення структуру цифрового вимірювача різниці температур на їх основі; [4] – аналіз нормативної документації випробувань сонячних колекторів та пропозиція використання радіометра з електричним заміщенням побудованого на основі температурних сенсорів; [5] – аналіз основних вимог під час випробувань сонячних колекторів з метою їх удосконалення; [6] – аналіз стану нормативно-технічної документації стосовно випробувань сонячних колекторів; [7] – аналіз та пропозиції удосконалення наявних конструкцій радіометра з електричним заміщенням; [8] – аналіз щодо виявлення недоліків контрольно-вимірювальної апаратури для випробувань сонячних колекторів; [9] – аналіз проблем побудови прецизійних вимірювачів температури та різниці температур; [10] – пропозиція використовувати прецизійні платинові термоперетворювачі з метою підвищення точності і стабільності, а також можливості реалізації усереднювального площинного приймача сонячного випромінення; [11] – аналіз метрологічного забезпечення випробувань сонячних колекторів; [12] – розроблення методики оцінювання непевності вимірювання енергетичної освітленості методом електричного заміщення; [13] – порівняльний аналіз прецизійних вимірювачів температури, виготовлених за різними технологіями, здійснено характеристику їх переваг і недоліків; [14] – пропозиція застосовувати системи виявлення та запобігання вторгнень IDPS для захисту отриманих вимірювальних даних під час метрологічних перевірок або калібрувань радіометра з електричним заміщенням; [15] – проведення експериментальних досліджень напівпровідникових перетворювачів температури з метою визначення розкиду характеристик між сенсорами від зразка до зразка; [16] – проведення експериментальних досліджень транзисторів для поверхневого монтажу виготовлених в єдиному технологічному циклі; [17] – проведення експериментальних досліджень напівпровідникових сенсорів температури з метою прецизійного вимірювання температури в радіометрі з електричним заміщенням.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати та положення роботи були представлені та обговорювались на: I Всеукраїнській науково-практичній та студентській конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України» (м. Донецьк, 2011 р.); 69-тій студентській науково-технічній конференції Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології (м. Львів, 2011 р.); II Всеукраїнській науково-практичній та студентській конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України» (м. Донецьк, 2012 р.); VII Міжнародній конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті» (Болгарія, м. Варна, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань» (м. Львів, 2013 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології

«Technical Using of Measurement-2015» (м. Славське, 2015 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів, 2015 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Захист інформації і безпека інформаційних систем» (м. Львів, 2015 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement-2016» (м. Славське, 2016 р.); X Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка» (м. Харків, 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції пам'яті проф. П. Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів, 2017 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, серед них: 3 статті у фахових виданнях України, з них 1 у виданні України, що включене до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 2 статті у періодичних виданнях інших держав, 12 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських та студентських науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із анотації, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 123 найменувань та 7 додатків, містить 203 сторінки друкованого тексту, включає 37 рисунки та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі дослідження. Подано зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність. Представлено об'єкт, предмет та методи дослідження. Наведені дані про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації результатів.

У першому розділі дисертації розглянуто доцільність та ефективність використання сонячних установок враховуючи високий потенціал сонячної енергії в Україні. Проведено аналіз основних технічних параметрів сонячних перетворювачів, які впливають на визначення ефективності таких установок.

Проведений аналіз сучасного стану нормативного забезпечення показав, що існує ряд факторів, що стримує широкомасштабне впровадження та виробництво сонячних установок в Україні. Зокрема – це вимоги поставлені в міжнародних стандартах до контрольно-вимірювальної апаратури для вимірювання сонячного та теплового випромінювання і температури, які є достатньо високими і регламентують трудомістку та тривалу процедуру їх калібрування. Ринок геліотехнічного обладнання потребує паспортизації та сертифікації сонячних перетворювачів, що зумовлює необхідність створення стендового обладнання для комплексних випробувань сонячних перетворювачів відповідно до міжнародних та вітчизняних стандартів та апробацію різних методик випробувань, спрямованих на визначення їх теплотехнічної ефективності, надійності та контроль якості виготовлення.

Зазначено доцільність вдосконалення приймачів сонячного випромінювання, які б з високою точністю і чутливістю вимірювали енергетичні параметри оптичного випромінювання.

У другому розділі викладені особливості проведення випробувань сонячних перетворювачів в умовах близьких до експлуатаційних під час їх опромінення сонцем або в лабораторних умовах з використанням імітаторів відповідно до чинних нормативних документів з метою сертифікації. Зазначено, що одним з найважливіших параметрів, що визначають ефективність сонячних перетворювачів є коефіцієнт корисної дії (ККД), для розрахунку значення якого необхідно використовувати спеціалізоване випробувальне обладнання та удосконалювати і спрощувати процедури вимірювання з метою зменшення економічних затрат. Значення ККД сонячних колекторів розраховується за співвідношенням (1):

$$\eta = \frac{v_m t c_f \Delta T}{A_G G}, \quad (1)$$

де v_m – масова швидкість потоку рідини; c_f – питома теплоємність рідинного теплоносія; ΔT – різниця температур на вході та на виході; t – час вимірювання; A_G – загальна площа колектора; G – загальна поверхнева густина потоку сонячного випромінювання.

Аналіз показав, що вимоги міжнародних стандартів до вимірювання загальної поверхневої густини потоку сонячного випромінювання і температури є достатньо високими і регламентують трудомістку та тривалу процедуру їх калібрування, що суттєво стримує широке практичне впровадження сонячних перетворювачів.

Запропоновано, для досягнення зазначених у нормативних документах вимог щодо процедури вимірювань енергетичних параметрів оптичного випромінювання, структуру вдосконаленого абсолютного радіометра, в якому з метою покращання метрологічних характеристик використано елементи, які різночасово використовуються як нагрівачі, так і температурні сенсори (рисунок 1).

