



## KAPITEL 2 / CHAPTER 2<sup>2</sup> BATTERY HEAT FLUX TRANSDUCERS FOR CONDUCTIVE CALORIMETRY

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-014

### Вступ

Більшість фізичних, хімічних, біологічних або інших процесів, пов'язаних з перетворенням одних видів енергії в інші, супроводжуються виділенням або поглинанням теплоти. Тому інформація про значення параметрів теплових ефектів та про тепловий характер перебігу процесу є однією з основних як для наукових досліджень, так і для оптимізації або контролю виробничих процесів. Впровадження нових нетрадиційних видів палива, створення і дослідження нових матеріалів, вдосконалення теплотехнологій потребує широкого впровадження калориметричних методів вимірювання, тобто методів визначення теплоти, що виділяється або поглинається у досліджуваному процесі. Історія калориметрії налічує два з половиною століття, проте ця галузь вимірювальної техніки продовжує активно розвиватись. У другій половині 20 століття з'явилися і досі активно розвиваються методи і прилади диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК), в останні роки створені калориметри на мікросчіпах, у тому числі і високошвидкісні нанокалориметри. В той же час дослідження неомогенних природних і штучних речовин та матеріалів, реакцій і процесів з інтенсивним тепловиділенням, а також живих біологічних об'єктів спонукають до створення калориметрів з високим об'ємом комірок і реакційних посудин та розширеним діапазоном вимірювання.

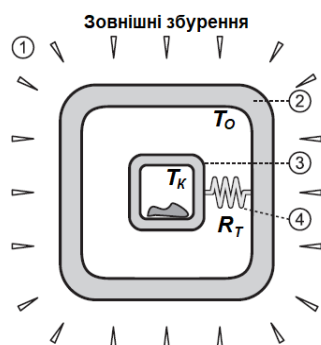
### 2.1. Структура та принцип дії кондуктивних калориметрів

В цій роботі увага зосереджена на групі калориметрів, дія яких заснована на вимірюванні локальної різниці температури, що отримали назви «калориметр типу Тіана-Кальве», «кондуктивний калориметр», «калориметр теплового потоку» або «теплопровідний калориметр» [1...5]. До них відносяться не тільки прилади, в яких досліджуваний зразок пасивно виділяє або поглинає теплоту, але і калориметри, де між речовинами протікає хімічна реакція. На рисунку 1

<sup>2</sup>Authors: Vorobiov Leonid Yosypovych, Dekusha Leonid Vasylovych, Gryshchenko Tetiana Georgievna



наведена умовна теплова схема кондуктивного калориметру (теплового потоку) [2].



- 1 - навколишнє середовище;  
 2 - калориметрична оболонка з температурою  $T_O$ ;  
 3 - калориметрична комірка (посудина) з температурою  $T_K$ ;  
 4 - тепловий опір  $R_T$

**Рисунок 1 – Умовна теплова схема кондуктивного калориметру (теплового потоку) [2].**

У кондуктивному калориметрі (див. рис. 1) між коміркою і термостатом розміщують речовини або елемент з відомим тепловим опором  $R_T$ , так званий теплопровідник. Кількість теплоти, що виділяється в одиницю часу, тобто тепловий потік від комірки до термостата  $W_q$ , визначають по результату вимірювання різниці температури між ними  $\Delta T$  за формулою:

$$W_q = R_T \cdot \Delta T . \quad (1)$$

Загальна кількість теплоти, що виділяється при реакції за проміжок часу  $(t_k - t_n)$  від початку до кінця експерименту, знаходиться інтегруванням за формулою:

$$Q = \int_{t_n}^{t_k} W_q(t) \cdot dt . \quad (2)$$

У кондуктивному калориметрі для зменшення впливу зовнішніх теплових впливів також застосовують диференціальні схеми з двома ідентичним калориметричними (вимірювальними) комірками, вмонтованими в загальний термостатований корпус (блок) [1...5].

## 2.2. Огляд перетворювачів (сенсорів) кондуктивних калориметрів

Основним елементом будь-якого кондуктивного калориметра є перетворювач (сенсор, вимірювач) теплового потоку. Такий перетворювач



часто є батареєю термопар (термоелектричних перетворювачів, елементів, сенсорів). Термопара є широко вживаним перетворювачем температури, особливо зручним для вимірювань різниці значень температури точок, рознесених у просторі. Для виготовлення термопар використовують різноманітні пари термоелектричних матеріалів – чисті метали, сплави, напівпровідники [3, 4, 6, 7]. У кондуктивних калориметрах для збільшення чутливості термопари підключають послідовно за електричним сигналом та паралельно за тепловим потоком, тобто гарячі спаї – на поверхні комірки, а холодні – на поверхні термостатованого блоку. Така батарея термопар одночасно є чутливим елементом калориметра і елементом, який забезпечує стабільний тепловий зв'язок між коміркою і термостатованим блоком.

