

ХІМІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 537.322:681.11.031.2-027.22(048.83)

МІКУЛЬОНОК І. О.^{1,2*}, ІВАНЕНКО О. І.¹

¹ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут газу Національної академії наук України

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТІВ ЗЕЄБЕКА ТА ПЕЛЬТЬЄ (Огляд)

Одними з основних проблем сьогодення є глобальне потепління, забруднення довкілля та підвищення вартості електроенергії. Частково вирішити зазначені проблеми можна за допомогою термоелектричних генераторів і засобів термостабілізації різноманітних об'єктів, дія яких ґрунтується на ефектах Зеєбека й Пельтьє. Беззаперечними перевагами термоелектричних засобів є їхня екологічна безпечність, безшумність у роботі та тривалий термін служби, а також можливість безпосереднього виробництва електроенергії з відпрацьованого тепла різноманітних процесів і транспортних засобів. Ефекти Пельтьє й Зеєбека знаходять своє застосування в хімічній технології й споріднених галузях промисловості, відновлювальній енергетиці, будівництві, машино- та приладобудуванні, аерокосмічній й військовій техніці, мікроелектроніці, комп'ютерній техніці, медицині, пристроях особистої гігієни, побуті, а також на транспорті. Проте низький коефіцієнт корисної дії й висока вартість матеріалів перешкоджають широкому поширенню термоелектричної технології, незважаючи на її очевидні переваги. Більш широкого застосування термоелектричних технологій можна очікувати в разі розроблення нових струмопровідних матеріалів з різними рівнями енергії електронів у зоні провідності, зокрема напівпровідних, керамічних і полімерних, а також оптимізації геометрії та структури термоелектричних пристроїв.

Ключові слова: термоелектричні явища, ефект Зеєбека, ефект Пельтьє, прикладне застосування, охолодження, генерування електроенергії

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2024.319010

*Corresponding author: i.mikulionok@kpi.ua

Received 24 July 2024; Accepted 05 September 2024

Постановка проблеми. Під час створення інноваційних зразків техніки й технології широко використовується фонд технічних ефектів: фізичних, хімічних, математичних, біологічних та ін. Ці ефекти є невід'ємною частиною інформаційного фонду винахідників і раціоналізаторів, які допомагають їм створювати прості, ефективні та яскраві рішення технічних задач. На превеликий жаль, у закладах середньої освіти (а іноді навіть і вищої) вчителі, викладаючи фізику, хімію, математику, біологію та інші предмети, часто не зосереджують достатньої уваги здобувачів освіти на прикладних аспектах тих чи інших знань, і в результаті останні, володіючи певними знаннями, не в змозі ефективно застосувати їх на практиці. У той самий час використання технічних ефектів у нових розробках часто сприяє появі принципово нових напрямів у певній галузі техніки й технології і є одним з найвищих рівнів інженерної творчості, що дає змогу створювати навіть піонерні технічні рішення.

У зв'язку з обмеженістю викопних паливно-енергетичних ресурсів, глобальним потеплінням, забрудненням довкілля та підвищенням вартості електроенергії останнім часом дослідники й розробники нової техніки все пильніше звертають увагу на термоелектричні явища – фізичні явища, обумовлені взаємозв'язком між електричним струмом та потоками теплоти в речовинах і контактах між ними, до яких насамперед належать ефекти Зеєбека й Пельтьє [1–3]:

– ефект Зеєбека (відкрито 1821 року німецьким фізиком Томасом Йоганном Зеєбеком (нім. *Thomas*

Johann Seebeck, 1779–1831) – явище виникнення електрорушійної сили між двома контактами різних провідників, при цьому зазначені контакти перебувають за різної температури (класичним прикладом застосування цього ефекту є термопара);

– ефект Пельтьє (відкрито 1834 року французьким фізиком Жан Шарлем Пельтьє (фр. *Jean-Charles Peltier*; 1785–1845)) – явище виділення або поглинання тепла на контактах двох провідників під час проходження крізь них електричного струму.