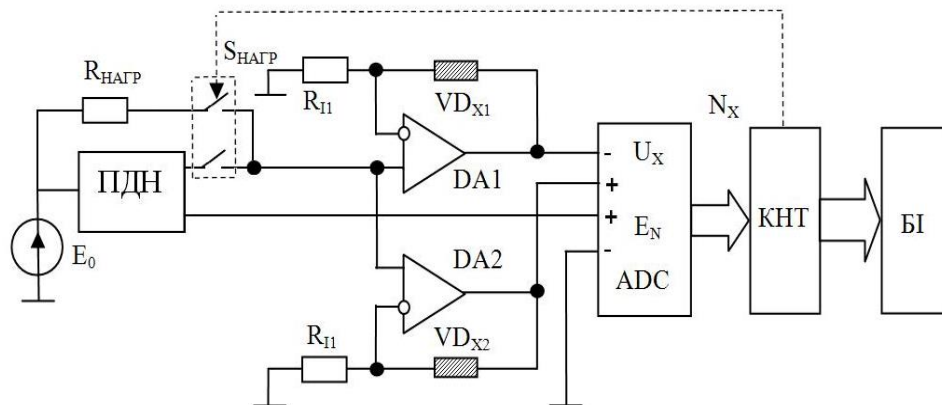


Рисунок 1 – Структура електронної частини радіометра з електричним заміщенням: VD_{X1} – нагрівачі-сенсори температури приймаючої поверхні радіометра; VD_{X2} – сенсори температури довкілля

Принцип роботи радіометра такий: спочатку із відкритою входною діафрагмою для сприйняття сонячного випромінювання нагрівається приймальна поверхня (приблизно на 1–2 К над температурою довкілля), вимірюється різниця її температури та температури довкілля, значення якої фіксується в контролері КНТ; потім відбувається охолодження приймаючої поверхні радіометра до температури

довкільля; в наступному циклі замикається перемикач $S_{\text{НАГР}}$ і через $VD_{\text{Х1}}$ пропускається струм, який розігріває приймаючу поверхню до зафіксованої температури; після чого вхідна діафрагма для сприйняття сонячного випромінювання закривається і приймаюча поверхня охолоджується до температури довкільля.

Конструктивно у приймачі сонячного випромінювання, поглинач якого виконаний на основі конусної моделі абсолютно чорного тіла, на зовнішній поверхні рівномірно можуть бути розташовані n послідовно з'єднаних термоперетворювачів та нагрівачів, і за допомогою яких проводиться електричне заміщення в приймачі. Спеціально сконструйована система керування та електричного заміщення випромінювання (виконана на базі блока керування та калібрування, а також блока напруги електричного заміщення) забезпечуватиме перекриття випромінювання, яке подається в приймач, і подачу електричного сигналу заміщення на обмотки нагрівачів заміщення приймача.

У третьому розділі теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність вибору транзисторних діодів як температурних сенсорів, для подальшого застосування і покращення комплексу технічних характеристик в радіометрах з електричним заміщенням. Основними критеріями при виборі типу сенсора для вимірювання різниці температур в таких приладах є: вартість, точність, масо-габаритні показники, велика швидкодія і діапазон вимірюваних температур.

Аналіз показав, що зазвичай в промисловості, де зосереджена велика кількість технічних вимірювань температури, найширше використовуються стандартні термоелектричні перетворювачі (ТП) і терморезистивні перетворювачі (ТО), а також термістори. Перевагами яких є без сумніву є широкий температурний діапазон, задовільні точність та стабільність характеристик перетворення, основних їх достатньо висока вартість, значна інерційність, суттєвий вплив параметрів ліній зв'язку, великі масо-габаритні показники стримують їх використання в радіометрах. Проте значення їх похибки для вимірювання різниці температур є достатньо великими для ТП – $\pm(3\dots5)$ К і ТО – $\pm 0,3$ К; для термісторів технологічний розкид їх параметрів може сягати $\pm 20\%$. Тому в роботі запропоновано застосовувати напівпровідникові перетворювачі (НПТ), незаперечними перевагами яких є висока чутливість, довгочасна стабільність, мала інерційність, відносно невелика нелінійність, доволі широкий температурний діапазон, можливість точкових вимірювань температури, мала вартість та простота виготовлення.

З метою визначення граничних можливостей НПТ проведено експериментальні дослідження десяти послідовно з'єднаних серійних корпусних транзисторів типу КТ3107Ж зі структурою р-п-р та КТ315Б зі структурою п-р-п, які показали недоцільність їх застосування через властивий їм значний розкид значень спадів напруги за кімнатних температур в межах від 0,6030 В до 0,5730 В. Тому було висунуто теоретичне припущення та експериментально перевірено можливість зменшення розкиду початкових напруг під час використання транзисторів для поверхневого монтажу, які зазвичай виготовлюються в єдиному технологічному циклі, порівняно із традиційними транзисторними діодами для об'ємного монтажу. Для експериментальних досліджень були доволіно вибрані такі типи транзисторів для поверхневого монтажу: BC858C, BC859B, BCW61C (р-п-р типу) та BC849B, BC849C, BC850BE (п-р-п типу). Їх перевагами є малі розміри (від 1 мм до 1,3 мм),

невелика вартість (біля 0,75 грн.), діапазон можливих температур застосування від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. На основі досліджень вибрано транзистори BCW61C (p-n-p структура) та BC849C (n-p-n структура) з найменшим розкидом значень напруг від зразка до зразка висновок. Конструктивно ці НПТ являли собою п'ять послідовно сполучених транзисторних діодів, змонтованих на друкованих платах, з метою захисту від шунтувального впливу рідини їх було вкрито термоусаджувальною плівкою (рисунок 2).

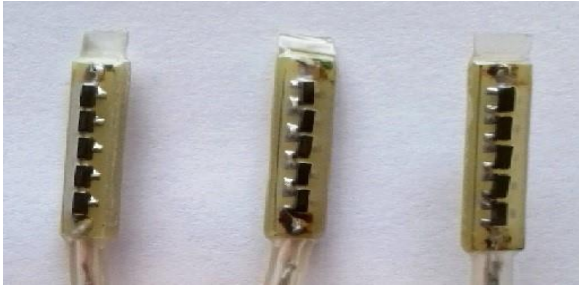


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд транзисторних сенсорів температури

З метою коректного порівняння розкиду характеристик декілька НПТ послідовно включалися в коло генераторів струму та розміщувалися в цифровому прецизійному рідинному термостаті типу ТСР-0105 НО з дискретністю задання значень температури $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Напруги на НПТ та зразкових резисторах вимірювались цифровим мультиметром Picotest з точністю $0,012\%$ за 1 рік та одиницею молодшого розряду в режимі усереднення 1 мкВ . Досліджувані сенсори поміщались в термостат, в якому встановлювались задані значення температури від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ з дискретністю $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для коректного вибору вимірювальних струмів були задані такі їх номінальні значення $0,1\text{ mA}$, 1 mA та $1,9\text{ mA}$.

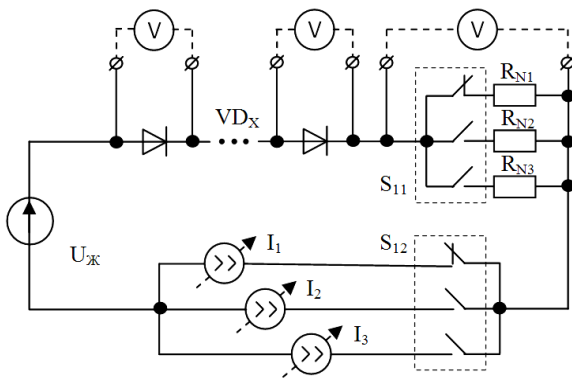


Рисунок 3 – Структурна схема експериментальної устави для дослідження напівпровідникових температурних сенсорів

завадозахищеності та завадостійкості перетворення.