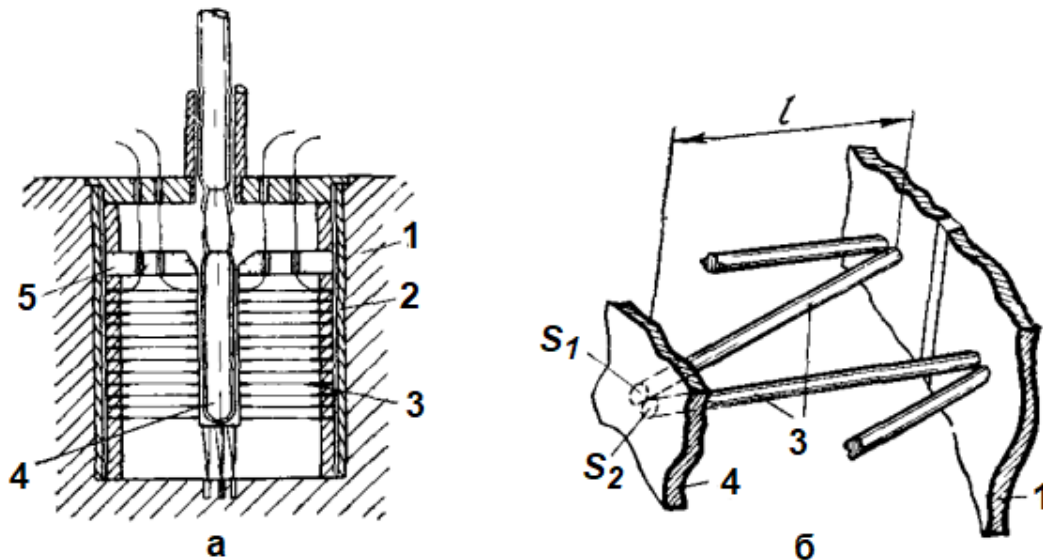
Тепловий опір батареї термопар суттєво впливає на метрологічні і динамічні характеристики калориметра. Зазвичай, чим більший тепловий опір, тим більша чутливість приладу. Однак, з іншої сторони, стала часу калориметра приблизно дорівнює добутку теплоємності комірки з реакційною посудиною і зразком на тепловий опір батареї термопар, тобто збільшення опору призводить до збільшення сталої часу і динамічних похибок.

Нижче представлені різні конструкції і варіанти монтажу термобатарей, широко застосовуваних у калориметрах.

Перші перетворювачі у кондуктивних калориметрах Тіана-Кальве [1...5] представляли собою термопарні батареї, спаї якої встановлені безпосередньо на зовнішній поверхні калориметричної комірки (реакційному патроні) та внутрішній стінці циліндричної порожнини масивного термостатованого блоку або між двома калориметричними комірками (рисунок 2). Спаї термопар індивідуально монтувалися на поверхнях теплових колекторів (рисунок 3). Зварні термопари і батареї термопар побудовані на використанні ефекту Зеебека і дуже зручні для вимірювання різниці температур.

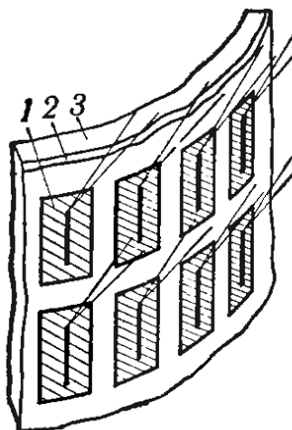
Кальве [5] запропонував розташовувати термопари навколо калориметричної комірки таким чином, щоб вся її поверхня була покрита спаями. У цих умовах ТЕДС термобатарей пропорційна загальному тепловому потоку, що виходить від комірки.

Матеріал термопар хромель - алюмель, хромель – копель, залізо – константан, діаметр гілок 0,2...0,8 мм, довжина ~ 30 мм, кількість термопар – близько 1000 [5]. Такі перетворювачі низько технологічні та трудомісткі.



1 – термостатований блок; 2, 5 – елементи конструкції; 3 – гілки термопар; 4 – реакційна камера.

