

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЮТЕРНИЙ ПРИЛАД (УВКП)

Для автоматичної фіксації результатів дослідження використовуються реєструючі вимірювальні пристрої в комплекті із відповідними датчиками.

На вітчизняному ринку цифрового вимірювально-реєструючого обладнання для лабораторій навчальних закладів з можливістю підключення сторонніх вимірювальних датчиків присутні три основні виробники: National Instruments, Phywe та ITM.

Американська компанія National Instruments (NI) поставляє професійне та навчальне обладнання для більшості вимірювальних процесів [2], але суттєвим недоліком є велика вартість та необхідність знання інструментів графічного програмування.

Також, апаратне і програмне забезпечення компанії NI призначене, в основному, для досліджень у сфері електроніки та інженерії [3].

Пристрої VirtualBench (рис 1.1), що містить комплекс вбудованих електротехнічних приладів, дозволяють підключення лише тензометричних динамометрів [4], що значно звужує їх застосування.



Рис 1.1. Апаратна частина обладнання VirtualBench компанії National Instruments. Комплектація для ПК на ОС серії Windows (зліва) та для роботи з пристроями на платформах iOS та Android (справа)

Інтегровані контролери CompactDAQ містять власний багатоядерний процесор з модульною системою введення/виводу даних, дозволяють управління вимірюваннями з комп'ютера оператора через загальноприйняті мережеві інтерфейси (Ethernet, Wi-Fi) або через USB (рис 1.2).



Рис 1.2. Вимірювальна платформа CompactDAQ компанії National Instruments з варіантами підключення через USB (а) та через Ethernet (б).

Проте CompactDAQ мають можливості підключення периферійних датчиків тільки через створений NI інтерфейс Compact, що підвищує точність і надійність роботи вимірювального блоку, проте значно ускладнює та здорожує розробку датчиків сторонніми виробниками [5].

Німецький виробник Phywe пропонує навчальні вимірювальні прилади Cobra 3 та Cobra 4 (рис 1.3). Цифрова лабораторія Cobra призначена для проведення вимірювання, контролю та регулювання фізичних та хімічних процесів [6], що дозволяє простіше адаптувати її до досліджень ґрунтів.



Cobra 3

Cobra 4 (комплектація Expert-Link)

Рис. 1.3. Вимірювальні блоки Phywe

Компанія Phywe також виготовляє мобільні блоки з акумуляторами можливістю автономної фіксації показників на SD-катру (без використання ПК). Наприклад популярний у природничих лабораторіях шкіл країн ЄС [7] Cobra 4 Mobile-Link (рис 1.4).



Рис. 1.4. Вимірювальний блок Cobra 4 (комплектація Mobile-Link)

Оскільки Cobra 4 призначена для визначення фізичних та хімічних параметрів різних середовищ, то, на перший погляд, її використання для

досліджень ґрунтів та будівельних сумішей є оптимальним варіантом. Проте можливість підключення лише одного датчика та запатентований інтерфейс звужують застосування приладу до одночасної фіксації лише одного показника, з чим успішно справляються і промислові лабораторні прилади.

Окремі лінійки приладів Phywe (наприклад набори для експериментів TESS) спеціально виготовлені у вигляді конструктора для адаптації під конкретні цілі наукових експериментів [8].

Проте працюють вимірювальні прилади Phywe напряду працюють лише із оригінальними датчиками.

Опосередкована робота, наприклад, при дослідженні структури методом пенетрації означатиме, що на дисплей ПК буде відображено графік зміни опору тіла за часом, який необхідно буде перевести в силу через градувальну шкалу, що дозволяє легко маніпулювати результатами експерименту.

Оскільки науковці все частіше хочуть отримати не лише результати експерименту а й доказову базу, то від продуктів компанії Phywe вирішено було відмовитись.

Вітчизняна компанія ТОВ «ІТМ» вже понад десять років виробляє вимірювальне обладнання для демонстрації та проведення експериментів, універсальний вимірювальний прилад ІТМ (УВКП) є спеціальною системою для комп'ютеризації фізичного та хімічного експерименту. УВКП складається з електронного блока, набору датчиків та програмного забезпечення для сумісної роботи з персональним комп'ютером.

Електронний блок виготовлено в металевому або в пластмасовому корпусі розміром 260x150x45 мм. На верхній поверхні корпусу розташовано чотири входи типу DB-15 призначені для підключення зовнішніх пристроїв (аналогових та цифрових датчиків, устаткування). Зовнішній вигляд УВКП наведено на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Вимірювальний блок УВКІТ ІТМ

Універсальний вимірювальний прилад ІТМ випускається у трьох варіантах: із 10, 12 та 16 розрядним аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП).

На правій боковій поверхні корпусу знаходиться вхід типу USB для підключення до комп'ютера. Обмін даними між комп'ютером та електронним блоком, а також живлення електронного блока і датчиків, які входять до комплекту поставки, здійснюється через шнур USB A-B.