Проведені дослідження показали доцільність використання в НПТ транзисторів типу BCW61C з найменшим розкидом значень спадків напруг від зразка до зразка: $\pm 0,49\text{ мкВ}$ ($\pm 0,049\text{ }^{\circ}\text{C}$) (таблиця 1).

Методика дослідження полягала у вимірюванні спадків напруги на НПТ із зміненням полярності підключення вольтметра та усередненні декількох результатів перетворення. Це дозволило зменшити випадкову та адитивну (зумовлену контактними е.р.с.) складові похибки до значень не більших еквівалентно $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 3 подана структурна схема експериментальної устави для дослідження напівпровідникових температурних сенсорів VD_x , яка містить рідинний термостат, джерело напруги живлення $U_ж$, генератори вимірювальних струмів I_1 , I_2 , I_3 ; перемикачі вимірювальних струмів S_{12} , зразкові резистори R_{N1} , R_{N2} , R_{N3} для контролювання встановлюваних значень вимірювальних струмів, перемикачі зразкових резисторів S_{11} , прецизійний вольтметр V для вимірювання спадків напруг на НПТ та зразкових резисторах. У вимірювальній схемі на рисунку 3 передбачено низку заходів із забезпечення

завадозахищеності та завадостійкості перетворення.

Експериментально встановлений розкид значень спадків напруги на НПТ ΔU_{bei} визначався співвідношенням (2):

$$\Delta U_{\text{bei}} = U_{\text{bei}} - \Delta U_{\text{ср.bei}}, \quad (2)$$

де U_{bei} – спадки напруги на р-п переходах НПТ і-того сенсора; $U_{\text{ср.bei}}$ – середнє значення спадків напруги на р-п переходах НПТ і-того сенсора.

Таблиця 1 – Експериментально встановлені розкиди спадків напруг для сенсорів типу BCW61C при $I_1=1\text{mA}$ в діапазоні вимірювання $(0\dots+80)^\circ\text{C}$

№	ΔU_{bei}									
	Темп. 0 °C		Темп. 20 °C		Темп. 40 °C		Темп. 60 °C		Темп. 80 °C	
	мВ	°C	мВ	°C	мВ	°C	мВ	°C	мВ	°C
1	0,15	0,015	0,04	0,004	-0,11	-0,011	-0,16	-0,016	-0,08	-0,008
2	-0,32	-0,032	-0,37	-0,037	-0,46	-0,046	-0,48	-0,048	-0,47	-0,047
3	0,39	0,039	0,46	0,046	0,43	0,043	0,46	0,046	0,45	0,045
4	-0,42	-0,042	-0,35	-0,035	-0,2	-0,02	-0,19	-0,019	-0,14	-0,014
5	0,1	0,01	0,12	0,012	0,15	0,015	0,2	0,02	0,21	0,021
6	-0,01	-0,001	0,005	0,0005	-0,03	-0,003	0	0	-0,08	-0,008
7	0,01	0,001	0,005	0,0005	0,11	0,011	0,25	0,025	0,27	0,027
8	0,01	0,001	-0,005	-0,0005	-0,07	-0,007	-0,1	-0,01	-0,14	-0,014
9	0,09	0,009	0,09	0,009	0,18	0,018	0,03	0,003	-0,03	-0,003

Аналіз результатів вимірювань спадів напруг на кожному із дев'яти сенсорів типу BCW61C при протіканні трьох вимірювальних струмів (0,1 мА, 1 мА та 1,9 мА) показав, що розкиди цих середніх значень є практично температурно незалежні. Для усіх встановлюваних значень вимірювальних струмів розкид знаходився у межах $\pm 0,004^\circ\text{C}$. Також експериментально встановлено, що максимальний розкид температурних залежностей НПТ не перевищує $\pm 0,05^\circ\text{C}$ у всьому вимірювальному діапазоні від 0°C до $+80^\circ\text{C}$ (рисунок 4).

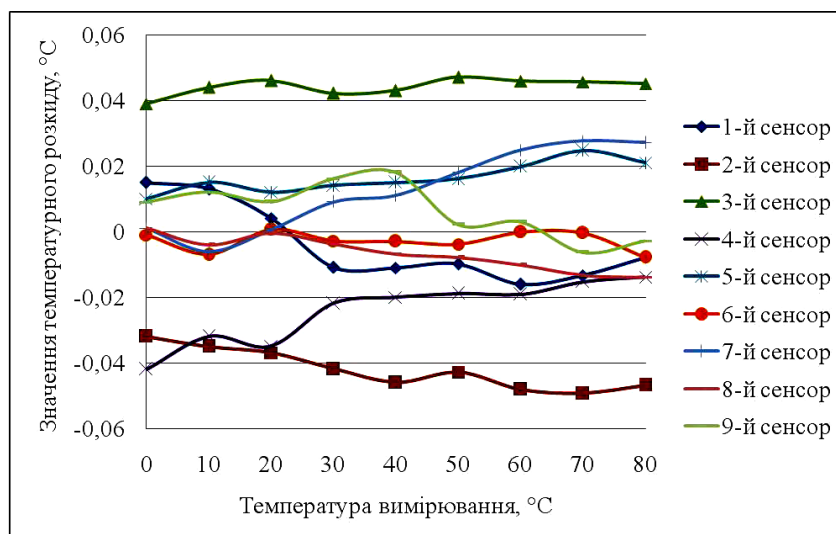


Рисунок 4 – Розкид між характеристиками дев'яти сенсорів типу BCW61C в залежності від температури вимірювання для $I_1=1\text{mA}$

Встановлено, що в структурі прецизійних вимірювачів різниці температур слід використовувати калібрувальні елементи. Структура розроблених цифрових вимірювачів різниці температур (рисунок 5) основана на використанні АЦП з диференціальними входами, до яких подано сигнали з виходів генераторів струму DA1 та DA2.