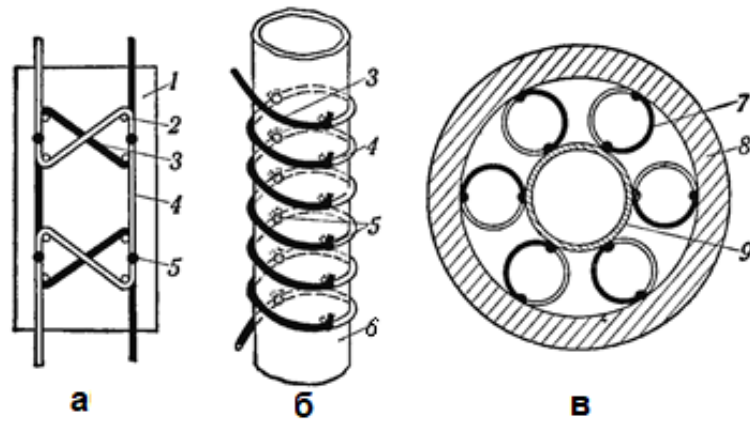
**Рисунок 2 - Типова схема розміщення термопарного перетворювача (а) та варіант конструкції термопари (б).**



1 – тепловий колектор;  
2 – електрична ізоляція;  
3 – тонкостінний реакційний патрон (комірка)

**Рисунок 3 - Монтаж термобатареї до реакційного патрону (комірки).**

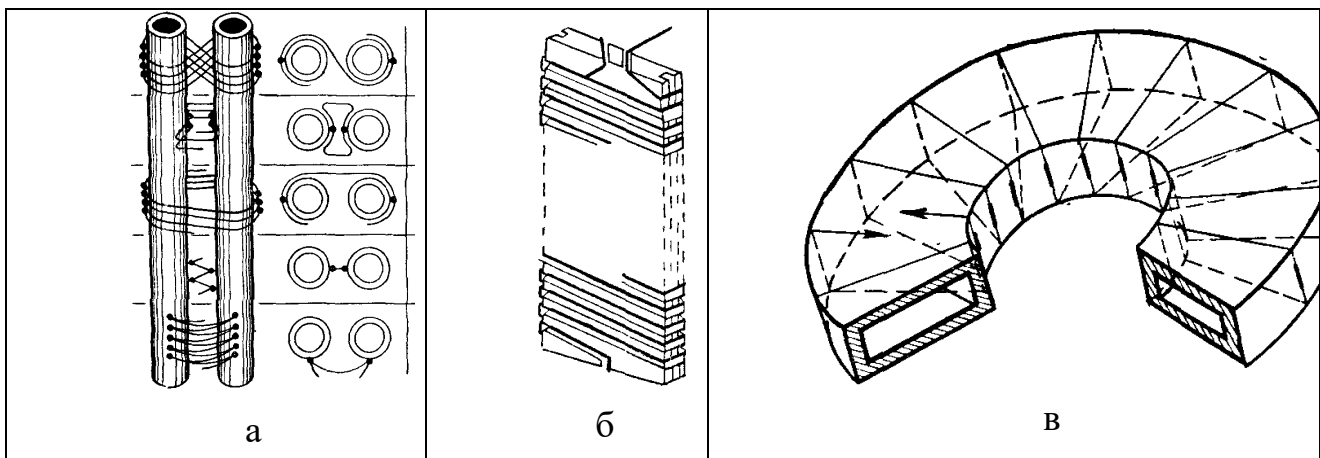
Безкаркасні перетворювачі створюють і на основі спіральних циліндричних термобатарей зі зварними напіввитками. Кожен напіввиток є гілкою термопари (рисунок 4) [4]. При виготовленні такого перетворювача попередньо на шаблоні виготовляють дротяний ланцюг з послідовно з'єднаних відрізків термопари (див. рис. 4а). Потім дріт намотують на циліндричний накачаний повітрям гумовий патрон так, щоб спаї розташовувалися на двох діаметрально протилежних твірних лініях циліндру (див. рис. 4б). Отримані таким чином термобатареї вклеюють в вимірювальну комірку епоксидною смолою, після полімеризації якої патрон видаляється (див. рис. 4в). [4].



1 - плита; 2 - стрижні; 3, 4 - дротяні термоелектроди;  
 5 - спаї термопар; 6 - гумовий патрон; 7 - секція термобатареї; 8 -  
 зовнішній термостатований корпус; 9 - реакційна камера (комірка)  
 а - пристрій для виготовлення спіральної термобатареї;  
 б - спіральна термобатарея на гумовому патроні;  
 в - термобатарея в вимірю-котельної осередку

**Рисунок 4 - Безкаркасна спіральна термобатарея**

Іноді для монтажу термобатарей використовують різні додаткові елементи конструкції, які забезпечують надійний тепловий контакт і одночасно електричну ізоляцію спаїв. Для цієї мети використовують обжині кільця, пластини, каркаси. На рисунку 5 показані термобатареї, змонтовані на поверхнях циліндричних комірок (а), на прямокутному каркасі з тefлону (б) і на кільцевому каркасі (в) [3, 4].