Слід зазначити, що програмне забезпечення частини професійних вимірювальних приладів далеке від ідеального. Зокрема, під час виконання досліджень, було використано професійний пірометр DT-8855 із безпроводним модулем DT-EM (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Пірометр Dt-8855 із безпроводним модулем DT-EM

Програмне забезпечення без провідного модуля дозволяє фіксувати температуру із частотою 1 вимірювання/с, і видавати результати у вигляді графіка температура/час. Проте при спробі імпорту результатів до табличного процесора MS Excel 2003, відкриваються порожні листи. Слід зазначити, що українські сервісні центри не займаються програмним забезпеченням пірометра DT-8855.

„Універсальний комп’ютерний вимірювальний прилад” (УВКП) забезпечує виконання таких функцій:

- вимірювання фізичних величин;
- запис (збереження) результатів вимірювання ;
- відображення результатів вимірювань у вигляді цифрового табло, таблиць, графіків. На екрані комп’ютера або проекційному екрані;
- експорт даних вимірювання в формат Excel та текстового редактора Word;

- синхронний запис даних вимірювань, відеозображень та звуків у ході експерименту;
- можливість зміни масштабу часу під час вивчення записів швидкоплинних та довготривалих процесів;
- одночасне вимірювання декількох фізичних величин;
- активація процесу вимірювань за амплітудою вимірюваного сигналу, або за імпульсом зовнішньої синхронізації;
- керування допоміжними зовнішніми приладами (нагрівачі, електромагніти, двигуни тощо)
- створення мультимедійного проекту експерименту (у складі текстового файлу опису, відеоролика з поясненнями сутності експерименту, групи файлів з даними ходу експерименту) з можливістю подальшого відтворення на будь-якому комп'ютері.

2. Технічні характеристики приладу

Основні режими роботи вимірювального блоку УВКП

«Робота з вимірювальним приладом» забезпечує можливість проведення вимірювань з доступом до меню налагоджень. Включення цього режиму роботи здійснюється з допомогою ярлика *«ІТМ Лабораторія»*.

1. «Бібліотека експериментів» забезпечує демонстрацію попередньо записаних експериментів. Використовується у випадках, коли проведення реального експерименту неможливе або є недоцільним. Включення цього режиму роботи також здійснюється з допомогою ярлика *«ІТМ Лабораторія»*.
2. «Експеримент». Режим призначений для проведення експериментальних досліджень аналоговому устаткуванні. При активованому режимі роботи вимірювального пристрою доступ до меню налагоджень неможливий. Активація режиму здійснюється ярликом *«ІТМ Лабораторія» «Ехес»* на робочому столі комп'ютера

3. Користувач має можливість проводити вимірювання, зберігати результати, здійснювати експорт даних до електронних таблиць Excel.

Модуль містить: вимірювальний блок, набір датчиків, зовнішні пристрої, для досліджень матеріалів, включаючи ґрунти з напрямків «Реологія»; «Теплота»; «Електромагнетизм», «Радіоактивність».

Можливість виконання фізичних досліджень з використанням вимірювального приладу та інших приладів наведено в таблиці 1.1. Також наведено список методів дослідження.

Таблиця 1.1

Методи досліджень які проводяться з використанням приладу

Властивості	Напрямок дослідження
Реологічні	Гранична напруга зсуву, модуль Юнга, коефіцієнт міцності, коефіцієнт Пуассона
	Релаксація
	В'язкість
Властивості поверхні	Межа міцності поверхні
	Адгезія, когезія
Магнітні властивості	Магнітна проникність
Оптичні	Каламутність
	Динаміка седиментації
Теплофізичні	Теплопровідність, теплоємність, теплопередача, густина теплового потоку
Геометричні (розміри)	Вимірювання відстаней і фіксування процесів

Розроблені модулі мають багатофункціональність у застосуванні. Наприклад, модуль «Оптика» може бути використаний: при вимірі розмірів частинок з точністю до 0,0001мм; при дослідженні прозорості речовини; при визначенні швидкості осідання частинок; коефіцієнта поглинання світлового потоку; оптичних властивостей прозорих, напівпрозорих матеріалів та

металів. До комплектації модуля «Оптика» входять додаткові пристрої характеристика яких надана в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Характеристика оптичних засобів вимірювання

Тип приладу	Найменування	Збільшення, разів	Роздільна здатність матриці	Ціна поділки, мкм
Мікроскоп цифровий	SDM	500х	1600х 1200	0,0001
Мікроскоп	AVG 351un	84х-400х	1600х1200	-
Мініскоп	MG-10085-1A	100х	-	0,02
Оптична лінійка	МПБ-2	24х	-	0,05

1.2.1. Управління зовнішніми пристроями вимірювальним блоком УВКП ІТМ

Функція „Управління зовнішніми пристроями” значно розширює можливості вимірювального комплексу. Користувач може не тільки отримувати результати вимірювань, але й виконувати деякі дії за результатами вимірювань. Такими діями можуть бути: стабілізація температури, керування нагріванням, охолодженням, включення-виключення електромеханічних пристроїв тощо. Передбачено 4 канали керування. На виході каналу керування може встановлюватись високий або низький рівень сигналу. Канали керування при потребі об’єднують за допомогою логічних елементів з робочими рівнями стандарту TTL. Канали керування мають номери 1-4. Їх виведено на відповідні контакти 1-4 роз’ємів для підключення датчиків. [10]