Відсутність в елементі Пельтьє (термоелектричному модулі), який реалізує зазначені ефекти, будь-яких рухомих частин і речовин, безшумність у роботі, тривалий термін служби, а також його оборотність (у разі зміни полярності постійного струму гаряча та холодна поверхні змінюються місцями) може істотно зменшити матеріалоемність відповідного обладнання та пристроїв, а також спростити їхнє виготовлення та експлуатацію. Крім того, на відміну від традиційних джерел електричного струму, а також найбільш розповсюджених парокompресійного холодильного обладнання термоелектричні пристрої майже не чинять негативного впливу на довкілля, зокрема не роблять внесок у глобальне потепління й забруднення навколишнього середовища [4].

Аналіз попередніх досліджень. Одне із застосувань ефектів Пельтьє й Зеебека – забезпечення певного теплового режиму технологічного й допоміжного обладнання, але за допомогою іншого фізичного ефекту – термомагнітного, а саме фазового переходу другого роду (фазовий перехід між феромагнітним і парамагнітним станом речовини), докладно розглянуто в працях [5–7]. Проте відповідний температурний режим зазвичай перевищує температуру навколишнього середовища, а в разі застосування термоелектричних ефектів потрібна температура зазвичай нижче за температуру навколишнього середовища.

Безпосередньо питанню розроблення й дослідження елементів Пельтьє різного типу присвячено, наприклад, праці [8, 9], проте комплексному аналізу існуючих і перспективних галузей їх застосування, особливо з урахуванням патентної інформації, уваги майже не приділялося.

Метою статті є критичний аналіз галузей практичного застосування ефектів Зеебека й Пельтьє, а також конструктивно-технологічного оформлення процесів, у яких реалізовано зазначені ефекти як для забезпечення певного теплового режиму відповідного обладнання та пристроїв, так і генерування електричної енергії з теплової енергії в термоелектрогенераторах (ТЕГ).

Виклад основного матеріалу

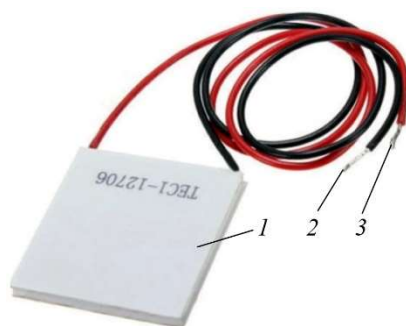
Конструктивна реалізація ефектів Зеебека й Пельтьє ґрунтується насамперед на елементі Пельтьє – термоелектричному перетворювачі (в англійській літературі елементи Пельтьє зазвичай позначаються TEC (від англ. Thermoelectric Cooler – «термоелектричний охолоджувач» [10]), в основі роботи якого лежить контакт двох струмопровідних матеріалів з різними рівнями енергії електронів у зоні провідності. Під час проходження електричного струму крізь елемент Пельтьє теплота переноситься з однієї його робочої поверхні на протилежну й створюється різниця температур, тобто реалізується ефект Пельтьє. В іншому разі, якщо існує різниця температур на робочих поверхнях елемента Пельтьє, він здатний генерувати електричний струм, тобто реалізувати ефект Зеебека. Оскільки в разі контакту металів ефект Пельтьє надто малий, то для його практичного застосування зазвичай використовують два напівпровідники (здебільшого телуриду вісмуту Bi_2Te_3 і твердого розчину SiGe).

Перевагою елемента Пельтьє є компактність, відсутність будь-яких рухомих частин і речовин, безшумність роботи, екологічність, при цьому зміною напрямку струму можливо реалізувати як охолодження, так і нагрівання (у разі зміни полярності постійного струму гаряча та холодна поверхні змінюються місцями), а декілька модулів можна об'єднувати в каскадні складальні одиниці для збільшення різниці температур аби електричної потужності. За умови примусового охолодження гарячої поверхні елемента Пельтьє, зокрема за допомогою радіатора та/або вентилятора, температура холодної поверхні знижується (тобто за умови інтенсифікації відведення теплоти від гарячої поверхні елемента), при цьому в одноступінчастих елементах різниця температур між їхніми робочими поверхнями може досягати $70\text{ }^\circ\text{C}$ і навіть більше. Також для підвищення ефективності відведення теплового потоку елемент Пельтьє може бути встановлено на теплопровідній пасті (термопасті) [11].