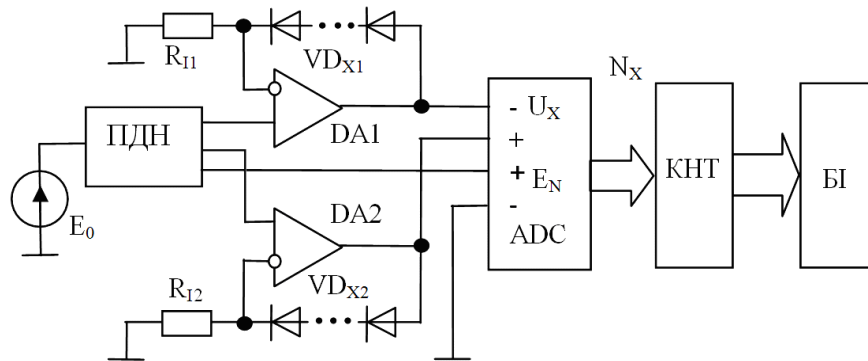


Рисунок 5 – Структурна схема цифрового вимірювача різниці температур

Опорна для АЦП напруга формується подільником ПДН, який складається з резистивного подільника з послідовно сполучених прецизійних резисторів R_{N1} , R_{N2} та змінного резистора R_p . Код результату вимірювання різниці температур визначається співвідношенням (3):

$$N_x = k_{ADC} \frac{U_{x1} - U_{x2}}{E_N \frac{R_{N2} + r}{R_{N1} + R_p - r}}, \quad (3)$$

де R_{N1} , R_{N2} – опори стабільних масштабувальних резисторів подільника напруги; R_{I1} , R_{I2} – опори струмозадавальних резисторів; R_p – повний опір підстроювального резистора; r – частина опору резистора R_p , яка знаходиться між його движком та резистором R_N .

В процесі виготовлення можна скоригувати значення як адитивної, так і мультиплікативної складових похибки при двох значеннях температури. Коригування адитивної складової похибки зручно здійснювати загалом при довільному значенні температури, наприклад, рівному температурі довкілля, а для коригування мультиплікативної складової похибки доцільно використовувати еталонний вимірювач, змінюючи відповідно коефіцієнт перетворення будь-якого з масштабувальних елементів тракту перетворення.

З урахуванням поданого вище розроблена структура цифрового вимірювача температури (ЦВТ) (рисунок 6), яка містить генератор струму на основі операційного підсилювача (ОП) DA1, струмозадавального резистора R_1 та джерела опорної напруги (ДОН) E_N . Вихідний сигнал ОП DA1 подається до інвертувального входу АЦП, до неінвертувального входу якого поданий сигнал з виходу ОП DA2, значення якого повинно бути рівним спадку напруги на НПТ за температури $T_0=273,15$ К. Опорна напруга для АЦП формується з напруги ДОН E_N шляхом її поділу резистивним подільником R_1 , R_3 .

Цифровий код N_x результату вимірювання подається співвідношенням (4):

$$N_x = k_{ADC} \frac{U_x - E_N (R_{N2} + r_1) / (R_{N1} + R_p - r_1)}{E_N (R_{N1} + r_2) / (R_3 + R_2 - r_2)}, \quad (4)$$

де k_{ADC} – коефіцієнт перетворення АЦП; R_{N1} , R_{N2} , R_1 , R_3 – опори стабільних масштабувальних резисторів; R_p , R_2 – повні опори підстроювальних резисторів; r_1 – частина опору резистора R_p , яка знаходиться між його движком та резистором R_{N2} ; r_2 – частина опору резистора R_2 , яка знаходиться між його движком та резистором R_1 ; E_N – значення вихідної напруги ДОН.

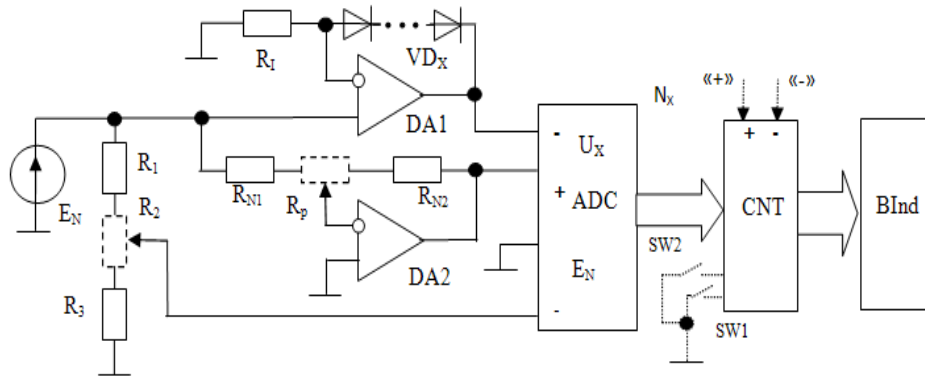


Рисунок 6 – Структурна схема цифрового вимірювача температури

З метою забезпечення встановлених вимогам до точності вимірювання температури при одночасному послабленні вимог до інструментальних похибок використовуваної елементної бази в вимірювачі температури доцільно використовувати метод уведення поправок. Під час його реалізації в аналоговій формі в структурі ЦВТ повинні бути підстроювальні резистори R_p , R_2 (на рисунку 6 вони показані штриховими лініями). Методика калібрування полягатиме у виконанні таких операцій. НПТ поміщаються в нуль-термостат та після встановлення в ньому температури $0\text{ }^\circ\text{C}$ з допомогою змінного резистора R_p на цифровому табло BInd встановлюються нульові покази ЦВТ. У результаті буде скоригована АСП усього термометра як НПТ, так і ЦВТ до значень одиниці його молодшого розряду. З метою коригування мультиплікативної складової похибки (МСП) термометра сенсор поміщається в термостат із стабільною температурою, значення якої вимірюється прецизійним термометром. Зміною опору підстроювального резистора R_2 досягають встановлення показів ЦВТ рівним показам прецизійного термометра. Для цього значення калібрувальної температури похибка ЦВТ не перевищуватиме суми похибок прецизійного термометра та одиниці молодшого розряду ЦВТ. Очевидними недоліками такого калібрування є його практична незручність та необхідність залучення достатньо кваліфікованих операторів.

Найдоцільніше реалізувати калібрування ЦВТ в цифровій формі, особливістю якої є використання в контролері реверсних лічильників, органи керування якими представлені у вигляді кнопок SW1 та SW2 (на рисунку 6 зображені штриховими лініями), конструктивно виведених на корпус вимірювача, що дозволяє шляхом їх вмикання збільшувати або зменшувати вміст лічильника результату з допомогою пари кнопок «+» і «-». За умови використання зразкового термометра на місці експлуатації можна скоригувати як адитивну так і мультиплікативну складові

похибки вимірювача з похибками, значення яких буде таким самим як і в попередньому випадку.

