

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ

© Озгович Андрій, Панчук Олена, 2017

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано методи вимірювання розподілу температури і можливості їх застосування у різних галузях. Наведено класифікацію методів і подано порівняльну характеристику переваг та недоліків. Зроблено висновок, що розвиток методів вимірювання температурного розподілу є актуальним завданням наукових досліджень, які дадуть змогу відкрити нові перспективи та розширити сфери застосування методів вимірювання розподілу температури.

Ключові слова: розподіл температури, вимірювання, термографія, тепловізор, томографія, ультразвуковий метод вимірювання, акустичний метод вимірювання, матричний сенсор.

Проанализированы методы измерения распределения температуры и возможности их применения в различных отраслях. Приведена классификация методов и представлена сравнительная характеристика преимуществ и недостатков. Сделан вывод, что развитие методов измерения температурного распределения – актуальная задача научных исследований, которые позволят открыть новые перспективы и расширить области применения методов измерения распределения температуры.

Ключевые слова: распределение температуры, измерения, термография, тепловизор, томография, ультразвуковой метод измерения, акустический метод измерения, матричный датчик.

The methods of measuring temperature distribution and their application in different fields are analyzed. Classification of methods is given and a comparative description of advantages and disadvantages is given. It is concluded that the development of methods for measuring temperature distribution is an urgent task of scientific research, which will enable to open new perspectives and expand the scope of application of methods for measuring temperature distribution.

Measurement of temperature distribution is an important task in power engineering and energy auditing, engineering, construction, oil and chemical industry, transport, medicine, and others. Measurement of temperature distribution is used at the operation of buildings to detect thermal insulation and other heat losses, detect defects in joints of panels, cracks, deterioration of thermal insulation properties, areas of water infiltration, breakages of reinforcement; in power engineering for thermovision monitoring of power lines, detection of defective contacts of switching device connections; in energy conservation with energy audit, determination of insulation properties of materials, diagnostics of fencing structures, detection of heat losses in indoor and outdoor buildings and constructions; in the chemical industry for monitoring the temperature of the product, inspection of tightness and isolation of containers for storage of various liquids and gases; in aerospace and military technology for targeting systems, warning systems for early launching of missiles, thermal intelligence (detection of live power and technology), aerospace shooting by a thermal imager; in medicine for monitoring inflammatory processes, local tumors, blood circulation disorders, wound healing processes, injuries, etc.

The significance of temperature measurements is also underlined by the fact that in industries with a continuous nature of technological processes, temperature measurement is about 50 % of the total number of all measurements.

Thus, the development and creation of new means of measuring temperature distribution is an urgent task.

The article deals with the following methods and means of measuring temperature distribution: thermographic, in particular the analysis of thermal imagers, tomographic, acoustic, ultrasound, multizone sensors of temperature, matrix infrared sensors.

Key words: temperature distribution, measurement, thermography, thermal imager, tomography, ultrasonic measurement method, acoustic measurement method, matrix sensor.

Вступ. Вимірювання розподілу температури є важливим завданням в енергетиці й енергоаудиті, машинобудуванні, будівництві, нафтовій і хімічній

промисловості, транспорті, медицині тощо. Вимірювання розподілу температури використовують під час експлуатації будівель для виявлення порушення

теплоізоляції та інших втрат тепла, виявлення дефектів стиків панелей, тріщин, погіршення теплоізоляційних властивостей, ділянок інфільтрації води, обривів арматур; в енергетиці для тепловізійного моніторингу ліній електропередач, виявлення дефектних контактів з'єднань комутаційних апаратів; в енергозбереженні – енергоаудиті, визначенні теплоізоляційних властивостей матеріалів, діагностиці огорожувальних конструкцій, виявленні тепловтрат у внутрішніх приміщеннях і зовні будинків і споруджень; у хімічній промисловості для контролю температури продукту, перевірки герметичності та ізоляції емкостей для зберігання різних рідин і газів; в авіакосмічній і військовій техніці для систем самонаведення на ціль, систем оповіщення про ранній запуск ракет, теплової розвідки (виявлення живої сили і техніки), авіакосмічного знімання тепловізором; у медицині для моніторингу запальних процесів, локальних пухлин, порушення кровообігу, процесів загоєння ран, травм тощо.