Канали 1-3 мають КМОП вихідний каскад, а канал 4- з відкритим стоком. Максимальний струм навантаження – 5 мА на канал. Ємність навантаження - не більш ніж 50 пФ. Розглянемо робоче вікно „Зовнішні пристрої” програми

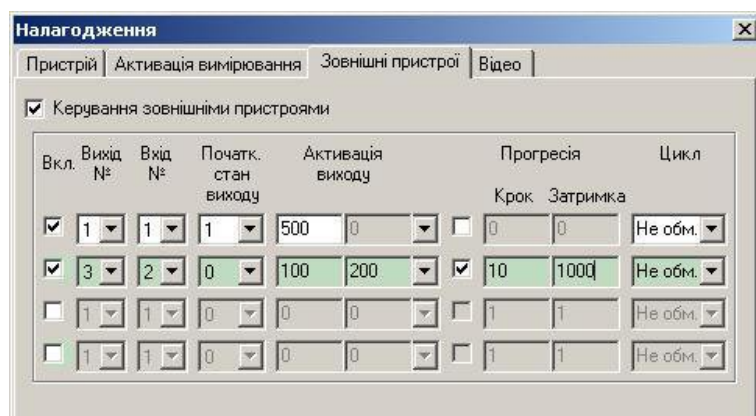


Рис. 1.2. Вікно «Зовнішні пристрої» програми «Лабораторія МІГ-1.3»

Для налагодження алгоритмів керування зовнішніми пристроями необхідно активувати вкладку „Зовнішні пристрої” функціонального вікна „Налагодження”. Активація режиму здійснюється встановленням позначки „√” – „Управління зовнішніми пристроями”. Після встановлення позначки програма відслідковуватиме наявність підключених пристроїв, дані вимірювань та параметри, за якими здійснюється керування. Виберіть один або декілька каналів керування. Для цього у рядку каналу встановіть „√”. Номер виходу повинен відповідати номеру на роз’ємі зовнішнього пристрою. На відміну від датчиків, зовнішні пристрої можна підключати на будь-який вільний вхід модуля.

Розглянемо приклад налагодження одночасної роботи двома зовнішніми пристроями :

- Перший канал керування: пристрій підключено до виходу №1; керування здійснюється за показами датчика, що підключений до входу №1; початковий стан виходу – „1” (після включення процесу

вимірювання на виході №1 встановлюється логічний рівень „1” стандарту TTL); коли вимірювана величина сягне значення 500, стан виходу зміниться на „0”.

- Другий канал керування: пристрій підключено до виходу №3; керування здійснюється за показами датчика, що підключений до входу №2; початковий стан виходу – „0”. Після включення режиму вимірювання, вихід №3 буде мати стан „0”. Якщо вимірювана величина буде збільшуватися й сягне значення „200”, вихід змінить стан на „1”, що приведе до відключення виконуючого пристрою. Після цього вимірювана величина зменшуватиметься до значення „100”, а потім стан виходу зміниться на „1”.

Процес підтримки вимірюваної величини у заданому вікні буде повторюватись циклічно. Однак, цей режим є динамічним. Вимірювання фізичних величин під час постійної зміни одного з параметрів приводить до додаткових похибок. Для уникнення таких похибок передбачено квазістатичний режим керування. Для переходу у квазістатичний режим встановіть „√” функціональному режиму „Прогресія” і встановіть параметри режиму. Параметр „Крок” задає інтервал зміни вимірюваної величини (у одиницях вимірювання), після якої здійснюється тимчасова стабілізація, що триває протягом встановленої затримки. Час затримки встановлюється кратним періоду вимірювання. Якщо у вікні „Затримка” встановлено 1000мс, а період вимірювання дорівнює 500мс, то затримка сягатиме 500с.

Наприклад, під час керування роботою нагрівача, ми отримуємо наступні параметри роботи зовнішнього пристрою:

- Максимальна температура нагрівання – 200 °C;
- Крок нагрівання - 10°C;
- Після кожного збільшення на 10 °C , температура стабілізується протягом 500с;

- Коли температура сягне значення 200 °С, нагрівання припиниться і почнеться процес охолодження із стабілізацією рівня температури з вищевказаними кроком і затримкою.
- Зменшення температури до 100 °С приведе до зміни режиму роботи пристрою і процес нагрівання почнеться знову.
- Кількість циклів можна встановити у останній комірці налагодження каналу управління. У даному випадку кількість циклів не обмежена. Це означає, що керування зупиниться після виходу з режиму „Вимірювання”.

1.2.2. Експорт даних вимірювання до електронних таблиць.

Після отримання масиву експериментальних даних необхідно експортувати їх до програми «Excel» для подальшої роботи. Для цього необхідно натиснути екранну кнопку «Excel», розташовану у другому рядку меню програми. На екрані з'явиться вікно «Експорт даних». За замовчуванням екпортується весь масив даних. Якщо потрібно експортувати лише частину даних, необхідно зняти позначку „√” «Всі дані» і встановити бажаний проміжок часу. Той же результат можна отримати, якщо попередньо виділити необхідну ділянку графіку. Позначка «Виключити дублювання даних» видаляє з масиву, що екпортується однакові дані, які дублюють однакову точку на графіку.