Запропоновано таку методику калібрування термометрів. Для кожного із сенсорів та кожного із вимірювальних струмів визначаються спадки напруг U_{i0} та U_{iclb} при встановлених в термостаті калібрувальних температурах $\theta_0=0^\circ\text{C}$ та $\theta_{clb}=70^\circ\text{C}$ та обчислюються різниці напруг (5):

$$\Delta U_{iclb} = U_{i0} - U_{iclb} \quad (5)$$

Калібрувальні коефіцієнти α_{iclb} визначаються як відношення (6):

$$\alpha_{iclb} = \frac{\Delta U_{iclb}}{\theta_{clb}} \quad (6)$$

Експериментально встановлені значення похибок від нелінійності характеристики перетворення $\Delta_{інл}$ подаються співвідношеннями (7):

$$\Delta_{інл} = \frac{\Delta U_{ix}}{\alpha_{iclb}} - \theta_{jx}, \quad (7)$$

де ΔU_{ix} – різниця між спадками напруг за поточної температури θ_{jx} та 0°C ; θ_{jx} – значення встановлюваного в термостаті значення температури.

Похибки вимірювання температури при калібруванні дев'яти транзисторів типу BCW61C, представлені на рисунку 7. В діапазоні вимірюваних температур від 0°C

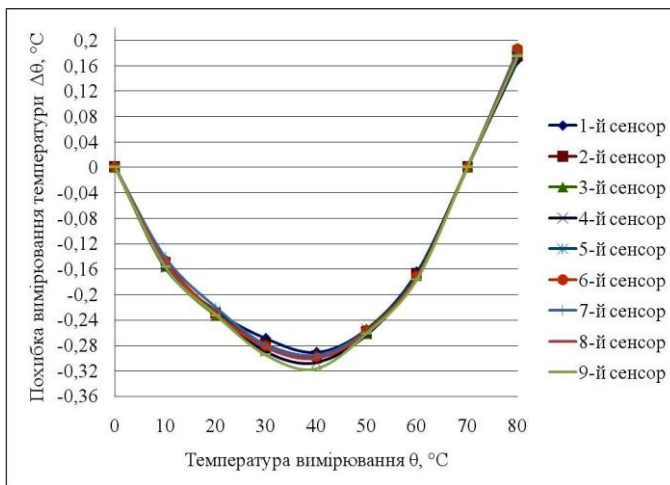


Рисунок 7 – Графічна залежність похибки вимірювання температури для дев'яти НПТ при вимірювальному струмі $I_1=1\text{ мА}$

до $+80^\circ\text{C}$, за умови, що значення другої калібрувальної температури становить $+70^\circ\text{C}$. З аналізу поданої графічної залежності (рисунок 7) стає очевидним, максимальні значення похибки від нелінійності є посередині між обома калібрувальними температурами та за максимального значення вимірюваної температури. З метою коригування її значення запропоновано апроксимувати цю залежність функцією властивою для р-п переходів, визначити параметри за експериментальними даними та увести її до результатів вимірювання як поправку. Оскільки сучасні ЦТ можна реалізувати на базі контролерів із значними обчислювальними можли-

востями, то розрахунок такої поправки не є складною технічною задачею.

Температурну залежність похибки від нелінійності у вимірювальному діапазоні пропонуємо апроксимувати логарифмічною залежністю з урахуванням умов рівності нулю її значень для обох калібрувальних температур (8):

$$\Delta_{інл} = m\eta_i \left[\frac{\theta_x}{\theta_{clb}} \cdot \frac{kT_{clb}}{q} \cdot \ln \frac{T_{clb}}{T_0} - \frac{kT_x}{q} \cdot \ln \frac{T_x}{T_0} \right], \quad (8)$$

де k , q – стала Больцмана та заряд електрона відповідно; $T_0=273,15\text{ К}$ – температура

першої точки калібрування; $T_{clb}=343,15$ К – температура другої точки калібрування; T_x – поточна температура в термостаті; η_i – коефіцієнт неідеальності НПТ; m – кількість транзисторних діодів в НПТ.

З рівняння (8) апроксимаційної залежності похибки від нелінійності $\Delta_{i_{in}}$ знаходимо значення коефіцієнта η_i за експериментальними даними при 30 °С (9):

$$\eta_i = \frac{\Delta_{i_{in}}}{5 \left[\frac{\theta_x}{\theta_{clb}} \cdot \frac{kT_{clb}}{q} \cdot \ln \frac{T_{clb}}{T_0} - \frac{kT_x}{q} \cdot \ln \frac{T_x}{T_0} \right]} \quad (9)$$

Для перевірки отриманих результатів знайшли різницю між розрахованою та експериментально визначеною похибкою від нелінійності. Ця різниця виявилась нульовою для усіх встановлюваних в термостаті значень температури в усьому діапазоні (0 ... +80) °С, що свідчить про коректність запропонованої методики коригування похибки від нелінійності НПТ.

Запропоновані методики калібрування цифрових вимірювачів можуть бути реалізовані програмними способами. Апаратно при цьому може використовуватися лише декілька клавіш для уведення інформації про ознаку калібрувальної величини.

У четвертому розділі уточнено математичні моделі трасдіодних сенсорів температури, цифрових вимірювачів температури і різниці температур, а також проаналізовано непевності за типом В радіометра з електричним заміщенням та процедури визначення ККД сонячних перетворювачів.

Встановлено, що основною проблемою побудови прецизійних та метрологічно надійних напівпровідникових сенсорів температури є забезпечення взаємозамінності їх характеристик, тому на підставі зробленого аналізу показано практичну доцільність використання методу попереднього відбору транзисторів та статистичного усереднення їх характеристик завдяки послідовному сполученню з подальшим коригуванням їх похибок в декількох температурних точках і врахуванням їх індивідуальних характеристик у вторинному приладі (апаратним чи програмним способом).

Отримано математичну модель відносної похибки δ_{U_d} відхилення спаду напруги на транздіодних сенсорах від середнього значення як (10):

$$\delta_{U_d} = \frac{m I_n R_{BДc}}{U_{dc}} \left[\delta_I + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_{R_{BДi}} \right] + \frac{m \varphi_T}{U_{dc}} \left[\delta_I + (C_{1c} - D_{1c}) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\delta_{I_{SDi}} + C_{2i}) \right], \quad (10)$$

де U_{dc} – спадок напруги на р-п переході; $I_n R_{BДc}$ – спад напруги на еквівалентному опорі бази; $\varphi_T = kT_x/q$ – температурний потенціал; T_x – температура р-п переходу; $\delta_{I_{SD}}$, δ_{I_R} – відповідно розкид параметрів еквівалентного теплового струму I_{SD} і струму рекомбінації I_R відносно їх середніх значень; $C_{1c} = I_{SDc} + I_{Rc}/I_H$;

$$C_{2i} = I_{SDc} \delta_{I_{SDi}} - I_{SDc} \delta_I + I_{Rc} \delta_{I_{Ri}} - I_{Rc} \delta_I / I_H; \quad D_{1c} = \sqrt{I_{Rc}^2 / I_{SDc} \cdot I_H}.$$

Запропоновано налаштовувати функцію перетворення прецизійних вимірювачів різниці температур в двох температурних точках, однією з яких може бути довільна температура всередині допустимого температурного діапазону вимірювань, а другою температура, значення якої відрізняється від температури першої точки приблизно на максимальне значення діапазону вимірювання різниці температур.