Значущість температурних вимірювань підкреслює і той факт, що на виробництвах з неперервними технологічними процесами вимірювання температури – це приблизно 50 % від загальної кількості всіх вимірювань. Тому розроблення і створення нових засобів вимірювання розподілу температури є актуальним завданням.

Метою роботи є аналіз переваг та недоліків різних методів і засобів вимірювання температури, порівняння характеристик цих методів, аналіз можливостей застосування у різних галузях.

Таблиця 1

Класифікації методів вимірювання температури

Table 1

Classification of temperature measurement methods

	По площині	Вздовж осі
Контактні		<ul style="list-style-type: none"> Багатозонні сенсори температури
Безконтактні	<ul style="list-style-type: none"> Термографічний метод Томографічний метод Матричні сенсори ІЧ випромінювання 	<ul style="list-style-type: none"> Акустичний метод Ультразвуковий метод

1. Термографічний метод. Тепловізори. Вимірювання розподілу температури об'єктів здійснюється

тепловізорами – оптико-електронними приладами, призначеними для вимірювання температури та градієнта температур в інфрачервоному діапазоні спектра з подальшою візуалізацією теплового поля об'єкта на екрані. Тепловізор може використовуватися як прилад для безконтактного вимірювання температури об'єктів і температурних полів. Сучасний тепловізор складається із: об'єктива, тепловізійної матриці (чутливий елемент) й електронного блока опрацювання сигналу. Тепловізійна матриця – це ґратка мініатюрних детекторів, що сприймає інфрачервоне випромінювання і перетворює його на електричні імпульси, які після підсилення перетворюються на відеосигнал. Типовий розмір фотоелектричних матриць становить 640×480 пікселів. Тепловізори поділяють на дві категорії: з охолоджуваною і неохолоджуваною матрицею. Охолоджені – найчутливіші, дорогі й масивні, адже для охолодження використовують криогенні технології, що дають змогу охолоджувати матрицю до температур мінус 170–210 °С. Ціна і маса визначають і сферу застосування таких приладів. Недоліки камер з охолоджуваними матрицями – велике енергоспоживання і короткий термін служби криогенної системи, висока вартість та тривалий термін підготовки до роботи. Тепловізори з неохолоджуваними матрицями значно дешевші, компактніші, але у них менша чутливість. Перевага їх у тому, що вони починають працювати відразу після увімкнення, мають довгий термін служби і низьке споживання енергії. Простота і відносна дешевизна неохолоджуваних тепловізорів зробили їх масовими [1].

На рис. 1 наведена узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ-матрицею.

Тепловізори реєструють власне випромінювання предметів. Кожне нагріте тіло емітує теплове випромінювання, інтенсивність і спектр якого залежать від властивостей тіла і його температури. Інфрачервоне (теплове) випромінювання від вимірюваного об'єкта через оптичну систему передається на приймач – неохолоджувану матрицю термодетекторів. Далі отриманий відеосигнал за допомогою електронного блока вимірювання, реєстрації та математичного опрацювання перетворюється в цифрову форму і відображається на екрані комп'ютера або дисплеї тепловізора. Фізична картина фотоэффекту така: ІЧ-фотони, потрапляючи на поверхню вузькозонного напівпровідника (HgCdTe, InSb), переводять носіїв заряду зі зв'язаного стану у вільний. Їх кількість

пропорційна до інтенсивності теплового випромінювання об'єкта. Матриця фотоелектричних детекторів, встановлена у тепловізорі, обов'язково повинна охолоджуватися, інакше власні теплові коливання ґратки напівпровідника спричиняють настільки інтенсивне вивільнення носіїв заряду, що на його фоні генерування носіїв ІЧ-випромінювання стає просто непомітним. Програмне забезпечення тепловізора дає змогу налаштовувати і змінювати основні параметри збереженого зображення (компенсацію відбитого тепла, колірну палітру тощо). Це не тільки підвищує зручність і вірогідність обстеження тепловізором, але і усуває необхідність повторного сканування.

Галузі застосування тепловізорів: енергетика й енергоаудит, машинобудування, будівництво, нафтова і хімічна промисловість, транспорт тощо. За допомогою тепловізора можна оперативно визначити передумови виникнення і наявність дефектів у нафто- і газопроводах, у теплотрасах, водопроводах і електричних з'єднаннях. Своєчасне виявлення за допомогою тепловізора температурних аномалій, що відбивають невидимі небезпечні процеси навколо нас, дасть змогу вжити заходів для усунення причин можливих аварій.

