

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОНИКНОГО ПЛОЩИННОГО
ТЕРМОЕЛЕМЕНТА**

*Анатичук Л.І., Черкез Р.Г., Дем'янюк Д.Д., Бухараєва Н.Р.
(Інститут термоелектрики, вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна)*

- Показано результати досліджень конструкції проникного площинного термоелемента, що використовується для охолодження та нагріву потоків газів і рідин. Описано методику експериментального визначення параметрів термоелемента в режимі охолодження та нагріву повітря. Наведено значення енергетичних характеристик термоелемента з напівпровідникових матеріалів на основі *Bi-Te-Se-Sb*. Отримані дані свідчать про можливість забезпечення температурного режиму охолодження та нагріву повітря на рівні 5 – 25°C з енергетичною ефективністю, що перевищує на 6 – 16% можливості традиційних термоелементів.

Вступ

Напрямок підвищення ефективності перетворення енергії є використання більш загальних фізичних моделей термоелементів, у яких теплообмін з джерелом та стоком тепла відбувається не тільки на спаях як у традиційних термоелементах, а й в об'ємі матеріалу віток [1]. Варіанти реалізації таких моделей – проникні термоелементи, у яких в матеріалах віток уздовж напрямку протікання електричного струму є канали (пори) для прокачування теплоносія [2 – 4]. Керуючи умовами теплообміну (швидкість теплоносія, інтенсивність теплообміну і т.д.) в поєднанні з розподілом фізичних ефектів у матеріалі віток, можна впливати на енергетичну ефективність перетворення енергії з метою її покращення.

Перші теоретичні дослідження таких термоелементів охолодження потоків газів та рідин показали [5 – 7] перспективність використання такого напряму, оскільки є можливість підвищити холодильний коефіцієнт на 30 – 40%. Це значно розширює можливості практичного використання прямого безмашинного термоелектричного способу охолодження, який як відомо [1, 8], характеризується простотою конструкції, високою точністю регулювання температурного режиму, екологічною чистотою, надійністю в роботі тощо.

Однак створення та практична реалізація проникних термоелементів пов'язані з матеріалознавчими і технологічними труднощами, які обумовлені організацією теплообміну теплоносія в об'ємі віток. Це спонукає до пошуку простіших варіантів фізичних моделей перетворювачів із внутрішнім теплообміном. Варіантом реалізації внутрішнього теплообміну є проникні площинні термоелементи [7], в яких кожна вітка складається з певної кількості пластин, розміщених на віддалі одна від одної. Проміжки між пластинами утворюють канали, якими прокачується теплоносій (рідина або газ).

Мета праці – дослідження проникного площинного термоелемента з напівпровідникових матеріалів на основі *Bi-Te-Se-Sb* та визначення енергетичних характеристик в режимі охолодження і нагріву повітря.

Конструкція проникного термоелемента

На рис. 1 показано фізичну модель проникного площинного термоелемента охолодження (рис. 1 а) та конструкцію термоелемента (рис. 1 б). Термоелемент складається з віток *n*- та *p*-типів провідності на основі матеріалів *Bi-Te-Se-Sb*, що утворені з пластин 1, які покриті

антидифузійними шарами з нікелю; мідних електрокомутаційних смужок 2, які з'єднують пластини вітки 1 по холодній поверхні та теплообмінника з міді 3, що покритий антидифузійним шаром нікелю і комутує пластини вітки по теплій стороні термоелемента. Теплообмінник 3 містить систему каналів 4 для прокачки по них теплоносія, що відводить тепло від теплої сторони термоелемента, та систему каналів 5 теплоносія, який необхідно охолодити. Останні канали разом з каналами 6, утвореними площинами віток термоелемента 1 та електрокомутаційними смужками 2, створюють систему наскрізних каналів проникного термоелемента для прокачки по них теплоносія, який необхідно охолодити.

Проходження електричного струму відповідної полярності за допомогою електровиводів 7 через вітки 1 внаслідок сумісної дії ефектів Пельтьє і Джоуля викликає підігрів верхнього теплообмінника 3 та охолодження електрокомутаційних смужок 2. Пропускання рідкого теплоносія, який необхідно охолодити, наприклад, або повітря, через систему наскрізних каналів 5, 6 призводить до його охолодження завдяки теплообміну з бічною більш холодною поверхнею віток 1.