Недоліком елемента Пельтьє є низький коефіцієнт корисної дії, що передбачає значні витрати потужності для досягнення помітної різниці температур, проте попри це елементи Пельтьє знайшли широке застосування, оскільки без будь-яких додаткових пристроїв можна реалізувати достатньо низькі робочі температури.

Одним з найбільш поширених модулів Пельтьє, що випускаються натеper у промислових масштабах, є модель TEC1-12706 (рис. 1).

Основні характеристики модуля TEC1-12706: розміри – 40×40×3,9 мм, максимальна напруга – 16,4 В (за температури гарячої поверхні модуля 50 °С), максимальний струм – 6,4 А, споживча потужність (холодопродуктивність) – 57 Вт, максимальна робоча температура – 138 °С, максимальний перепад температури між робочими поверхнями – 75 °С, кількість елементів у модулі – 127, ресурс – 200 000 год [12, 13]. Якщо червоний провідник TEC1-12706 підключено до позитивного полюса джерела живлення, а чорний – до негативного, то поверхня з маркуванням охолоджуватиметься, а протилежна поверхня – нагріватиметься. Якщо полярність живлення змінити, то зміняться місцями й холодна та гаряча поверхні модуля. При цьому TEC1-12706 можна перетворити з охолоджувача на нагрівник за допомогою перемикача полярності живлення.



1 – тіло модуля; 2 – чорний провід; 3 – червоний провід

Рис. 1 – Загальний вигляд модуля Пельтьє моделі TEC1-12706

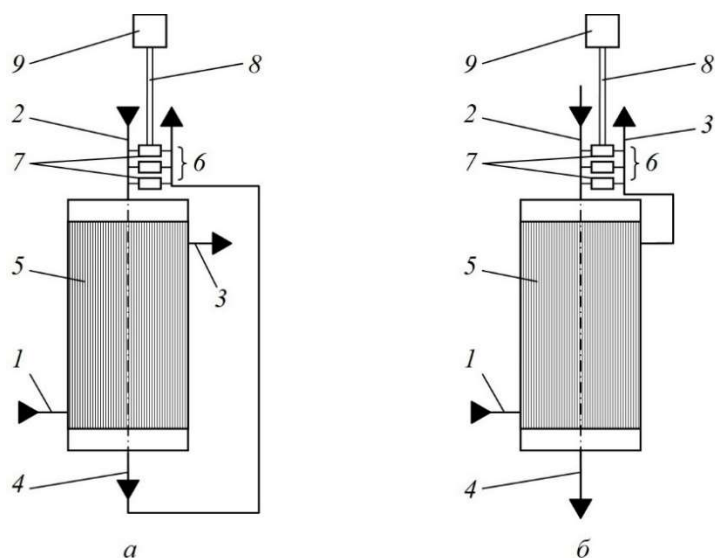
Модуль TEC1-12706 використовується тоді, коли потрібне охолодження з невеликою різницею температур або енергетична ефективність охолоджувача не є важливою: в автомобільних і портативних холодильниках, стабілізаторах температури в кліматичному, медичному та фармацевтичному обладнанні, різноманітних радіоелектронних пристроях, у системах охолодження комп'ютерних процесорів і цифрових фотокамер [14]. Зокрема останнім часом ТЕГ набули широкої популярності в автомобільній техніці для рекуперації теплової енергії, наприклад, для утилізації тепла елементів вихлопної системи для роботи автомобільних термоелектричних холодильників (при цьому призначені для вироблення електроенергії елементи Пельтьє іноді називають елементами Зеебека).

Хімічна і споріднені галузі промисловості

Теплообмінний апарат містить входні 1 і 2 та впускні 3 і 4 магістралі «холодного» (магістралі 1 і 3) та «гарячого» (магістралі 2 і 4) теплоносіїв, а також блок 5 взаємодії теплоносіїв між собою (пат. UA132062U; рис. 2).