Запропоновано використовувати метод уніфікації функцій перетворення цифрових напівпровідникових термометрів, оснований на знаходженні коду результату вимірювання як різниці кодами при поточному вимірюваному значенні температури та зразковій температурі 0°C та її домножування на поправковий мультиплікативний коефіцієнт, значення якого розраховане за кодом, що відповідає другому зразковому значенню температури, яке знаходяться всередині діапазону вимірювань в околі її максимальних значень. Запропоновано процедуру коригування нелінійної складової похибки прецизійних цифрових вимірювачів температури, яка полягає у використанні поправки до поточних вимірюваних значень температури, значення параметрів якої розраховується за логарифмічною функцією та з використанням третього зразкового значення температури.

Встановлено, що під час побудови цифрових вимірювачів різниці температур (ЦВРТ) основним чинником похибки є неоднаковість функцій перетворення температурних сенсорів. Код результату перетворення АЦП дорівнюватиме (11):

$$N_x = k_{AD} \{U_{BX}^+ - U_{BX}^-\} = k_{AD} [-(\alpha_2 \theta_{X2} - \alpha_1 \theta_{X1}) + \Delta a_e] \quad (11)$$

де $\Delta a_e = \Delta \varphi_{T21} + \Delta U_{X0} + \Delta e_{21}$ – еквівалентна адитивна складова похибки (АСП) ЦВРТ;

$\Delta \varphi_{T21} = \varphi_{T2} \ln \frac{I_{X2}}{I_{S02}} - \varphi_{T1} \ln \frac{I_{X1}}{I_{S01}}$; $\Delta U_{X0} = U_{X02} - U_{X01}$ – АСП через розкид значень

початкових напруг U_{X01} , U_{X02} обидвох сенсорів VD1 та VD2; $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 10$ мВ/°С – температурні коефіцієнти напруги обидвох діодних сенсорів; $\Delta e_{21} = e_2 + e_{B2} - e_1 - e_{B1} + (I_{X2} R_{X2} + I_{BX2} R_{N22}) - (I_{X1} R_{X1} + I_{BX1} R_{N11})$ – еквівалентна АСП, зумовлена напругами зміщення та вхідними струмами обидвох ОП.

Як показав проведений аналіз, в процесі реалізації цифрових вимірювачів різниці температур основними чинниками їх похибки є неоднаковість функцій перетворення температурних сенсорів, АСП і мультиплікативної складової похибки (МСП) використаної елементної бази. В процесі виготовлення слід скоригувати значення як адитивної, так і мультиплікативної складових похибки при двох значеннях температури. Коригування адитивної складової похибки зручно здійснювати загалом при довільному значенні температури, наприклад, рівному температурі доквілля, а для коригування мультиплікативної складової похибки доцільно використовувати еталонний вимірювач, змінюючи відповідно коефіцієнт перетворення будь-якого з масштабувальних елементів тракту перетворення, або введення поправкового множника. Тому, очевидно, в структурі прецизійних вимірювачів різниці температур слід використовувати калібрувальні елементи.

Встановлено, що на етапі проектування радіометра з електричним заміщенням слід оцінювати тільки непевності за типом В, оскільки ще немає результатів вимірювань. Як було зазначено вище для побудови радіометрів доцільно використати метод електричного заміщення, якому властиві такі основні фактори непевностей як: методична непевність електричного заміщення та непевність вимірювання різниці температур під час електричного заміщення. Зроблений аналіз показує, що значення методичної непевності електричного заміщення може становити десяті частки відсотка ($\leq \pm 0,5\%$). Непевність вимірювання різниці температур залежатиме від таких факторів як розкид параметрів сенсорів від зразка

до зразка, нагрівання сенсорів вимірювальним струмом та непевності, зумовлені ЦВРТ - АСП і МСП використаної елементної бази (співвідношення 11).

В процесі виготовлення доцільно скоригувати значення адитивної складової похибки при певній однаковій температурі обидвох сенсорів температури. Коригування адитивної складової похибки зручно здійснювати загалом при довільному значенні температури, наприклад, рівному температурі довкілля. Нескориговане значення АСП ЦВРТ не перевищуватиме $\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}/1,5 \text{ }^\circ\text{C} = 0,67 \text{ } \%$. Тоді комбінована (сумарна) стандартна непевність радіометра з електричним заміщенням, отже й загальної поверхневої густини потоку сонячного випромінювання, складатиме $u_c(X) = \sqrt{0,67^2 + 0,5^2} = \sqrt{0,6989} = 0,84 \text{ } \%$, а розширена відносна непевність ($p=0,95$, $k_{0,95}=1,96$) $u_p(X) = 1,96 \cdot 0,84 \text{ } \% = 1,64 \text{ } \%$.

При оцінюванні стандартної непевності за типом В $u_B(\eta)$ результату визначення ККД слід врахувати всі складові рівняння (1). В результаті, комбінована (сумарна) стандартна непевність визначення ККД складатиме $u_c(\eta) = \sqrt{u_B^2(v_m) \cdot C_{v_m}^2 + u_B^2(c_f) \cdot C_{c_f}^2 + u_B^2(\Delta T) \cdot C_{\Delta T}^2 + u_B^2(t) \cdot C_t^2 + u_B^2(A_G) \cdot C_{A_G}^2 + u_B^2(G) \cdot C_G^2} = 2,61 \text{ } \%$, а розширена відносна непевність ($p=0,95$, $k_{0,95}=1,96$) $U_p(\eta) = k_p \cdot u_c(\eta) = 1,96 \cdot 2,61 \text{ } \% = 5,12 \text{ } \%$.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних у цій роботі досліджень, спрямованих на розв'язання актуальної науково-практичної задачі вдосконалення нормативно-технічної бази випробувань сонячних перетворювачів, отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проаналізовано сучасні методи та засоби випробувань сонячних перетворювачів, стан їх нормативного забезпечення і наявну контрольну-вимірювальну апаратуру для випробувань сонячних елементів та колекторів та встановлено, що через трудомісткість, складність та вартісність процедур випробувань суттєво стримується широке впровадження геліотехнічного обладнання.

2. Запропоновано шляхи покращення комплексу технічних характеристик абсолютного радіометра з електричним заміщенням для вимірювання енергетичних параметрів сонячного випромінювання, побудованого на основі конструктивно суміщених нагрівачів і прецизійних температурних сенсорів, в якому розділено в часі процедури нагрівання приймальної поверхні під час електричного заміщення та вимірювання значення отримуваної різниці температур, що дає можливість в декілька разів зменшити методичні похибки.