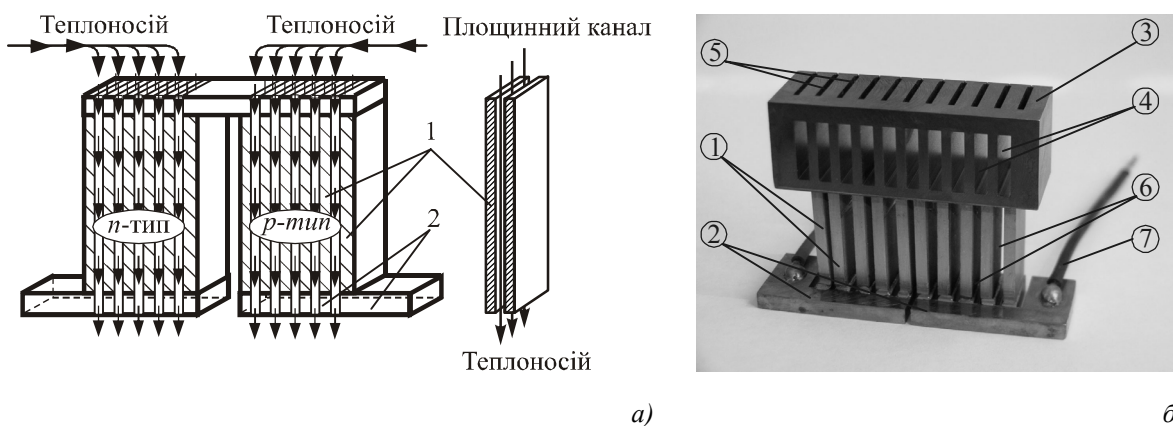


Рис. 1. Фізична модель та конструкція проникного термоелемента.

Методика та результати експериментальних досліджень

Дослідження проникного термоелемента здійснювалося на стенді, схему якого зображено на рис. 2. Для створення потоку повітря через термоелемент 1 використано аеродинамічну трубу 2 з вентилятором 3. Теплова ізоляція від навколишнього середовища забезпечується кожухом 4 із ПВХ та пінопластом 5. Амперметром 6 та вольтметром 7 вимірюються параметри живлення термоелемента. Термостатування теплих спаїв термоелемента забезпечує рідинний термостат 8. Керування потоку повітря здійснюється зміною швидкості обертання вентилятора 3 блоком живлення 9. Температуру повітря на вході в термоелемент, а також температури гарячого та холодного спаїв термоелемента визначаються диференційними термопарами 10–12 відповідно. Сигнали термопар через перемикач 13 виводяться на вольтметр 14. Вільні спаї 15 вимірювальних термопар 10–12 поміщені в нуль-термостат 16, яким є термос із сумішшю води і льоду. Температуру та швидкість повітря на виході з термоелемента визначається датчиком 17 анемометра 18.

Водяним термостатом 8 забезпечується підтримання теплих спаїв термоелементів на рівні температури навколишнього середовища $T_{н.с.}$ °С. За допомогою блока живлення регулюється значення струму I через термоелементи яке вимірюється амперметром 6. Швидкість руху повітря через термоелемент встановлюємо шляхом регулювання блоком живлення вентилятора та контролюючи її за показами анемометра 18.

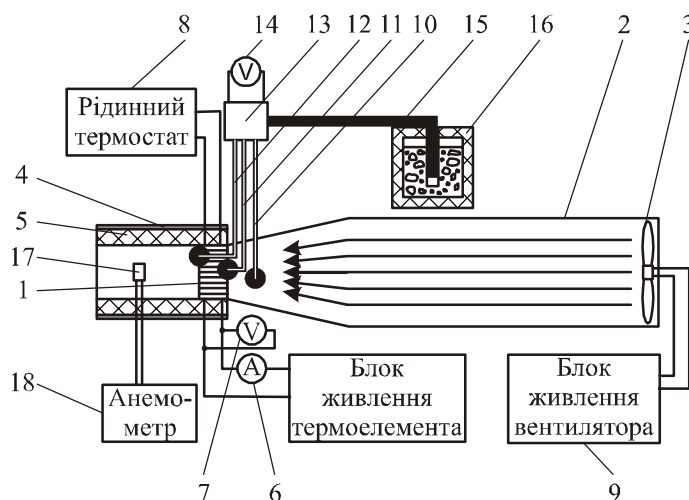


Рис. 2. Схема стенда для дослідження проникних термоелементів.

Термоелемент, що показано на рис. 1 б, виготовлено з термоелектричних екструдованих матеріалів на основі матеріалів *Bi-Te-Se-Sb* з середніми значеннями параметрів: термоЕРС $\alpha \approx 192$ В/К, електропровідність $\sigma \approx 985$ Ом⁻¹см⁻¹. Термоелементи, утворені з площин розмірами $2.4 \times 10 \times 10$ мм віток *n*- та *p*-типів провідності і 5 таких термоелементів, з'єднані електрично послідовно в батарею. Площа поперечного перетину такої термоелектричної батареї становила 6 см², з неї площа матеріалу віток 2.4 см² та площа прохідного перерізу між площинами віток 3.6 см², тобто проникливість становила величину 0.6.