Головна проблема тепловізорів – висока вартість, зумовлена особливостями їх конструкції. Для виготовлення тепловізійних об'єктивів застосовується дуже дорогий матеріал – чистий германій. На відміну від звичайного скла, яке не пропускає теплового випромінювання, германій – метал, прозорий для теплових інфрачервоних хвиль. Сьогодні вартість об'єктива становить приблизно 45 % вартості всього приладу, ще 45 % – матриця. Окрім германію, для виготовлення лінз використовують інші дорогі матеріали: селенід цинку, сульфід цинку, флюорид кальцію та халькогенідне скло.

У відповідь на попит, що зростає, вдосконалюються і прилади – зменшується їх розмір та знижується вартість. Вдосконалення відбувається за рахунок зменшення розмірів об'єктивів, виготовлення об'єктивів не із германію, а з дешевших матеріалів, та зниження вартості виробництва болометричних матриць. Завдяки цьому тепловізори у наш час стають все доступнішими широкому загалу.

Недолік – тепловізор може вимірювати температуру лише тих об'єктів, які є в зоні прямої видимості приладу.

Сучасні промислові тепловізори дозволяють вимірювати температури в діапазоні від 50 до 2 000 °С.

Основні технічні параметри тепловізорів такі:

- діапазон вимірюваних температур;
- роздільна здатність за температурою (різниця температур, еквівалентна шуму);
- поле зору;
- миттєве поле зору (просторова роздільна здатність);
- робочий спектральний діапазон;
- кількість елементів у приймачі випромінювання.

2. Томографічний метод. У електричній томографії просторовий розподіл температури отримують на основі результатів вимірювань електричного опору під час електричного зондування об'єкта. Якщо на досліджувану поверхню неможливо нанести термочутливий резистивний перетворювач, то одним зі способів вирішення цієї проблеми є застосування вимірювальних перетворювачів температури у формі лінійних (дротяних) чутливих елементів (ЧЕ). Як приклад, на рис. 2 показано можливе розміщення чутливих елементів на поверхні досліджуваного об'єкта. Кінці кожного із ЧЕ закріплено на краях досліджуваного об'єкта так, щоб забезпечити легкий доступ під час вимірювання їх опорів.

Відомо, що питомий опір провідників залежить від температури Θ :

$$r = r(q). \quad (1)$$

Якщо помістити лінійний резистивний ЧЕ у середовище з просторовим температурним розподілом $\Theta(x,y)$, то питомий опір вздовж дроту, наприклад, вздовж лінії l , буде змінним

$$r(l) = r = r[l(q(x,y))]. \quad (2)$$

Важко переоцінити перспективи, які відкриває практичне застосування томографічних вимірювань у промисловості та в наукових дослідженнях. Такі вимірювання мають певні переваги над традиційними, найголовніші з яких полягають у тому, що в результаті томографічних вимірювань отримують інформацію про просторовий розподіл (а не локальне значення) досліджуваного параметра об'єкта, а відбір вимірювальної інформації здійснюється без розміщення вимірювальних перетворювачів всередині об'єкта, а лише на його зовнішній границі. Тобто можна говорити про томографічні вимірювання як безконтактні вимірювання. Діапазон вимірювання визначається характеристиками матеріалу, з якого виготовлено чутливі елементи [2].

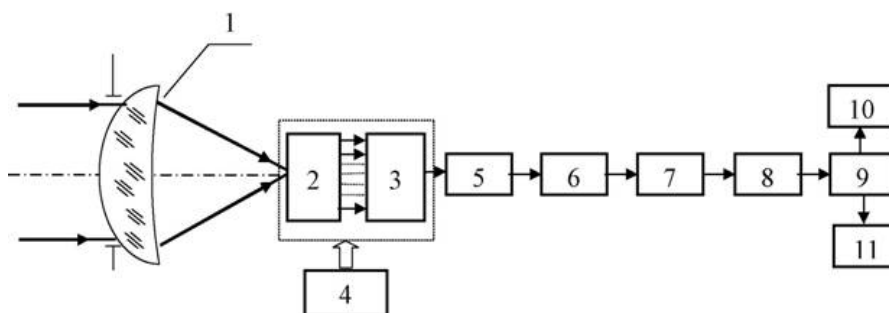


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема тепловізора із фокальною матрицею: 1 – оптична система; 2 – фокальна матриця із підсилювачами; 3 – мультиплексор; 4 – система охолодження; 5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів; 6 – аналого-цифровий перетворювач; 7 – цифровий коректор неоднорідності; 8 – коректор; 9 – формувач зображення; 10 – дисплей; 11 – цифровий вихід