3. На підставі експериментальних досліджень вибрано тип чутливих елементів на базі планарних серійних транзисторів та розроблено конструкцію сенсорів з використанням послідовного сполучення декількох транзисторних діодів, які доцільно використовувати в температурних каналах пристроїв для досліджень сонячних перетворювачів, що дає можливість збільшення чутливості перетворення за одночасного зменшення технологічних розкидів до $\pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ та спрощення вторинних приладів.

4. Розроблено структуру вимірювача різниці температур з досліджуваними сенсорами. Її новизною є відсутність окремого прецизійного підсилювального елемента, що дозволяє створювати точні переносні прилади в базисі сучасних мікроелектронних компонентів. Запропоновано здійснювати калібрування цього вимірювача за довільної температури в діапазоні вимірювання за умови забезпечення однаковості температур обох сенсорів. Після калібрування оцінюване значення похибки вимірювача різниці температур не перевищуватиме $\pm 0,02$ °C у всьому вимірювальному діапазоні.

5. Запропоновано використовувати метод уніфікації функцій перетворення цифрових напівпровідникових вимірювачів температури, оснований на знаходженні коду результату вимірювання як різниці між кодами при поточному вимірюваному значенні температури та зразковій температурі 0 °C та його домножування на поправковий мультиплікативний коефіцієнт, значення якого розраховане за кодом, що відповідає другому зразковому значенню температури, яке знаходяться всередині діапазону вимірювань в околі її максимальних значень.

6. Розроблено методику коригування нелінійної складової похибки у всьому вимірювальному діапазоні, в основу якої покладено визначення параметрів апроксимаційних логарифмічних залежностей сенсорів на основі експериментальних даних при трьох зразкових значеннях температури, що дозволяє зменшити похибку вимірювання температури в діапазоні від -20 до +120 °C до значень менших від $\pm 0,1$ °C.

7. Вдосконалено методику випробувань сонячних перетворювачів стосовно визначення теплових характеристик у закритих приміщеннях із застосуванням імітаторів потоку сонячного випромінення, радіометрів з електричним заміщенням та прецизійних вимірювачів температури і різниці температур.

8. Проаналізовано непевності за типом B радіометра з електричним заміщенням, та процедури визначення ККД сонячних перетворювачів. Це дозволить здешевити процедуру випробувань і сприятиме широкомасштабному впровадженню сонячних установок в Україні для зменшення її енергетичної залежності та охорони довкілля.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Серкез Х.В. Покращення характеристик приймачів сонячного випромінення з електричним заміщенням / Х.В. Серкез., В.О. Яцук, Ю.В. Яцук // Вісник Нац-ного ун-ту «Львівська політехніка» «Автоматика, вимірювання та керування». – Львів, Вид-во НУ «ЛП», 2013. - Вип. 753.– С. 25 – 30.

2. Василюха Х.В. Вдосконалення цифрових термометричних засобів для досліджень сонячних колекторів / Х.В. Василюха, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.Б. Здеб // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Вимірювальна техніка та метрологія» (ISSN 0368-6418) – Львів, Вид-во НУ «ЛП», – №77, – 2016. – С. 70 – 79.

3. Vasylykha Kh. Experimental studies of temperature channel efficiency for solar energy systems / Kh. Vasylykha, Yu. Yatsuk, V. Zdeb, V. Yatsuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (ISSN 1729-3774). –3/8 (87), 2017. – P. 10-16.

4. Серкез Х.В. Метрологическое обеспечение измерений энергетических параметров солнечного излучения при испытаниях солнечных коллекторов / Х.В. Серкез, В.А. Яцук // Международный журнал «Устойчивое развитие» (ISSN 1314-4138), техн. ун-т Варна, Болгария, май, 2013. – №7. – С. 45-49.

5. Serkez Kh. Metrological assurance of the sun energy collector testing / V. Yatsuk, P. Stolyarchuk, M. Mykujchuk, Kh. Serkez, R. Dyak, T. Oleskiv // Pomiry, Automatyka, Kontrola. — Vol. 59. — Nr 9/2013. — Pp. 901-905.

6. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення вимірювань різниці температур під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної та студентської конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України», 24-26 травня 2011 р. – Донецьк : Дон. НТУ, 2011. – 344 с. – С. 251-254.

7. Серкез Х.В. Шляхи вдосконалення блоку вимірювання різниці температур абсолютного радіометра енергетичної освітленості./ Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Збірник тез доповідей 69-тої студентської науково-технічної конференції Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, 17-21 жовтня 2011 р. – Львів: НУ «ЛП», 2011. – С. 55-57.

8. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення температурних вимірювань під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної та студентської конференції за напрямком «Проблеми розвитку та впровадження системи управління стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України», 3-5 травня 2012 р.– Донецьк : Дон. НТУ, 2012. – С. 80-82.

9. Серкез Х.В. Особливості вимірювання різниці температур під час випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, Т.М. Олесків // Матеріали VII Міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті», 8-15 червня 2012 р. Том II. – Дніпропетровськ-Варна, 2012. – С. 186-188.

10. Серкез Х.В. Покращення характеристик приймачів сонячного випромінювання з електричним заміщенням / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22-24 травня 2013 р. – Львів : НУ «ЛП», 2013. – С. 252-254.

11. Серкез Х.В. Метрологічне забезпечення випробувань сонячних колекторів / Х.В. Серкез, В.О. Яцук, П.Г. Столярчук, М.М. Микійчук, Р.П. Дяк, Т.М. Олесків // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань», 23-27 травня 2013 р. – Львів: НУ «ЛП», 2013. – С. 150.

12. Серкез Х.В. Оцінювання непевності вимірювання енергетичної освітленості методом електричного заміщення / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // збірник матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement-2015», 2- 6 лютого 2015 р. – Київ: Академія метрології України, 2015. – С. 101-102.

13. Серкез Х.В. Стан і тенденції розвитку прецизійних вимірювачів температури під час випробувань сонячних колекторів /Х.В. Серкез, В.О. Яцук,

Ю.А. Лапченко // Збірник тез доповідей II Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 28-30 травня 2015 р. – Львів : НУ «ЛП», 2015. – С. 217-219.

14. Серкез Х.В. Аналіз системи виявлення та запобігання вторгнень для роботи з радіометрами / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Захист інформації і безпека інформаційних систем», 04-05 червня 2015 р. – Львів: Українська академія друкарства, 2015. – С. 201.