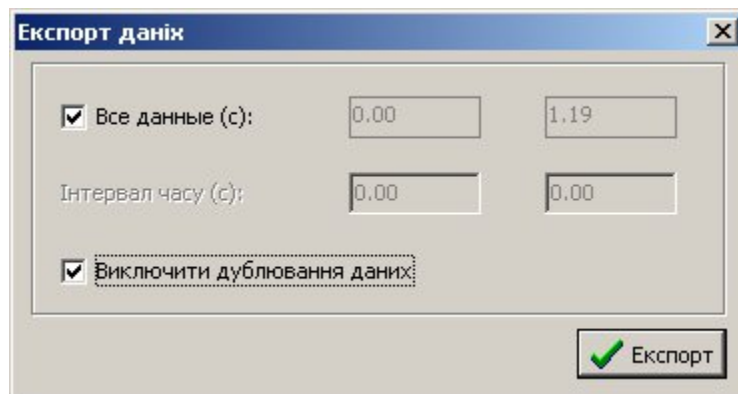


Рис. 1.3. Вікно «Експорт даних» програми «Лабораторія МІГ-1.3»

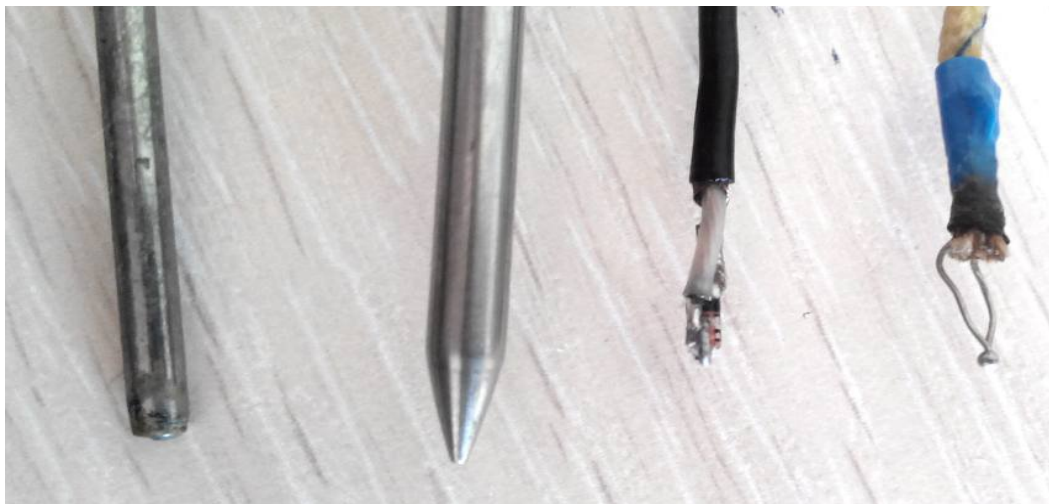
Дані вимірювань кожного датчика експортуються у вигляді масиву на окремій сторінці «книги Excel». Слід пам'ятати, що табличний процесор має обмеження. Тому, кількість точок одного графіка або його фрагменту, що експортуються до Excel не повинна перевищувати 65535.

1.3. Розроблення датчиків та програмного забезпечення

Незважаючи на великий асортимент приладів для вимірювання температури контактним способом, у більшості з них використовуються однакові термодатчики, які можна умовно поділити на дві групи: закриті (або щупи) і відкриті (у більшості випадків термопари).

На рис. 1.4. подано фотографії датчиків температури, які використовуються на кафедрі Інжинірингу та землеустрою ДТЕУ при роботі з тепловим полем.

У закритих датчиках чутливий елемент розміщується в металевій або скляній колбі, яка запобігає пошкодженню із боку зовнішнього середовища та різних механічних ушкоджень. Проте метал або скло вносять суттєву похибку при швидкоплинному вимірюванні температури. Час реакції термощупів, які ми намагалися використати у дослідженні складає 1,5 та 6,2с (рис. 1.4.а, 1.4.б). Окрім того великі розміри захисної колби спотворюють температурне поле всередині продукту, адже створюються канали для передачі теплового поля (метал має менший термоопір ніж більшість харчових продуктів).



а

б

в

г



д

е

є

Рис. 1.4. Термодатчики

(а – термоцуп ITM DT-10r; б – термоцуп KI&BNT WT-2, в – розроблений термодатчик, г – термопара К- типу; д – розроблений термодатчик у термоусаджувальному рукаві, е – робочий діод розробленого датчика; є – термопара К-типу (для порівняння розмірів)

При дослідженні впливу теплового поля на матеріали, важливим є отримання реальних показників температури в реальному часі. Адже, іноді через незначну товщину шарів, коливання показів термопари навіть на один градус може внести суттєву похибку у результати вимірювання.

Для визначення теплофізичних властивостей об'єктів та матеріалів використовуються, переважно, термістори [12-13], проте нелінійність

характеристик напівпровідникових і висока інертність показників металевих термоопорів значно ускладнюють їх використання для динамічного дослідження температури в окремих шарах.