Fig. 1. General functional diagram of the thermal imager with focal matrix: 1 – optical system; 2 – focal matrix with amplifiers; 3 – multiplexer; 4 – cooling system; 5 – corrector of heterogeneity of characteristics of sensitive elements; 6 – analog-digital converter; 7 – digital correction of heterogeneity; 8 – proofreader; 9 – image shaper; 10 – display; 11 – digital output

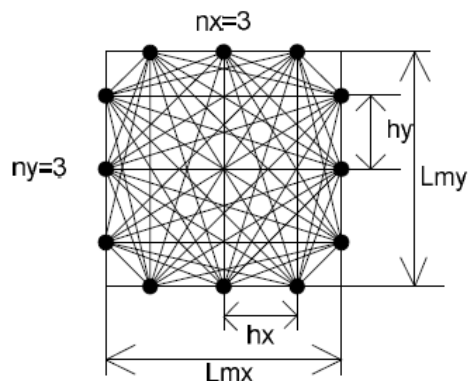


Рис. 2. Можливі розміщення лінійних резистивних чутливих елементів на поверхні прямокутної форми для кількості під'єднань на краях стінки: $n_x = 3$, $n_y = 3$

Fig. 2. Possible placement of linear resistive sensitive elements on the surface of a rectangular shape for the number connections at the edges of the wall: $n_x = 3$, $n_y = 3$

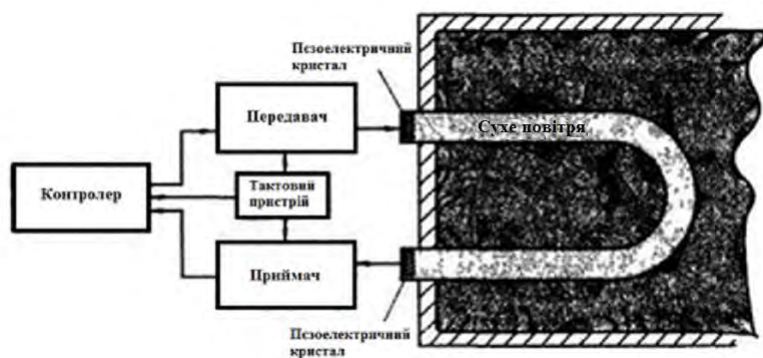


Рис. 3. Акустичний термометр з ультразвуковим перетворювачем

Fig. 3. An acoustic thermometer with an ultrasonic transducer

3. Акустичний метод. У разі роботи в екстремальних умовах (у діапазоні криогенних температур, за високих рівнів радіації тощо) а також проведення вимірювань у замкненому герметичному об'ємі, де неможливо розмістити контактні сенсори або використовувати інфрачервоні перетворювачі, іноді дуже складно виміряти температуру об'єкта або

середовища. У таких випадках застосовують акустичні сенсори температури, принцип дії яких оснований на функціональній залежності швидкості звуку від температури середовища, через яке він поширюється.

Акустичний сенсор температури складається з трьох компонентів: ультразвукового випромінювача і приймача, а також герметичної порожнини, наприклад,

трубки, заповненої газом. Випромінювач і приймач – це керамічні п'єзоелектричні пластини, акустично не зв'язані з трубкою, що забезпечує поширення звуку переважно через газ усередині трубки. Як газ найчастіше використовують повітря. Є також конструкції перетворювачів, у яких звук поширюється безпосередньо в досліджуваному середовищі, але необхідно дотримуватися умови сталості маси у вимірюваному обсязі газу. Для виготовлення трубки часто використовують інвар [3].

Тактовий пристрій цього приладу працює на низькій частоті (близько 100 Гц). Його імпульси запускають передавач і блокують приймач. Приймач приймає сигнал лише тоді, коли отримує сигнал дозволу. Блок управління за часом поширення звукової хвилі в середовищі визначає швидкість звуку, за якою обчислюється температура середовища.