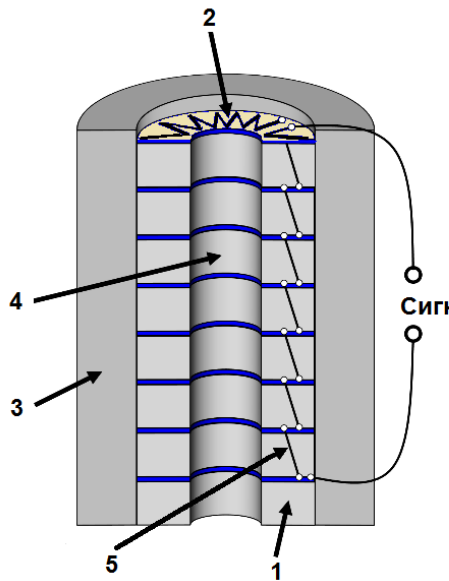
**Рисунок 5 - Варіанти монтажу дротяних термобатарей у кондуктивних калориметрах – безкаркасного (а) та каркасного (б, в).**



Наприклад, для мініатюрного диференціального калориметра (див. рис. 5а), одна з двох батарей термоелементів (наприклад хромель-константанових) вмонтована між комірками, а інша охоплює їх зовнішні поверхні [4]. Для подолання труднощів низькотехнологічної по-елементної збірки термобатарей у калориметрах розроблені різні варіанти батарей галетного типу, які можуть бути виконані на прямокутному (див. рис. 5б) або кільцевому несучому каркасі (див. рис. 5в) з електроізоляційного матеріалу. При цьому внутрішня циліндрична поверхня контактує з реакційної камерою, а зовнішня - з термостатованим блоком. Матеріал каркаса вибирається по можливості мінімальної теплопровідності і з достатньою механічною і термічною міцністю [3, 4].

Сучасним методом виготовлення каркасних перетворювачів для кондуктивних калориметричних приладів є застосування технології спільного обжигу низькотемпературної кераміки (LTCC – Low Temperature Co-fired Ceramics) [8, 9]. Циліндрична калориметрична комірка оточена кількома керамічними кільцевими каркасами (рис. 6) на пласкій поверхні яких «надруковані» батареї термопар у яких «гарячі» спаї наближені до комірки, а «холодні» - до оточуючого теплорозсіювального корпусу. Батареї всіх дискових каркасів послідовно з'єднані між собою перемичками, для яких передбачені канали у дисках. Низькотемпературна кераміка створюється на основі кристалізованого скла або суміші скла та кераміки ( $Al_2O_3$ ,  $Si_2O_3$ ,  $PbO$  і т. д.). Для нанесення провідних елементів термопар і з'єднань застосовують електропровідні пасти, сумісні з низькотемпературної керамікою. Провідні пасти легко наносяться трафаретним друком, що дозволяє отримувати топологію з високою роздільною здатністю. При спільному обжигу важливими параметрами металізації є усадка і теплове розширення матеріалів, які повинні бути порівнянні з параметрами використовуваної кераміки.

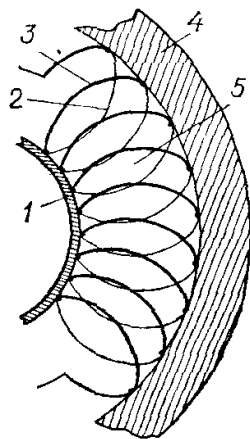
Розповсюдження набули спіральні безкаркасні термобатареї, виготовлені за допомогою технології гальванічного осадження. Найбільш часто для цього застосовують термоелектричну пару мідь – константан. Для виготовлення такої термобатареї навивають на каркас спіраль з константанового дроту. Спіраль з каркасом занурюють у електроліт так, щоб покрити шаром міді половину кожного витка спіралі. Товщину шару міді вибирають такою, щоб забезпечити максимально термо-ЕРС термоелементу при мінімальній його теплопровідності. Оптимальна товщина шару покриття досягається при



- 1 - керамічний кільцевий каркас;
- 2 - «надрукована» батарея термопар;
- 3 - теплоізолювальний корпус;
- 4 - канал для калориметричної комірки;
- 5 - перемичка.

**Рисунок 6 - Каркасний перетворювач із застосуванням технології спільного обжигу низькотемпературної кераміки (LTCC).**

виконанні умови  $S_1/S_2 = \sqrt{\lambda_1 \cdot \rho_1 / \lambda_2 \cdot \rho_2}$ , де  $S_1/S_2$  - поперечний переріз дроту та покриття,  $\rho_1, \rho_2, \lambda_1, \lambda_2$  - питомі опори та теплопровідність матеріалів дроту та покриття. Варіант монтажу спіральної термобатареї з гальванічно осадженими електродами наведений на рис. 7.