При використанні термісторів, нелінійність показників промислово виготовлених датчиків не ускладнює процес вимірювання [12], проте в лабораторних умовах для дослідження властивостей різних матеріалів використання термісторних датчиків, особливо виготовлених невеликою партією, значно ускладнює заміну датчика, окрім того необхідність ізоляції вимірювального напівпровідника вносить суттєву похибку - збільшує інертність показників.

Відносно новим є використання плівкових термоопорів для дослідження теплофізичних властивостей. Плівкові температурні датчики, особливо метало-керамічні, мають лінійний температурний коефіцієнт опору, широкий діапазон вимірюваних температур та малий час реакції [14].

Діоди отримали широке розповсюдження у наукових колах через високу лінійність, діапазон робочих температур, компактні розміри. Групою учених під керівництвом С. Jungreuthmayer було використано схему вимірювання температури стінок на вищезгаданих діодах за постійної напруги. [16] Проте така схема досить складна у реалізації та доцільна лише за умов роботи датчика у діелектричному середовищі (наприклад у повітрі). При підвищенні провідності середовища підтримувати сталу напругу на датчику із такою схемою живлення стає все складніше. Окрім того збільшується частка струму, який проходить через середовище, унеможливаючи встановлення характеристик самого діоду.

При використанні напівпровідникових діодів для вимірювання температури важливо підтримувати постійне значення або напруги або струму. Вимірювши значення іншої електричної величини, можна визначити температуру діода, а відповідно і середовища, де він знаходиться [17].

При розробці датчика використані роботи Г.Я. Зеленова, зокрема схема вимірювання температури р–n переходом [18]. Проте значно змінено схему живлення з метою використання спеціально розроблених для вимірювання температури діодів КТУ84-1.

Науковцями кафедри ІТД КНТЕУ разом із ТОВ «ІТМ», були розроблені діодні термодатчики, що відповідають зазначеним вище вимогам [11].

У датчику встановлено вимірювальний діод КТУ84-1 компанії Philips. Розроблений термометр дозволяє вимірювати температуру середовища контактним способом в діапазоні - 40...+180 °С.

Принцип роботи термодатчиків заснований на функціональній залежності опору напівпровідникового резистора від частоти температурного поля (рис. 1.5). На схемі термометра цифрами позначено номери контактів в роз'ємі. Розроблений термометр дозволяє вимірювати температуру середовища контактним способом в діапазоні - 40...+280 °С.

Датчики мають розмір вимірювальної частини близько 2,5 мм, завдяки чому можуть вимірювати температуру всередині шару продукту товщиною від 5 мм.

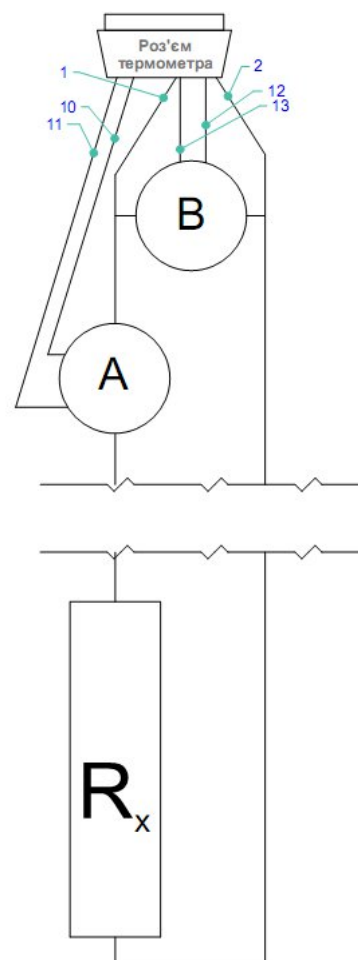


Рис 1.5. Принципова схема напівпровідникового термометра



Рис. 1.6. Дослідна партія датчиків

Максимальна температура, при якій зберігається лінійна залежність температури термодатчика – 214°C , проте при досягненні температури близько 180°C зростає ризик розплавлення припою на діоді та пошкодження датчика, саме тому межі вимірювання розроблених датчиків штучно обмежені на 160°C .

Прототипом розробленого датчика була схема температурного датчика із лінійними характеристиками [18]. Основні зміни були внесені для корекції роботи діоду КТУ84-1, а також з метою зниження напруги живлення до 5В, з метою живлення через інтерфейс USB [19].

Схему розробленого датчика наведено на рис. 1.7.