У разі використання відбитого сигналу застосовують схеми з одним п'єзоелементом, які працюють на випромінювання і приймання акустичного сигналу.

На основі цих сенсорів створюють мініатюрні сенсори температури. Їх принцип дії оснований на використанні температурної залежності умов поширення поверхневих хвиль у чутливому елементі сенсора. Такі сенсори є перетворювачами температури на частоту. Чутливість таких пристроїв досягає десятків кілогерц на один градус.

4. Ультразвуковий метод. Ультразвукові методи займають провідне місце серед методів вимірювання та контролю у вимірювальній техніці. Це пов'язано з загальним прогресом акустики, як науки, розвитком фізики твердого тіла, мікроелектроніки тощо. Вже перші експериментальні зразки ультразвукових термо-

метрів під час випробувань (Белл, Тасман, Лішвос та ін.) виявили низку переваг над традиційними засобами вимірювання температури.

Перспективи застосування ультразвукових термометрів наочно проявилися під час їх випробувань та експлуатації у реакторних енергетичних установках (Тасман, Європейська комісія з атомної енергії). Зокрема, під час експлуатації ультразвукового імпульсного термометра в умовах реакторного випромінювання упродовж 2000 год за температури 2000 °С спостерігалася зміна номінальної статичної характеристики (НСХ) на 1.5 %, тоді як НСХ термометра типу ВР(А) в тих самих умовах змістилися на 30 %. Зазначимо, що в багатьох випадках ультразвукові термометри за рахунок своїх переваг дають змогу вимірювати температуру об'єктів, сам доступ до яких традиційним засобом вимірювання обмежений або навіть неможливий.

Необхідно взяти до уваги, що для керування технологічними процесами в енергетичних та промислових об'єктах недостатньо мати значення температури об'єкта в окремих точках, а необхідно володіти інформацією про розподіл температури в ньому. Наші дослідження показали, що ультразвукові імпульсні термометри дозволяють успішно розв'язати цю задачу для об'єктів різних ступенів складності. Актуальність проблеми створення та застосування ультразвукових термометрів пов'язана також з проблемами енерго- та ресурсозбереження і пошуком альтернативи термометрів на основі металів платинової групи [4].

Ультразвуковий багатозонний імпульсний термометр працює переважно в режимі відбивання і вимірює часовий інтервал між парою відбитих сигналів від початку та кінця вибраної вимірювальної зони.



Рис. 4. Спрощена структурна схема багатозонного імпульсного термометра

Fig. 4. Simplified structural diagram of multi-zone pulse thermometer

На рис.4 наведена спрощена структурна схема багатозонного імпульсного термометра. У неї входить п'ятизонний чутливий елемент, який акустичною лінією зв'язку з'єднаний з ЕАП. Останній повинен забезпечувати випромінювання коротких акустичних імпульсів та приймання луна-сигналів, відбитих від елемента відбивання. Згадані луна-сигнали подаються на схему виділення робочих сигналів, що відсікає паразитні сигнали та завади. Для цього ж призначена і схема початкового аналізу та фіксації, за допомогою якої відбувається початкове шукання корисних луна-сигналів під час вмикання приладу в мережу. Далі треба забезпечувати послідовне вимірювання часових інтервалів між вибраними парами луна-імпульсів, опрацювання цифрової інформації (усереднення низки результатів, операції перевірки для усунення промахів тощо) та виведення її на індикатор [5].

5. Багатозонні сенсори температури. Багатозонні сенсори температури застосовуються, як правило, в каталітичних процесах і резервуарах зберігання. Для контролю перебігу реакції в реакторах вимірюється профіль температури в шарах каталізатора в одній або декількох площинах (наприклад, у нижній, верхній і середній частинах шару каталізатора). Як правило, в процесах, в яких температура перебігу реакції становить $+ 300 \text{ }^\circ\text{C}$ і більше, як чутливі елементи застосовують термопари (перетворювачі термоелектричні), а в резервуарах зберігання – терморезистори Pt100 (термоперетворювачі опору платинові).

Багатозонні сенсори температури застосовують, щоб зменшити кількість приєднань до процесу і досягти потрібних точок вимірювання температури в тривимірному просторі всередині технологічного апарата. А також для підвищення швидкодії вимірювального приладу і, як наслідок, – ефективності вимірювання температури процесу.