- 1 - реакційна камера (комірка);
- 2 - константанова гілка;
- 3 - гілка з мідним покриттям;
- 4 - термостатована оболонка;
- 5 - спіральна термобатарея

**Рисунок 7 - Монтаж спіральної термобатареї з гальванічним покриттям.**

Дві такі гальванічні константан-мідні термобатареї застосовані у перекидному мікрокалориметрі для дослідження реакцій з декількома реагентами [3, 4], в якому термостатований блок циліндричної форми



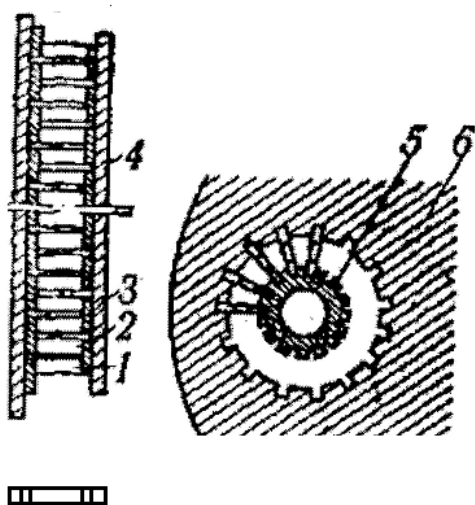
теплоізолюваний посудиною Дьюара.

У термоелектричних анізотропних сенсорах використовують елементи у вигляді брусків або спіралей з монокристалів, що мають анізотропію ТЕРС. Протилежні грані елементів призводять до теплового контакту з поверхнями калориметричної комірки і термостата. Теплові процеси в комірці викликають зміну її температури і тепловий потік через грані елементів, внаслідок чого виникає поперечна тепловому потоку ТЕРС і різниця потенціалів на електричних виводах перетворювача. Різні види конструкцій зварних батарей термопар і анізотропних термоелементів, а також методи їх розрахунку розглянуті в [3, 4]. Загальним недоліком цих пристроїв є складність технології їх виготовлення.

Спіральні вихрові термоелектричні перетворювачі та короткозамкнені термоелементи та їх характеристики також розглянуті у [3, 4].

Найбільшу чутливість мають перетворювачі, виготовлені з напівпровідникових матеріалів. У більшості випадків застосовують термоелектричні модулі з матеріалів на основі  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , призначені для термоелектричного охолодження [3...5, 10]. Використовують і спеціально створені для мікрокалориметрії напівпровідникові термобатареї.

У мікрокалориметрії типу Кальве [10] використані напівпровідникові термоелементи n- та p-типу ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SB}_2\text{Te}_3$ ;  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ ), які скомпоновані в галети з 13 термопар кожна і розміщені в вертикальних пазах на зовнішній стороні реакційної комірки і на внутрішній поверхні термостатованого блоку, як і показано на рисунку 8.



- 1 - n-гілка; 2 - p-гілка;  
 3 - мідні перемички;  
 4 - алюмінієві теплові переходи (колектори);  
 5 - реакційна камера;  
 6 - термостатований блок

**Рисунок 8 - Монтаж термобатареї з напівпровідниковими термоелементами [10]**

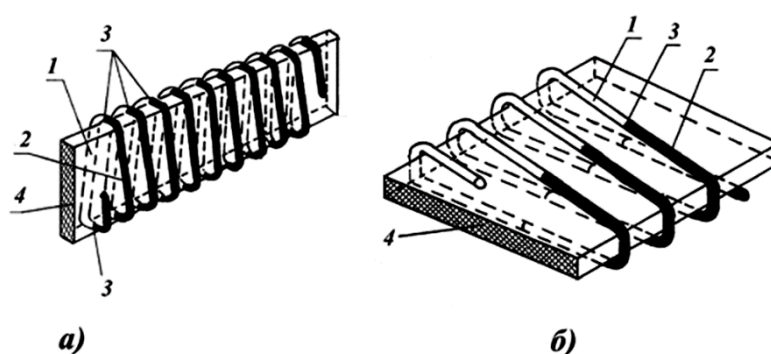




У реакційній камері діаметром 17,5 мм і висотою 80 мм змонтовано 15 галет. Їх послідовне з'єднання виконано як для вимірювальної термобатареї, так і для компенсувальної батареї елементів Пельтьє.

### 2.3. Батарейні перетворювачі з гальванічним нанесенням парного термоелектродного матеріалу

Відомі батарейні перетворювачі теплового потоку (ПТП), виготовлені зі дротової спіралі одного термоелектродного матеріалу, на яку гальванічним способом нанесені окремі ділянки парного термоелектродного матеріалу [11...14]. Такі перетворювачі отримали широке розповсюдження для вирішення завдань діагностики і моніторингу різноманітних об'єктів у енергетиці, будівництві та аерокосмічній техніці, для побудови різноманітних вимірювальних засобів [15]. Основою такої батареї термоелементів є навита на стрічковий каркас з електроізоляційної плівки пласка спіраль (рис. 9), яка виготовлена з дроту основного термоелектродного матеріалу, з періодично нанесеним покриттям парного термоелектродного металу. При цьому межі переходу від основного (несучого) термоелектрода 1 до біметалевого 2 є «спаями» 3, які розміщені або уздовж обох ребер каркасної стрічки (а) або на центральних лініях поверхонь стрічки (б).