Апарат оснащено щонайменше одним ТЕГ 6 на елементах Пельтьє 7, спаї кожного з яких розташовано на магістралях 1–4 одного або різних теплоносіїв із забезпеченням між ними різниці температури, при цьому кожний ТЕГ 6 через електричний ланцюг 8 з'єднано з корисним навантаженням 9. Спаї кожного з елементів Пельтьє 7 можуть бути розташовані, наприклад, на входній і вихідній магістралях 2 і 4 одного теплоносія (рис. 2, а) або один спай кожного із зазначених елементів 7 може бути розташований на входній магістралі 2 «холодного» теплоносія, а другий – на вихідній магістралі 3 «гарячого» теплоносія (рис. 2, б).

Під час руху теплоносіїв крізь блок 5 відбувається процес теплопередачі між ними. При цьому оснащення апарата щонайменше одним ТЕГ 6 забезпечує генерування електричної енергії (за рахунок ефекту Зеебека), яка може бути використана для живлення корисного навантаження різного призначення, зокрема для освітлювання робочого місця апаратника. Пропоноване технічне рішення, яке може бути застосоване на теплообмінних апаратах різного типорозміру та призначення, істотно розширює їхні технологічні можливості.

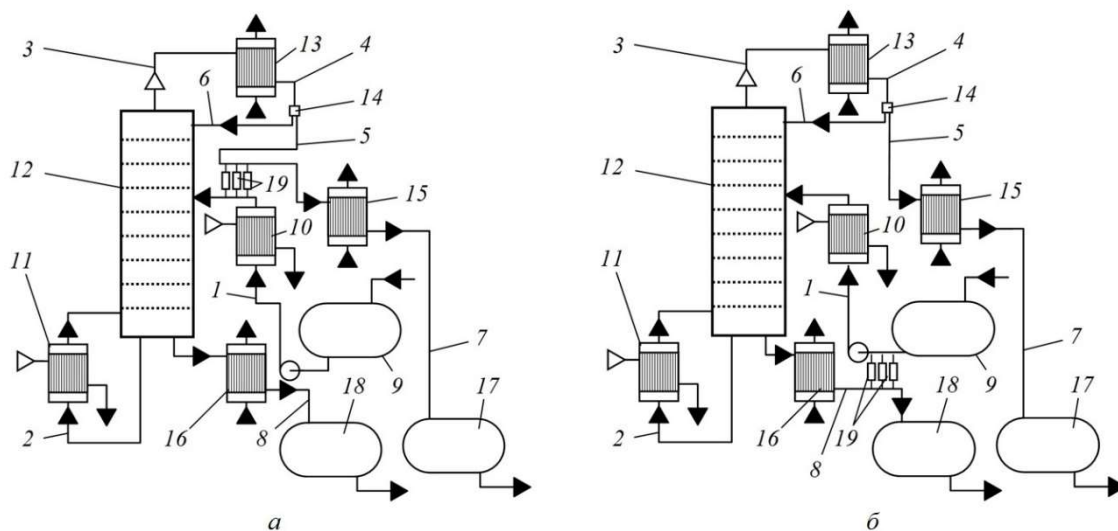


1, 3 – вхідні й вихідні магістралі «холодного» теплоносія; 2, 4 – вхідні й вихідні магістралі «гарячого» теплоносія; 5 – блок взаємодії теплоносіїв між собою; 6 – ТЕГ на елементах Пельтьє 7; 8 – електричний ланцюг; 9 – корисне навантаження

Рис. 2 – Теплообмінник (пат. UA132062U)

ТЕГ аналогічного принципу дії, який використовує різницю температур холодного й гарячого теплоносіїв у трубчастому теплообміннику, також описано в пат. JP2013021899A.

Ректифікаційна установка містить з'єднані магістралями 1–8 ємкість 9 і підігрівник 10 вихідної рідкої суміші, куб-кип'ятильник 11, ректифікаційну колону 12, дефлегматор 13, подільник конденсату 14, холодильники 15 і 16 та збірники дистиляту 17 і кубового залишку 18 (пат. UA132681U; рис. 3). Установку оснащено щонайменше одним ТЕГ на елементах Пельтьє 19, один спай кожного з яких розташовано на магістралі 5 дистиляту (рис. 3, а) або магістралі 8 кубового залишку (рис. 3, б), а другий – на магістралі 1 вихідної рідкої суміші, при цьому кожний ТЕГ через електричний ланцюг з'єднано з корисним навантаженням.