Компанія Endress + Hauser пропонує стандартизовані багатозонні сенсори температури для різних галузей і сфер застосування:

- 3-D конструкція із розподілом чутливих елементів у шарах каталізатора;
- 1-D конструкція для монтажу термогільзу на апараті;
- малоінвазивні багатозонні термопари із діаметром занурювальної частини 4,5 мм для хімічних реакторів;
- підвісні багатозонні термометри для резервуарів зберігання;

– 3D-вимірювання температури в шарах каталізатора.



Рис. 5. Система багатоточкового вимірювання температури TTSP

Fig. 5. Multi-point TTSP temperature measurement system

Система багатоточкового вимірювання температури TTSP може містити кілька десятків незалежних гнучких товстостінних термопар, що вмонтовуються на одному фланці. Ця конструкція дає змогу використовувати мінімальну кількість монтажних патрубків у реакторі, знижуючи тим самим ризик витoku води і підвищуючи цілісність апарата. Гнучкі термопари розподіляються всередині реактора і розгалужуються до потрібних точок вимірювання температури за допомогою монтажних пристосувань [6].

6. Матричні сенсори інфрачервоного випромінювання. Сучасні матричні сенсори інфрачервоного випромінювання використовують технологію термопар, технологію MEMS, основу на ефекті Зеєбека (рис. 6). Основним елементом такої матриці є термопара. Сьогодні матричні сенсори доступні як “теплові камери” з невеликою кількістю термопар у сітці (рис. 6). Такі сенсори використовують у кліматичних системах автомобілів та будинків, у системах безпеки для детектування людей зі збереженням їх конфіденційності [7]. Матричні сенсори інфрачервоного випромінювання компактні, економічно ефективні, мають низьке споживання енергії.

Прикладом реалізації MEMS технології є сенсор інфрачервоного випромінювання MLX90640 фірми Melexis. MLX90640 – це пристрій розміром 32×24 ІЧ сенсори, який використовують у системах протипожежної безпеки, інтелектуальних будівлях, інтелектуальному освітленні, камерах спостереження тощо.

Він має діапазон робочих температур від $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $85 \text{ }^\circ\text{C}$ та може вимірювати температуру об'єкта від

Таблиця 2

Table 2

Порівняння різних методів вимрювання розподілу температури

Comparison of different methods of temperature distribution measurement

Метод вимрювання	Діапазон вимрювання	Гранична похибка вимрювання	Кількість точок	Переваги	Недоліки
Термографічний метод	від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до понад $+2000\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	640×480	<ul style="list-style-type: none"> Простота, зручність експлуатації. Висока роздільна здатність. Не потребує контакту з об'єктом вимрювання. 	<ul style="list-style-type: none"> Якісні камери дорогі, їх легко пошкодити. Невисока точність. Можливість вимрювання тільки температури поверхонь.
Томографічний метод	До $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	До 1000	<ul style="list-style-type: none"> Можливість розміщення вимрювальних перетворювачів на його зовнішній границі. 	<ul style="list-style-type: none"> Складність конструкції вимрювальної системи. Великі габарити вимрювальної системи.
Акустичний метод	$-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	До 5	<ul style="list-style-type: none"> Широкий діапазон вимрюваних температур. 	Виникнення методичних похибок на границі сенсора. Мала кількість точок вимрювання.
Ультразвуковий метод	до $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	До 10	<ul style="list-style-type: none"> Можливість використання елементів досліджуваного об'єкта в ролі сенсора; широкий вибір матеріалів для чутливих елементів. 	Низька чутливість. Необхідність градування перед кожним використанням первинного перетворювача. Відсутність прямої залежності між температурою та часовим діапазоном.
Багатозонні сенсори температури	$-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	До 50	Будь-який необхідний розподіл гнучких чутливих елементів всередині реактора або резервуара. Простота. Надійність.	Невелика кількість точок вимрювання.
Матричні сенсори інфрачервоного випромінювання	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	До 768	<ul style="list-style-type: none"> Компактність. Низька вартість. Простота інтегрування. Фабричне калібрування. 	Складність виготовлення. Мала кількість точок вимрювання температури.