1 - основний термоелектрод; 2 - біметалевий термоелектрод; 3 - спай термоелементів; 4 - стрічковий каркас з електроізоляційної плівки

**Рисунок 9 - Батарейні термоелементи з гальванічним нанесенням термоелектричного матеріалу: а) - термобатарея ПТП у вигляді стрічкоподібної спіралі, зі спаями на ребрі; б) - термобатарея ПТП у вигляді стрічкоподібної спіралі, зі спаями на пласкій грані.**



При виготовленні традиційних плоских ПТП спіраль термоелементів укладають у спеціальну матрицю і заливають електроізоляційним епоксидним компаундом з теплопровідним наповнювачем для придання йому форми монолітної пластини. Такий перетворювач є так званою «додатковою стінкою», на протилежних сторонах якої розміщені спаї термоелементів. При наявності теплового потоку, що проходить крізь додаткову стінку, тобто пластину перетворювача, і відповідно, паралельно через всі елементи термобатареї, виникає перепад температури між спаями, внаслідок чого, в кожному з включених послідовно термоелементів генерується електричний сигнал. Сумарний вихідний сигнал перетворювача пропорційний значенню теплового потоку [11, 12].

Найбільш поширеними є перетворювачі, виготовлені з термоелектричних пар константан-мідь і ніхром-нікель. Розроблено методи розрахунку і конструювання гальванічних ПТП, а також технологія і механізоване обладнання для виготовлення спіралі з гальванічним покриттям [11]. Такі перетворювачі мають високу чутливість, оскільки технологія їх виготовлення дозволяє розміщувати до кількох сотень термоелементів на квадратний сантиметр поверхні перетворювача.

#### **2.4. Конструкція та технологія виготовлення перетворювачів у вигляді циліндричних оболонок**

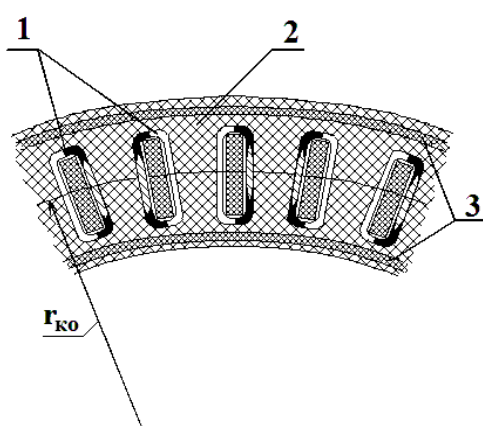
В залежності від призначення та особливостей досліджуваних зразків, комірки кондуктивних калориметрів та перетворювачі теплового потоку можуть мати різні геометричні форма та розміри. Різноманіття форм комірок вимагає створення різних за формою та розмірами перетворювачів теплового потоку. Найбільш часто застосовують плоскі перетворювачі або циліндричні у вигляді оболонки. Іноді застосовують сферичні та конічні оболонки перетворювачів.

При проектуванні калориметричного засобу в залежності від його необхідних характеристик вибирають вид спіралі термоелементів - зі спаями на ребрі або зі спаями на плоскій грані. Перший вид спіралі забезпечує більшу відстань між спаями термобатареї і, відповідно, більший тепловий опір, більшу чутливість та більшу сталу часу калориметричного приладу. Другий вид спіралі



дозволяє зменшити тепловий опір і сталу часу, але програє за чутливістю перетворювача. Устрій та технологія виготовлення циліндричних оболонок з різних видів спіралі також дещо різняться.

На рис. 10а показаний поперечний переріз циліндричної оболонки площиною, перпендикулярною до її вісі при використанні спіралі термоелементів зі спаями на ребрі, а на рис. 10б – фотографія готової оболонки. При виготовленні такої оболонки виконують зазначену нижче послідовність операцій. Готують спеціальну матрицю з фторопласту, яка відповідає розгортці оболонки. На фторопластовий лист матриці накладають тонку бавовняну тканину, проколюючи яку в підготовлені отвори вводять сталеві напрямні кілочки. Встановлюють прямокутну рамку, що обмежують розміри заготовки, при цьому товщина рамки відповідає товщині оболонки, що виготовляється, а матеріал або покриття рамки не повинні склеюватися з епоксидним компаундом. Укладають спіраль в матрицю у вигляді "меандру" так, щоб довгі прямолінійні ділянки були орієнтовані вздовж лінії, котра буде паралельна вісі циліндра. Спіраль має бути покладена рівномірно, притиснута до поверхні матриці і не мати перекручень. До кінців спіралі підпоюють вихідні дроти.