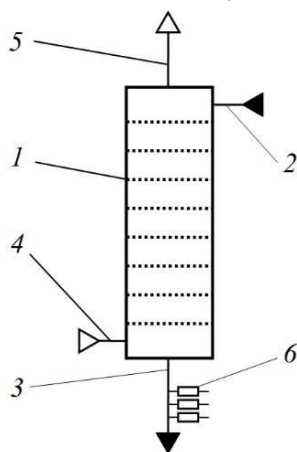
1–8 – магістралі; 9 – ємкість; 10 – підігрівник вихідної рідкої суміші; 11 – куб-кип'ятильник; 12 – ректифікаційна колона; 13 – дефлегматор; 14 – подільник конденсату; 15 і 16 – холодильники; 17, 18 – збірники дистиляту й кубового залишку, відповідно; 19 – ТЕГ

Рис. 3 – Ректифікаційна установка (пат. UA132681U)

Вихідна рідка суміш з ємності 9 подається насосом у підігрівник 10, після якого вона потрапляє в середню частину ректифікаційної колони 12. У верхній частині колони 12 висхідна пара збагачується низькокиплячим компонентом, а у нижній частині – низькокиплячий компонент виділяється з рідини, що кипить. Потік пари підтримується випаровуванням частини кубової рідини в кубі-кип'ятильнику 11, а потік низхідної рідини – поверненням частини конденсату, одержаного в дефлегматорі 13, у вигляді флегми. Конденсат після подільника конденсату 14 надходить у холодильник 15, а після нього – у збірник дистиляту (готового продукту) 17. Частина кубової рідини у вигляді кубового залишку безперервно через холодильник 16 відводиться у збірник кубового залишку 18.

При цьому оснащення установки щонайменше одним ТЕГ забезпечує генерування електричної енергії, яка може бути використана для живлення корисного навантаження різного призначення, зокрема для освітлювання робочого місця апаратника або площадок обслуговування по висоті ректифікаційної колони.

Абсорбційна установка містить абсорбційний апарат 1 з під'єднаними до нього магістраллю 2 підведення абсорбенту й магістраллю 3 відведення абсорбенту, а також магістраллю 4 підведення газу, що підлягає обробленню, та магістраллю 5 відведення обробленого газу. Установку оснащено щонайменше одним ТЕГ на елементах Пельтьє 6, один спай кожного з яких приведено в контакт з магістраллю 3 відведення абсорбенту, а другий – з оточуючим середовищем (наприклад, через радіатор), при цьому кожний ТЕГ через електричний ланцюг з'єднано з корисним навантаженням (пат. UA140069U; рис. 4).



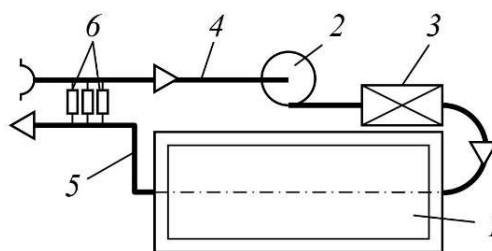
1 – абсорбційний апарат; 2, 3 – магістралі підведення й відведення абсорбенту, відповідно;
4, 5 – магістралі підведення й відведення підведення газу; 6 – ТЕГ

Рис. 4 – Циклон (пат. UA140069U)

Газ, що підлягає обробленню, через магістраль 4 підведення газу потрапляє до абсорбційного апарата 1 і далі розподіляється по його контактній частині. Назустріч газу через магістраль 2 підведення абсорбенту подають свіжий абсорбент, який забезпечує розділення оброблюваного газу. Під час процесу абсорбції абсорбент внаслідок теплоти адсорбції підігрівається. Далі відпрацьований адсорбент через магістраль 4, а оброблений газ через магістраль 5 відводяться з абсорбційного апарата 1.