15. Серкез Х.В. Дослідження взаємозамінності характеристик напівпровідникових сенсорів для вимірювання різниці температур під час випробувань сонячних перетворювачів / Х.В. Серкез, Ю.В. Яцук, А.Г. Павельчак // Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement-2016», 1- 5 лютого 2016 р.– Київ: Академія метрології України, 2016. – С. 70-71.

16. Серкез Х.В. Дослідження діодних сенсорів температури для застосування в абсолютному радіометрі з електричним заміщенням / Х.В. Серкез, В.О. Яцук // Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка», 5- 7 жовтня 2016 р. – Харків, 2016. – С. 125.

17. Василюха Х.В. Експериментальні дослідження напівпровідникових сенсорів для цифрових вимірювачів різниці температур / Х.В. Василюха, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.Б. Здеб // Збірник тез доповідей III Міжнар. наук.-практ. конф. пам'яті проф. П. Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 11-12 травня 2017 р. – Львів: НУ «ЛП», 2017. – С. 150-151.

АНОТАЦІЯ

Василюха Х.В. Вдосконалення нормативно-технічної бази випробувань сонячних перетворювачів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена вдосконаленню нормативно-технічного забезпечення випробувань сонячних перетворювачів. Запропоновано шляхи вдосконалення радіометра з електричним заміщенням для теплових випробувань і визначення ефективності сонячних колекторів. Для покращення комплексу технічних характеристик такого обладнання запропоновано застосовувати напівпровідникові термочутливі діоди, які різночасово використовуються як сенсори температури під час сприйняття сонячного опромінення та як нагрівачі. На підставі експериментальних досліджень вибрано тип планарних транзисторів та розроблено конструкцію сенсорів, які можуть використовуватись в температурних каналах пристроїв для досліджень сонячних систем. Розроблено структуру цифрового вимірювача різниці температури з досліджуваними сенсорами. Запропоновано здійснити калібрування цього вимірювача за будь-якої температури в діапазоні вимірювання та забезпеченні однаковості температур обох сенсорів. Розроблено методику коригування нелінійної складової похибки у всьому вимірювальному діапазоні, в основу якої покладено визначення параметрів апроксимаційних

залежностей сенсорів на основі експериментальних даних. Вдосконалено методику випробувань сонячних перетворювачів стосовно визначення теплових характеристик у закритих приміщеннях із застосуванням імітаторів потоку сонячного випромінювання та радіометрів з електричним заміщенням.

Ключові слова: сонячний колектор, радіометр з електричним заміщенням, напівпровідниковий перетворювач температури, вимірювач різниці температури, калібрування термометрів, метод уніфікації, методика випробувань сонячних перетворювачів.

АННОТАЦИЯ

Василиха Х.В. Совершенствование нормативно-технической базы испытаний солнечных преобразователей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена совершенствованию нормативно-технического обеспечения испытаний солнечных преобразователей. Предложены пути совершенствования радиометра с электрическим замещением для тепловых испытаний и определения эффективности солнечных коллекторов. Для улучшения комплекса технических характеристик такого оборудования предложено применять полупроводниковые термочувствительные диоды, которые одновременно используются как датчики температуры при восприятии солнечного облучения и как нагреватели. На основании экспериментальных исследований выбрано тип планарных транзисторов и разработана конструкция сенсоров, которые могут использоваться в температурных каналах устройств для исследований солнечных систем. Разработана структура цифрового измерителя разности температуры с исследуемыми сенсорами. Предложено осуществить калибрование этого измерителя при любой температуре в диапазоне измерения и обеспечении единообразия температур обоих сенсоров. Разработана методика корректировки нелинейной составляющей погрешности во всем измерительном диапазоне, в основу которой положено определение параметров аппроксимационных зависимостей сенсоров на основе экспериментальных данных. Усовершенствована методика испытаний солнечных преобразователей относительно определения тепловых характеристик в закрытых помещениях с применением имитаторов потока солнечного излучения и радиометров с электрическим замещением.

Ключевые слова: солнечный коллектор, радиометр с электрическим замещением, полупроводниковый преобразователь температуры, измеритель разности температуры, калибрование термометров, метод унификаций, методика испытаний солнечных преобразователей.

ANNOTATION

Vasylykha Kh.V. Improvement of the normative and technical basis of tests of solar converters. - On the rights of manuscript.

The thesis for a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences by specialty

05.01.02 - Standardization, Certification and Metrological Assurance. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

This thesis is devoted to improving the normative and technical support of testing of solar converters. The methods to improve the thermal test radiometer with electric substitution and determine the efficiency of solar collectors are proposed. The methods to improve the thermal test equipment and determine the efficiency of solar collectors are proposed. To improve the performance specifications of such equipment, it is proposed to use highly sensitive semiconductor sensors. Based on experimental studies, planar transistors are chosen and sensors that can be used in temperature channels of devices for solar system studies are designed. Series connection of several transistor diodes enables an increase in sensitivity while reducing technological variations and simplifying secondary devices. The experimental studies have shown that the maximum temperature characteristics variation of the nine studied sensors does not exceed ± 0.06 °C throughout the measuring range of 0 °C to +80 °C.

The structure of a digital temperature difference meter with the studied sensors is designed. The temperature difference meter circuit is based on two current-to-voltage converters, in the feedback of which temperature sensors are enabled. By using a single reference voltage source, the same currents will flow through the sensors. The output signals of both converters are equal to voltage drops on the sensors and are fed to the differential inputs of the ADC, which provides a source code proportional to the measured temperature difference. The meter calibration at any temperature in the measuring range while ensuring the temperature uniformity of both sensors is proposed. After calibration, the estimated error value of the temperature difference meter does not exceed ± 0.1 °C throughout the measuring range.

The calibration method of precision digital thermometers with the designed sensors in two temperature points is proposed. At 0 °C, the thermometer additive error is determined, which is later used as a correction to all measuring results. The multiplier factor value is expedient to determine near the maximum measured temperature as the ratio of the nominal and the resulting values of the code that matches the calibration temperature. A method for adjusting a nonlinear error component in the whole measuring range is developed. It is based on determining the parameters of sensors approximating dependencies using experimental data. The logarithmic approximation temperature dependence of semiconductor sensors, whose value is equal to zero at both calibration temperature values is proposed. It is shown that this approximation dependence can be easily implemented in the modern microcontrollers base. After calibration, the acceptable error limit of digital thermometers in the measuring range from 0 °C to 100 °C does not exceed ± 0.1 °C.

The method of testing solar converters for determining the thermal characteristics in closed rooms with the use of solar radiation simulators and radiometers with electrical substitution is improved.

Keywords: solar collector, radiometer with electrical substitution, semiconductor temperature converter, temperature difference meter, thermometer calibration, unification method, test procedure for solar converters.