а



б

1 – спіраль термоелементів; 2 – епоксидний компаунд; 3 - бавовняна тканина

**Рисунок 10 - Батарейний перетворювач у вигляді циліндричної оболонки з використанням спіралі термоелементів зі спаями на ребрі: а) - поперечний переріз площиною, перпендикулярною до осі оболонки; б) – фотографія оболонки**

Готують заливний компаунд з епоксидної смоли, порошкоподібного наповнювача (мелене кварцове скло) і отверджувача. Компаунд заливають в матрицю, ретельно розрівнюючи його і заповнюючи всі проміжки між



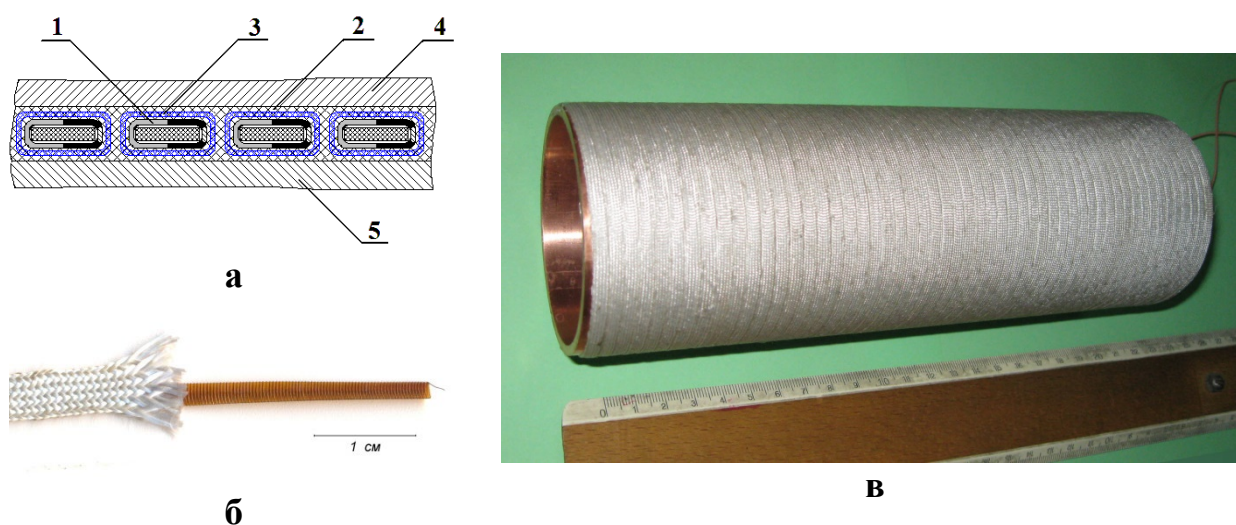
ділянками спіралі. Закривають заготовку іншим шаром бавовняної тканини, а потім шаром фторопласту. Матрицю з заготовкою поміщають в струбцину або під прес з регульованим підігрівом і нагрівають до температури  $(333 \pm 5)$  К. При цій же температурі витримують пробу компаунда, по якій контролюють стан заливного матеріалу. Приблизно через 1...1,5 години, коли компаунд втрачає клейкість, стає еластичним і гумоподібним, матрицю виймають з-під преса, видаляють з заготовки сталеві напрямні кілочки і обмежувальну рамку, обрізають виступаючі краї тканини. Потім еластичній заготівці надають циліндричну форму, обернувши нею циліндричну або конічну калориметричну комірку. Зверху оболонка обертається матерчатою стрічкою і в такому вигляді витримується в повітряно-сухому термостаті при температурі 353 К протягом 3...4 годин до затвердіння. Потім матерчату стрічку знімають і, при необхідності, обрізають і вирівнюють краї оболонки. Далі знову обмотують оболонку стрічкою і поміщають в термостат при температурі 353 К на 48 годин. Протягом цього часу відбувається повна полімеризація компаунда і фіксація форми оболонки. Виготовлена таким чином оболонка має форму циліндра з вузьким технологічним зазором уздовж твірної і відкритими торцями, армована зсередини і зовні шарами тканини, а теплочутлива спіраль термоелементів рівномірно розподілена по всій поверхні. При збиранні калориметру оболонка вклеюється в зазор між калориметричною коміркою і зовнішнім блоком за допомогою епоксидного клею без наповнювача.

Виготовлення циліндричної оболонки з спіралі термоелементів зі спаями на пласкій грані проводиться за іншою технологією. Спіраль попередньо протягують у електроізоляційну трубку зі склотканини, а потім намотують на бокову поверхню циліндричної калориметричної комірки по спіралі. Готують заливний компаунд з епоксидної смоли, отверджувача і порошкоподібного наповнювача (мелене кварцове скло). Спіраль просочують епоксидним компаундом, після чого калориметричну комірку з оболонкою вклеюють у зовнішній блок. На рисунку 11 представлені поперечний переріз оболонки площиною, в якій знаходиться вісь комірки, та фотографії спіралі термоелементів у трубці зі склотканини, а також калориметричної комірки з намотаною спіраллю.