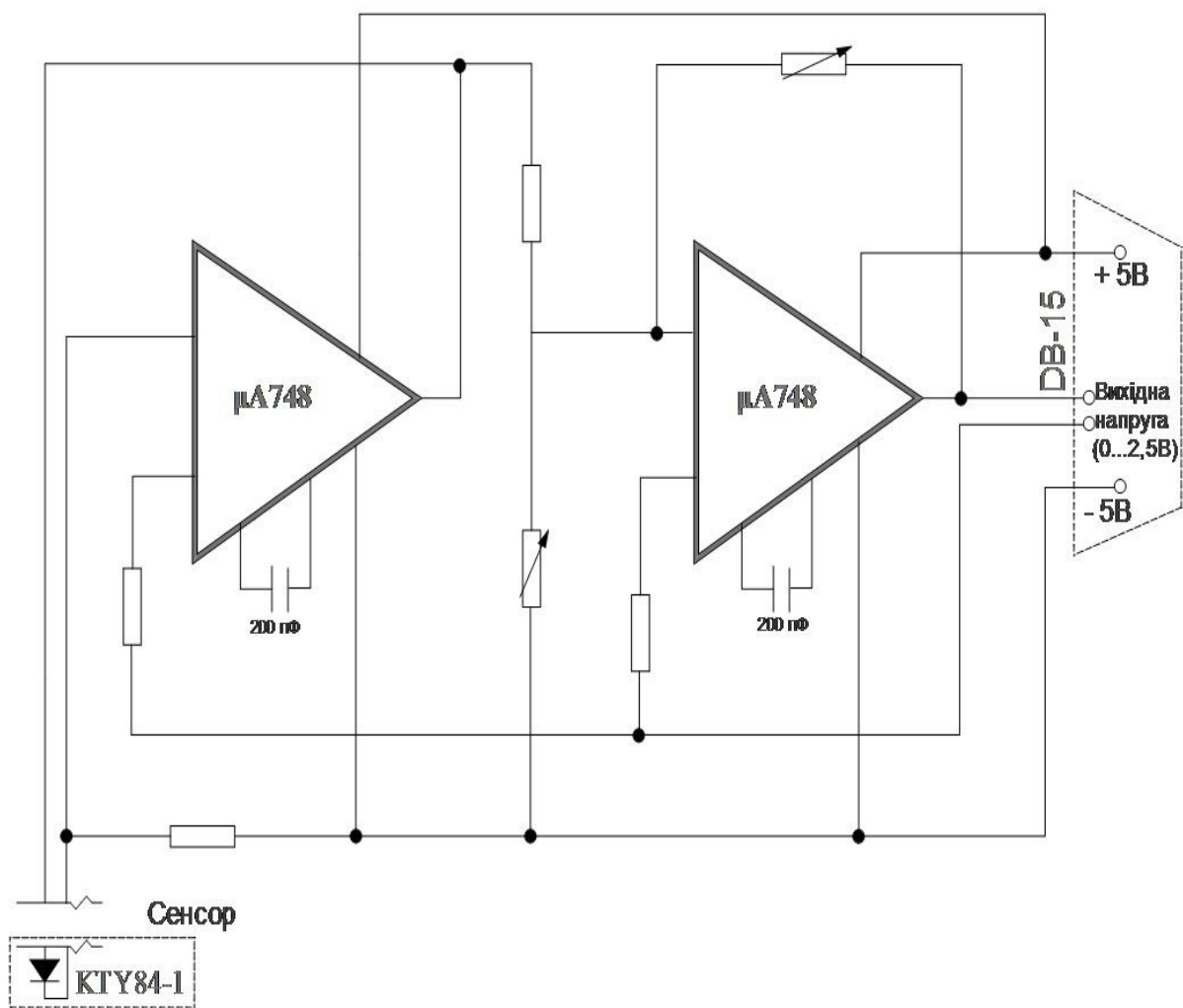


Рис. 1.7. Схема термодатчика для дослідження теплофізичних властивостей матеріалів

Розроблений термометр має суттєвий недолік, який присутній у більшості термопар та напівпровідникових термометрів, а саме – додаткова напруга, що виникає внаслідок хімічної реакції між металом відкритих контактів діода та матеріалом (сумішами), яка вносить суттєву похибку в результати вимірювання температури. Одним із способів усунення цього недоліку є герметизація датчика у скляній чи силіконовій капсулі, але при цьому суттєво зменшується швидкість реакції датчика та збільшуються його лінійні розміри. Окрім того, внаслідок значної теплопровідності скла, скляна капсула створює «температурні містки» всередині продукту, що ускладнює визначення його теплофізичних властивостей.

Для вирішення цієї проблеми сенсорний діод датчика було поміщено до термоусаджувальної стрічки (рис. 1.4.д), проте це лише уповільнило час реакції та збільшило лінійні розміри датчика, не вирішивши вищезгаданої проблеми.

Перспективнішим шляхом вирішення такої перешкоди стала розробка програмного алгоритму компенсацій. Так у створеному датчику, напруга, що виникає, в процесі реакції контактів термометра із середовищем, та втрати напруги через провідність досліджуваного середовища, частково компенсується вимірюванням опору діода у частотному діапазоні 50...50000Гц, із періодом повтору частот 0,5с.

Розроблений ТОВ «ІТМ» алгоритм виявився досить ефективним: так різниця у визначенні температури у діапазоні (+4...47 °С) склала 0,15...0,21°С. Для порівняння різниця показів термопари К-типу за тих самих умов, знаходилася у діапазоні 0,2...0,7°С. Нажаль, алгоритм компенсації працює лише у разі підключення термодатчиків до універсального вимірювального комп'ютерного приладу ІТМ на цифровий вхід. Проте навіть без компенсаційного алгоритму різниця показників розробленого датчика порівняна із різницею показників термопари К-типу.