У результаті проведених вимірювань були отримано характеристики проникної термоелектричної батареї для різних швидкостей потоку повітря в режимі охолодження рис. 3 та в режимі нагріву рис. 4.

На рис. 3 подано залежності різниці температур між "теплыми" і "холодними" спаями термоелемента ΔT , глибина охолодження повітря Δt , холодопродуктивність Q_c та значення холодильного коефіцієнту ϵ в залежності від величини електричного струму I . Дані наведено для різних швидкостей повітря (індекс 1 відповідає швидкості повітря 0.1 м/с; 2 – 0.4 м/с; 3 – 1 м/с) в умовах, коли температура повітря на вході в канали становила 30°C.

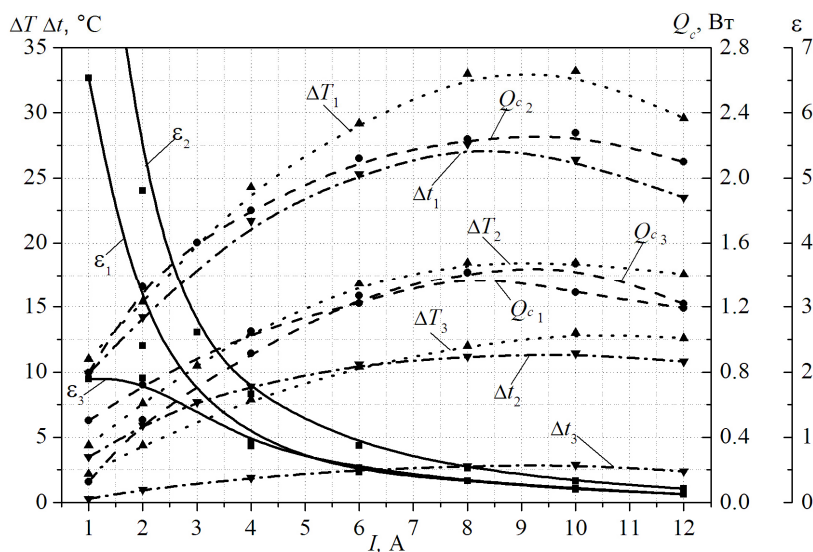


Рис. 3. Характеристики термоелемента в режимі охолодження.

Як видно з даних, області максимальної глибини охолодження повітря відповідають значенням максимальної холодопродуктивності для всіх значень швидкостей повітря.

Холодильний коефіцієнт ε зростає зі зменшенням струму живлення та набуває максимальних значень за такого мінімального струму живлення I , який ще забезпечує необхідну температуру охолодження повітря. Тому роботу проникного термоелемента в режимі максимальної енергетичної ефективності необхідно вести на мінімальному струмі живлення, що було передбачено теоретично у працях [2, 7].

Максимальна холодопродуктивність Q_c термоелемента отримана за швидкості повітря 0.4 м/с, а максимальна глибина охолодження повітря реалізується за швидкості повітря 0.1 м/с. З отриманих даних видно, що наявна оптимальна швидкість повітря, за якої холодопродуктивність Q_c та холодильний коефіцієнт ε будуть найбільші. Так при швидкості 0.4 м/с і струмі 4 А досягається охолодження повітря на 9°C з термодинамічною ефективністю $\varepsilon = 1.8$, що перевищує значення холодильного коефіцієнту для традиційних класичних термоелементів на 6 – 12%.

На рис. 4 подаються дані роботи проникного термоелемента в режимі нагріву. Залежності опалювального коефіцієнта μ , теплопродуктивності Q_h , різниці температур на спаях термобатарей ΔT , перепад температур на повітрі Δt від струму живлення батареї I для різних витрат повітря (індекс 1 – відповідає швидкості повітря 0.1 м/с; 2 – 0.4 м/с; 3 – 1 м/с). За швидкості повітря 0.4 м/с і струмі 3 А отримано такі значення: $Q_h = 7.5$ Вт, $\mu = 11$, $\Delta T = 29^\circ\text{C}$, $\Delta t = 24^\circ\text{C}$. Отримані значення μ перевищують відповідні значення для традиційних термоелементів на 8 – 16%.