При цьому завдяки щонайменше одному ТЕГ на елементах Пельтьє 6 забезпечується генерування електричної енергії (за рахунок ефекту Зеебека), яка може бути використана для живлення корисного навантаження різного призначення.

Конвективна сушарка містить сушильну камеру 1, вентилятор 2, калорифер 3, а також магістралі підведення свіжого повітря 4 і відведення відпрацьованого повітря 5 (пат. UA132683U; рис. 5.). Також сушарку оснащено щонайменше одним ТЕГ на елементах Пельтьє 6, один спай кожного з яких розташовано на магістралі підведення свіжого повітря 4, а другий – на магістралі відведення відпрацьованого повітря 5, при цьому кожний ТЕГ через електричний ланцюг з'єднано з корисним навантаженням.



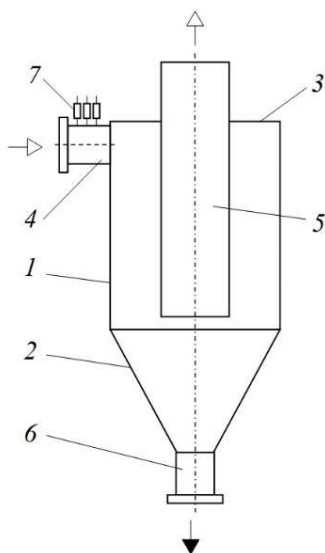
1 – сушильна камера; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4, 5 – магістралі підведення свіжого повітря й відведення відпрацьованого повітря, відповідно; 6 – ТЕГ

Рис. 5 – Конвективна сушарка (пат. UA132683U)

Сипкий матеріал, що підлягає сушінню, циклічно завантажується в сушильну камеру 1 або проходить її безперервно, наприклад, на стрічковому транспортері. Вентилятор 2 нагнітає атмосферне повітря в магістраль підведення свіжого повітря 4, яке потрапляє в калорифер 3 і далі – в сушильну камеру 1, де відбувається сушіння сипкого матеріалу. Відпрацьоване повітря видаляється за межі сушильної камери за допомогою магістралі 5.

При цьому оснащення сушарки щонайменше одним ТЕГ на елементах Пельтьє 6 забезпечує генерування електричної енергії (за рахунок ефекту Зеебека), яка може бути використана для живлення корисного навантаження різного призначення, зокрема для освітлювання робочого місця апаратника. Пропонована конструкція підвищує технологічні можливості сушарки, забезпечуючи генерування електричної енергії за рахунок часткового використання теплоти відпрацьованого повітря.

Циклон містить циліндричний корпус 1 з конічним днищем 2 і кришкою 3, вхідний штуцер 4, установлений тангенційно до циліндричного корпусу 1 у його верхній частині, відвідна труба 5, установлена в кришці 3 співвісно з циліндричним корпусом 1, а також патрубок 6 для відведення твердої фази, виконаний у вершині конічного днища 2 (пат. UA140039U; рис. 6). При цьому циклон оснащено щонайменше одним ТЕГ 7 на елементах Пельтьє, один спай кожного з яких приведено в контакт з вхідним штуцером 4 або відвідною трубою 5, а другий – з оточуючим середовищем (наприклад, через радіатор охолодження), при цьому кожний ТЕГ 7 через електричний ланцюг з'єднано з корисним навантаженням.



1 – корпус; 2 – конічне днище; 3 – кришка; 4 – вхідний штуцер; 5 – відвідна труба;
6 – патрубок для відведення твердої фази; 7 – ТЕГ

Рис. 6 – Циклон (пат. UA140039U)