Порівняльна характеристика датчиків наведена у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика приладів для визначення температури

Показники	Модель			
	KI&BNT WT-2	ЛТ-168 (термопара К-типу)	DT-10r (МІГ – 1.3)	Напівпровід- никовий(МІ Г – 1.3)
Діапазон температур, °С	-50...+300	-40...+420	-30...+210	-40...+180
Роздільна здатність, °С	0,1 (<200°С)	0,1	0,05	0,05
Похибка вимірювання,	±1,0 (-50 ... +80°С);	±3,0 (>0°С) ±1,0 (0 ...	±1,0 (-30 ... +100°С);	± 1,0

Показники	Модель			
	KI&BNT WT-2	JT-168 (термопара К-типу)	DT-10r (МІГ – 1.3)	Напівпровід- никовий(МІ Г – 1.3)
°C	±5,0 (>80°C)	+150°C); ±2,0 (>150°C)	±1,5 (>100°C)	
Запис показника	+ (макс. та мін. значення)	-	+ (63 999 значень)	+ (63 999 значень)
Період вимірювання, с	5	1	1...600	0,5...300
Індикація обриву датчика	+	-	+	+
Можливість переградування	+ (по 2 точках)	-	+ (довільне градування)	+ (довільне градування)
Додаткові функції	Вимір. в °F	-	-	ПЗ для компенсації впливу середовища

Як згадувалося вище, розроблені датчики мають пряму залежність рівня вихідного сигналу від температури у діапазоні, тому для градування датчику достатньо двох точок.

Одним із пріоритетних напрямків подальших досліджень є розробка алгоритму зменшення впливу коливань температури теплоносія у робочій камері. Що дозволить спростити проведення досліджень теплофізичних властивостей не лише у термостатичній шафі а і у промисловому тепловому устаткуванні, де амплітуда коливань температури сягає 5⁰ С.

Градування термодатчиків здійснювалося відповідно до ТУ У 32.3-30591280-001-2004 [10]. Приклад калібрувальної таблиці та калібрувального графіку наведено на рис. 1.8 – 1.9.

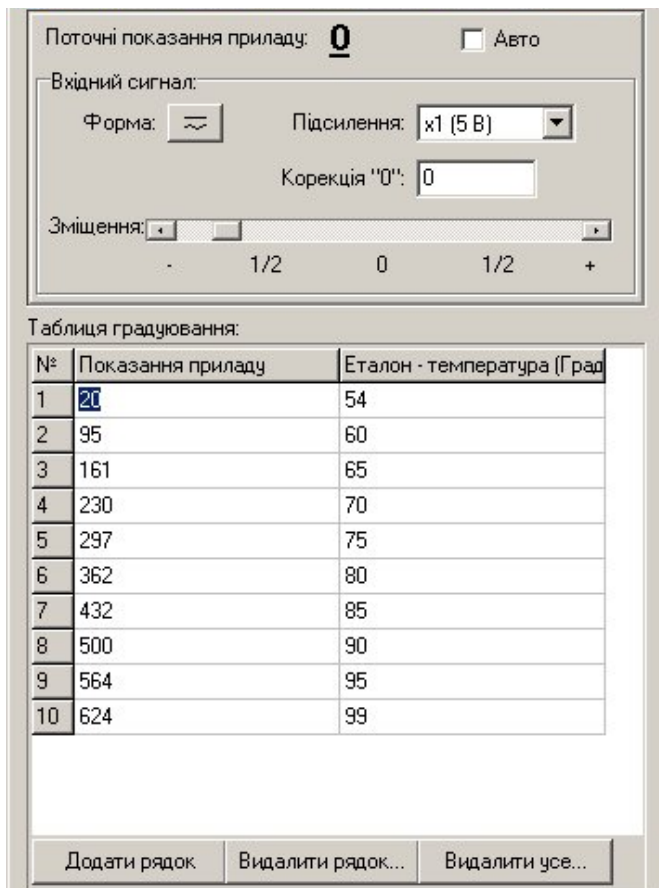


Рис. 1.8. Вікно програми «Лабораторія». Калібрувальна таблиця розробленого термодатчика на 10-розрядному АЦП

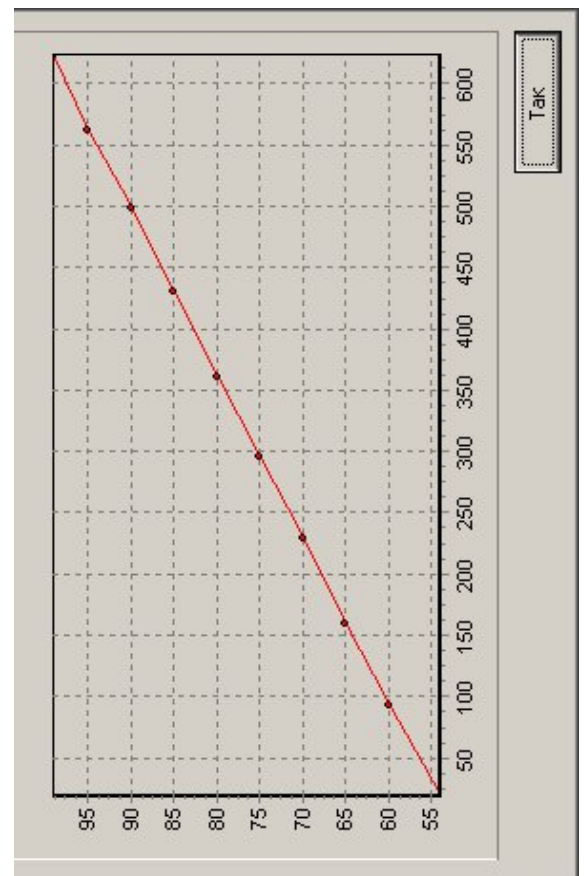


Рис. 1.9. Вікно програми «Лабораторія». Калібрувальний графік електронного термометра