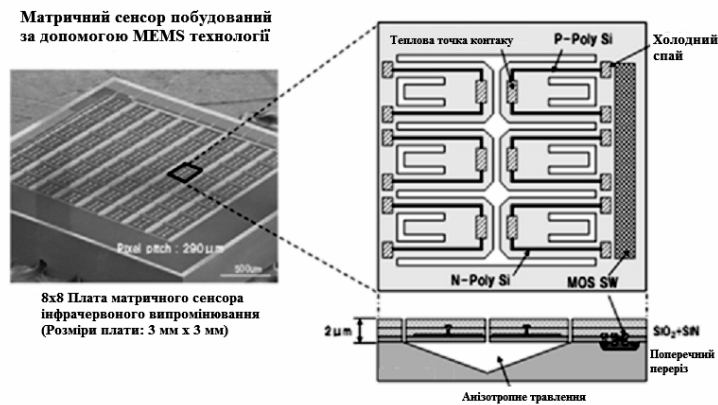


Рис. 6. Матричні сенсори, побудовані за допомогою MEMS технології

Fig. 6. Matrix sensors built using MEMS technology

40 °С до 300 °С, підтримуючи рівень точності ± 1 °С у всьому діапазоні вимірювань. На відміну від альтернативного мікроболометра, сенсор не потребує регулярного повторного калібрування, що забезпечує безперервний контроль і зниження вартості системи. Melexis MLX90640 виготовляється у компактному 4-контактному корпусі ТО39, який містить необхідну оптику. Матриця складається з 768 інфрачервоних сенсорів. Кожен сенсор визначається позицією рядка і стовпця як $P_{i,j}$. Результати вимірювання температури зчитуються через I²C – сумісний цифровий інтерфейс [8].

Матричний сенсор інфрачервоного випромінювання Melexis MLX90640 застосовується для вимірювання температури в житлових, промислових та комерційних кондиціонерах, у побутовій техніці з температурним регулюванням, у теплових датчиках комфорту в автомобільних кондиціонерах, у системах управління кондиціонерами, у мікрохвильових печах, для промислового контролю температури, для виявлення теплових витоків у будинках та виявлення присутності людини.

Висновки. Вимірювання розподілу температури на промислових та громадських об'єктах є важливим завданням. Кожен із вищезазначених методів має певні переваги та недоліки, характеристики й відповідно сфери застосування. Тому розвиток цих методів є актуальним завданням наукових досліджень, які дадуть змогу відкрити нові перспективи та розширити сфери застосування методів вимірювання розподілу температури.

1. Антоненко С. С., Колісніченко Е. В. Контроль та вимірювання параметрів рідин і газів : конспект лекцій. –

Суми: СумДУ, 2009. – 199 с. 2. Дорожжовець М. М., Бурдега М. Томографічний метод вимірювання просторового розподілу температури за результатами вимірювань опору лінійних резистивних перетворювачів // Вимірювальна техніка та метрологія – 2015. – № 76. – С. 66–73. 3. Акустические методы измерения температуры [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://life-prog.ru/view_msinv.php?id=232. 4. Ліхновський І. С. Ультразвуковий багатозонний вимірювач температури: дис. ... канд. техн. наук – Львів, 1997. 5. Луцук Я., Буняк Л., Стадник Б. Застосування ультразвукових сенсорів. – Львів: СП «БаК», 1998. – 232 с. 6. Endress+Hauser – Многозонные датчики температуры [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/Temperature-measurement-thermo-meters-transmitters/mnogozonnye-datchiki> 7. What's fuelling demand for IR grid sensors? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicspecifier.com/sensors/what-s-fuelling-demand-for-ir-grid-sensors> 8. MLX90640 32x24 IR array – Short form Datasheet – Revision 3 – November 4, 2016 9. Дорожжовець М. М. Томографічні вимірювання просторового розподілу фізичних величин на прикладах електричної та акустичної томографії: дис. ... д-ра техн. наук. – Львів, 2001. – С. 38–51. 10. Дорожжовець М. М., Петровська І. Р. Дослідження методичних похибок вимірювання в електричній томографії // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2007. – № 67. – С. 13–18. 11. Засоби та методи вимірювання неелектричних величин: підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожжовець, Б. І. Стадник, О. В. Івахів, Т. Г. Бойко, А. Ковальчик; за ред. Є. С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.