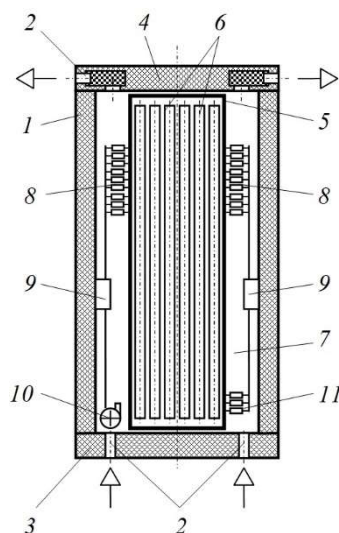
Забруднений газ надходить у вхідний штуцер 4 і далі, рухаючись по низхідній просторовій спіралі, поступово звільняється від частинок дисперсної фази, які осаджуються на внутрішній поверхні корпуса 1 під дією відцентрової сили, далі рухаються під дією сили тяжіння в напрямку конічного днища 2 і врешті-решт видаляються з циклона крізь патрубок 6 для відведення твердої фази. Очищений від дисперсних частинок газ потрапляє у відповідну трубу 5, а далі – скидається в навколишнє середовище.

При цьому оснащення циклона щонайменше одним ТЕГ 7 забезпечує генерування електричної енергії (за рахунок ефекту Зеебека), яка може бути використана для живлення корисного навантаження різного призначення. Зазначена конструкція підвищує технологічні можливості циклона, забезпечуючи генерування електричної енергії за рахунок часткового використання теплоти відпрацьованого газового потоку.

Запропоновано конструкцію реактора для проведення екзотермічної хімічної реакції або екзотермічного фізичного процесу (наприклад, абсорбції). Для забезпечення потрібних ізотермічних умов роботи реактора його оснащено елементами Зеебека й Пельтьє (пат. EP1533610A2).

Також розроблено нескладний у виготовленні та експлуатації пристрій для зберігання відпрацьованого ядерного палива, який може бути використаний в атомній енергетиці під час облаштування сухих сховищ відпрацьованого ядерного палива. При цьому зазначений пристрій, нескладний у виготовленні та експлуатації, істотно підвищує надійність зберігання відпрацьованого ядерного палива, а отже й безпеку під час довготривалого поводження з ним (пат. UA123420C2, UA139911U, UA139912U; рис. 7).

Розроблений пристрій містить захисну оболонку 1 з оснащеними вентиляційними вікнами 2 днищем 3 і кришкою 4, а також розміщений у захисній оболонці 1 контейнер 5 з відпрацьованими тепловідільними збірками 6, при цьому контейнер 5 розміщено в захисній оболонці 1 з проміжком 7 відносно її внутрішньої поверхні для циркуляції між ними атмосферного повітря та охолодження контейнера 5.



1 – захисна оболонка; 2 – вентиляційні вікна; 3 – днище; 4 – кришка; 5 – контейнер з відпрацьованими тепловідільними збірками 6; 7 – проміжок; 8 – ТЕГ; 9 – електричний ланцюг; 10 – вентилятор; 11 – термоелектричний холодильник

**Рис. 7 – Пристрій для зберігання відпрацьованого ядерного палива
(пат. UA123420C2, UA139911U, UA139912U)**

Пристрій оснащено щонайменше одним ТЕГ 8 на елементах Пельтьє, один спай кожного з яких приведено в контакт з зовнішньою поверхнею контейнера 5, а другий – розміщено в проміжку 7 між захисною оболонкою 1 та контейнером 5, при цьому кожний ТЕГ 8 через електричний ланцюг 9 з'єднано з щонайменше одним вентилятором 10 для примусової циркуляції атмосферного повітря в проміжку 7 та/або з щонайменше одним термоелектричним холодильником 11 на елементах Пельтьє, розташованими в проміжку 7 між захисною оболонкою 1 і контейнером 5.

Під час зберігання відпрацьованого ядерного палива виділяється теплова енергія, яка нагріває контейнер 5. Під дією різниці температур між зовнішньою поверхнею стінки контейнера 5 та атмосферного повітря, що перебуває в проміжку 7 між захисною оболонкою 1 і контейнером 5, ТЕГ 8 забезпечують генерування електричної енергії, яка використовується для живлення вентиляторів 10, що забезпечує примусову циркуляцію атмосферного повітря крізь проміжок 7, та/або щонайменше одного термоелектричного холодильника 11.