Як згадувалося вище, розроблені датчики мають пряму залежність рівня вихідного сигналу від температури у діапазоні, тому для градуювання датчику достатньо двох точок.

ЛІТРАТУРА

1. Kalkman, Cor J. "LabVIEW: a software system for data acquisition, data analysis, and instrument control." *Journal of clinical monitoring* 11.1 (1995): 51-58.
2. Soscia, William, James G. Howard, and Randall J. Olson. "Microphacoemulsification with WhiteStar: a wound-temperature study." *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 28.6 (2002): 1044-1046.
3. Сайт специфікацій модулів компанії National Instruments. [Електроний ресурс] // Приборы «все в одном» VirtualBench. – Режим доступу: <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/virtualbench-all-in-one-instruments-category>
4. Сайт специфікацій вимірювальних платформ компанії National Instruments. [Електроний ресурс] // What Is CompactDAQ?. – Режим доступу: <http://www.ni.com/compactdaq/whatis/>
5. Петрова М. А. Цифровые лаборатории компании Phywe: «Cobra-3», «Cobra-4» // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. 2010. №6.
6. Papajani, Blerina, Teuta Dilo, and Partizan Malkaj. "Determination of thermal conductivity, and heat resistance of some polyurethane rubbers, and their dependence from the thickness and density." // The 1st International Conference on Research and Education – Challenges Toward the Future (ICRAE2013), 24-25 May 2013, University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Shkodra, Albania
7. Сайт специфікацій обладнання компанії Phywe [Електроний ресурс] // Product details cobra. – Режим доступу: <https://www.phywe.com/en/cobra4-mobile-link-2-incl-accessories-battery-usb-cable-charger-and-sd-memory-card.html>
8. Універсальний вимірювальний прилад. Датчики. [Електроний ресурс] // ТОВ «Фірма ІТМ». – Режим доступу: <http://itm.com.ua/datchiki/>
9. Шаповал С.Л. Рекомендації до виконання науково-дослідних робіт на УВКП: лабор. практикум [Текст] / С.Л. Шаповал., Н.П. Форостяна, Ю.В. Литвинов, Р.П. Романенко – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. – 96 с.
10. Шаповал, С. Л. "Датчик для дослідження теплофізичних властивостей харчових продуктів." *Технологический аудит и резервы производства* 1.4 (21) (2015).
11. Crattelet, J. On-line local thermal pulse analysis sensor to monitor fouling and cleaning: Application to dairy product pasteurisation with an ohmic cell jet heater [Text] / J. Crattelet, S. Ghnimi, P. Debreyne, I. Zaid, A.

- Boukabache, D. Esteve, L. Auret, L. Fillaudeau // Journal of Food Engineering, Volume 119, Issue 1, November 2013, Pages 72-83.
12. Reyes-Romero, D.F. Dynamic thermal sensor for biofilm monitoring [Text] / D.F. Reyes-Romero, O. Behrmann, G. Dame, G.A. Urban // Original Research Article Sensors and Actuators A: Physical, Volume 213, July 2014, Pages 43-51
 13. Sundeen, J.E. Thermal sensor properties of cermet resistor films on silicon substrates [Text] / J.E Sundeen, R.C Buchanan // Original Research Article Sensors and Actuators A: Physical, Volume 90, Issues 1–2, May 2001, Pages 118-124
 14. Huang, L. Simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using a transient plane-source method [Text] / Lihan Huang, Lin-Shu Liu // Journal of Food Engineering, Volume 95, Issue 1, November 2009, Pages 179-185
 15. Jungreuthmayer, C. Detailed heat and fluid flow analysis of an internal permanent magnet synchronous machine by means of computational fluid dynamics / Jungreuthmayer, C., Bauml, T. Winter, O. more authors // Industrial electronics. – 2011, - № 59, Issue: 12, – p. 4568 – 4578
 16. Device search: Датчики измерения температуры, виды, устройство, принцип работы термодатчиков [Электронный ресурс] // Режим доступа – <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-temperature>
 17. Зеленов Г. Измерение температуры р–п переходом [Текст]: / Г. Зеленов // Современная электроника. – 2007, - № 2. – С. 38-38
 18. Radiostorage.net. Радиоэлектроника, схемы, статьи и программы для радиолюбителей: Совершенный линейный диодный датчик температуры [Электронный ресурс] // Режим доступа – <http://radiostorage.net/?area=news/2380>