Експериментальні дані добре узгоджуються з теоретичними розрахунками, зробленими за методикою, що описана в роботі [7] з урахуванням комутаційних опорів, теплопереходів та теплообмінної системи на теплих спаях термоелемента. Оптимальні умови роботи проникного термоелемента можна визначити на основі розроблених в Інституті термоелектрики комп'ютерних програм проектування.

Отримані значення холодо- і тепло-продуктивності можна покращити через використання рідинного теплоносія в каналах проникного площинного термоелемента. В такому випадку значно поліпшується інтенсивність теплообміну між теплоносієм і матеріалом вітки, завдяки чому підвищуються й енергетичні показники.

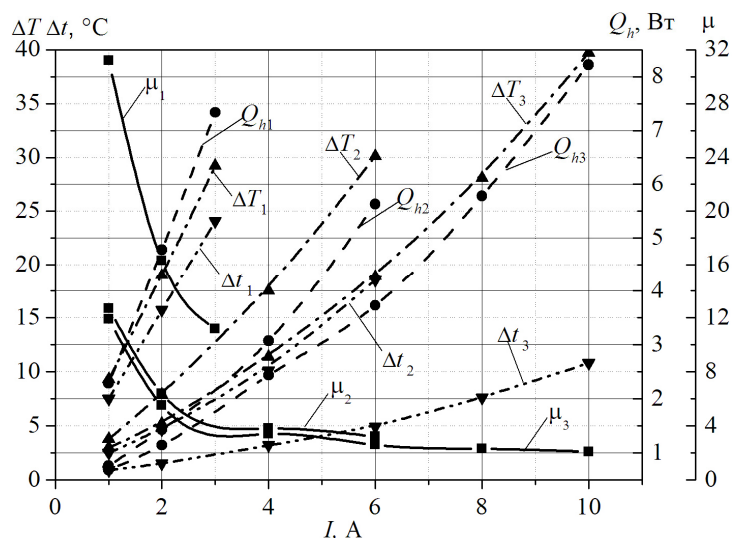


Рис. 4. Характеристики термоелемента в режимі нагріву.

Збільшити глибину охолодження теплоносія можна, використавши каскадні схеми [9], які для проникних термоелементів запропоновані у праці [10]. Відомо, що використання каскадних систем розширює глибину охолодження та підвищує холодильний коефіцієнт, особливо за граничних перепадів температур [11].

Висновки

Запропонована конструкція проникного термоелемента з матеріалів на основі *Bi-Te-Se-Sb* для термостатування повітря дає можливість забезпечити температурний режим охолодження та нагріву повітря на рівні 5 – 25°C з енергетичною ефективністю, що перевищує на 6 – 16% можливості традиційних термоелементів.

Ця конструкція може бути вдосконалена з метою досягнення більших значень холодопродуктивності через використання рідинних теплоносіїв і каскадування. Застосування каскадування в проникних термоелектричних системах розширює глибину охолодження та підвищує холодильний коефіцієнт, особливо за граничних перепадів температур.

Література

1. Анатичук Л.И. Термоэлектричество, Т. 1. Физика термоэлектричества / Л.И. Анатичук. – Черновцы, 2008. – 388 с.
2. Котырло Г.К. Тепловые схемы термоэлектрических устройств / Г.К. Котырло, Г.М. Щеголев. – К.: Наук. думка, 1973. – 215 с.
3. Зорин И.В. Термоэлектрические холодильники и генераторы / И.В. Зорин, З.Я. Зорина. – Л.: Энергия, 1973. – 136 с.
4. Лобунец Ю.Н. Методы расчета и проектирования термоэлектрических преобразователей энергии / Ю.Н. Лобунец. – К.: Наукова думка, 1989. – 176 с.
5. Черкез Р.Г. Система термоэлектрического кондиционирования воздуха на основе проницаемых термоэлементов / Р.Г. Черкез // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 2. – С. 34 – 36.
6. Дудаль В.О. Компьютерное моделирование проницаемых термоэлементов в режиме нагрева / В.О. Дудаль, Р.Г. Черкез // Термоэлектричество. – 2009. – № 4. – С. 57 – 64.
7. Anatychuk L.I., Cherkez R.G. Permeable planar cooling thermoelement // Journal of Thermoelectricity – 2008. – N. 3. – p. 5 – 12.
8. Вайнер А.Л. Термоэлектрические охладители / А.Л. Вайнер – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.
9. Анатичук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л.И. Анатичук – К.: Наукова думка, 1979. – 768 с.
10. Заявка U2011 15035 від 19.12.2011 на видачу патенту України на корисну модель. Термоелектрична батарея / Черкез Р.Г.
11. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода / А.Л. Вайнер. – М.: Советское радио, 1976. – 136 с.

Надійшла до редакції 30.03.2012.