Полімеризація епоксидного компаунда, що використовується для формування і вклеювання перетворювача, супроводжується електрохімічними ефектами, з виділенням летючих компонентів, зміною електричного опору



ізоляції та термічного опору оболонки. Процес полімеризації носить тривалий характер, причому, вихід летючих речовин і стабілізація властивостей оболонки значно сповільнюються внаслідок того, що після вклеювання відкритими залишаються лише дуже малі торцеві поверхні, а внутрішня і зовнішні поверхні оболонки закриті. Для прискорення процесу полімеризації оболонка в зборі з корпусом і стаканом калориметричної комірки піддається термоциклічним навантаженням шляхом щоденного нагріву до 353...358 К протягом 7...8 годин.



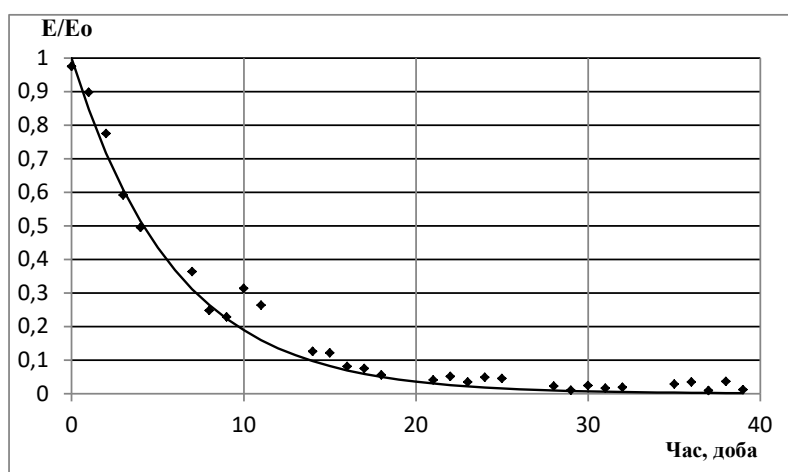
1 – спіраль термоелементів; 2 – епоксидний компаунд; 3 – трубка зі склотканини; 4 – калориметрична комірка; 5 – зовнішній блок.

**Рисунок 11 - Циліндричний батарейний перетворювач зі спіралі термоелементів із спаями на пласкій грані: а) - поперечний переріз оболонки площиною, в якій знаходиться вісь комірки; б) - фотографія спіралі термоелементів у трубіці зі склотканини; в) - калориметрична комірка з намотаною спіраллю.**

Полімеризація епоксидного компаунда, що використовується для формування і вклеювання перетворювача, супроводжується електрохімічними ефектами, з виділенням летючих компонентів, зміною електричного опору ізоляції та термічного опору оболонки. Процес полімеризації носить тривалий характер, причому, вихід летючих речовин і стабілізація властивостей оболонки значно сповільнюються внаслідок того, що після вклеювання відкритими залишаються лише дуже малі торцеві поверхні, а внутрішня і зовнішні поверхні оболонки закриті. Для прискорення процесу полімеризації оболонка в зборі з



корпусом і стаканом калориметричної комірки піддається термоциклічним навантаженням шляхом щоденного нагріву до 353...358 К протягом 7...8 годин. До закінчення полімеризації компаунд має електричну провідність і електролітичні властивості, які зручно використовувати для контролю процесу. Так, для оболонки з внутрішнім об'ємом близьким до 1 дм<sup>3</sup> і товщиною циліндричної стінки 0,6 мм, безпосередньо після вклеювання оболонки в один із калориметричних приладів, гальванічна напруга між її вихідними виводами і коміркою при температурі 323 К складає 0,5...1 В і поступово зменшується до 0,010...0,015 В протягом 30 діб. На рисунку 12 представлені експериментальні дані про характер зміни напруги відносно початкового значення  $E_0$ .



**Рисунок 12 - Експериментальні дані про характер зміни гальванічної напруги між вихідними виводами і коміркою калориметра.**

Виміри проводилися в стаціонарному тепловому режимі при температурі  $(323 \pm 5)$  К цифровим приладом з автономним живленням і вхідним опором більше 20 МОм. Функція зміни напруги у часі близька до затухаючої експоненціальної зі сталою часу 6 діб, яка на рис.3.5 показана неперервною лінією. Після закінчення полімеризації електричний опір ізоляції між виводами оболонки і корпусом при температурі 323 К має значення не менше 10 МОм.

За аналогічною технологією можуть виготовлятися конічні теплотричні оболонки та перетворювачі інших форм.

**Висновок.**

Основним елементом будь-якого кондуктивного калориметра є перетворювач теплового потоку. Застосування перетворювачів для кондуктивних калориметрів на базі гальванічних ПТП, зважаючи на їх високу чутливість та технологічність виготовлення, є перспективним напрямом вдосконалення систем калориметрії.