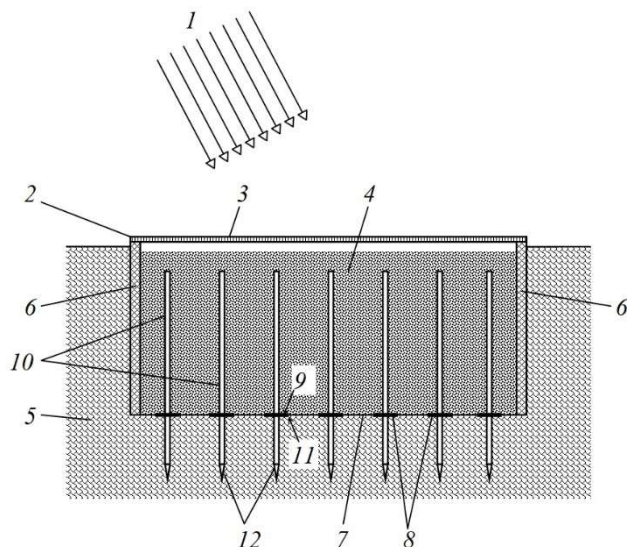
Робота вентилятора 10 та/або термоелектричного холодильника 11 інтенсифікує процес охолодження контейнера 7, а отже й відпрацьованих тепловидільних збірок 6. При цьому відпадає потреба в зовнішньому джерелі живлення вентилятора 10 та/або термоелектричного холодильника 11.

Взагалі теплова енергія, яка відводиться текучими потоками майже з будь-якого технологічного й допоміжного обладнання хімічних й споріднених з ними виробництв [15–22], може бути ефективно рекуперована за допомогою ТЕГ для подальшого використання як у відповідних технологічних і допоміжних процесах, так і з іншою метою (в англійській літературі для цього виду тепла зазвичай застосовується термін «Waste heat» – відпрацьоване тепло [23]).

Відновлювальна енергетика

Тепловий акумулятор сонячної енергії 1 містить виконану у вигляді знімного короба 2 ємність з прозорою кришкою 3, заповнену кварцовим піском 4 для акумулювання теплової енергії, а також споживач теплової енергії. При цьому короб 2 виконано для розміщення в порожнині ґрунту 5 та оснащено теплоізолюваними стінками 6 і плоским дном 7, а споживач теплової енергії виконано у вигляді розташованих на дніщі 7 короба 2 ТЕГ 8 на елементах Пельтьє, гарячі спаї 9 яких контактують з вертикальними теплопровідними стрижнями 10, а холодні спаї 11 – з ґрунтом 5, причому виходи ТЕГ 8 електрично з'єднано з корисним навантаженням (пат. UA 145032U; рис. 8).

Також холодні спаї 11 ТЕГ 8 можуть бути виконано з можливістю контакту з ґрунтом 5 через загострені вертикальні теплопровідні стрижні 12. При цьому вертикальні теплопровідні стрижні 10 і 12 доцільно виготовляти з міді чи алюмінію або зі сплавів на їхній основі.



1 – сонячні промені; 2 – ємність з прозорою кришкою 3; 4 – кварцовий пісок; 5 – ґрунт; 6 – теплоізовані стінки; 7 – плоске дніще; 8 – ТЕГ; 9, 11 – гарячі й холодні елементів Пельтьє; 10 – теплопровідні стрижні; 12 – загострені теплопровідні стрижні

Рис. 8 – Тепловий акумулятор сонячної енергії (пат. UA145032U)

Під час світлої пори доби сонячна енергія 1 крізь прозору кришку 3 потрапляє на поверхню шару кварцового піску 4 і поступово нагріває його. Теплова енергія від кварцового піску 4 передається вертикальним теплопровідним стрижням 10, а від них – гарячим спаям 9 елементів Пельтьє. Завдяки

зануреним у холодний ґрунт 5 загостреним вертикальним теплопровідним стрижням 12 холодні спаї 11 елементів Пельтьє охолоджуються. Внаслідок утвореної різниці температур між гарячими 9 і холодними 11 спаями елементів Пельтьє ТЕГ 8 генерують електричну енергію для живлення корисного навантаження.

Завдяки акумулюванню кварцовим піском 4 теплової енергії впродовж світлої пори доби електрична енергія генерується навіть за відсутності сонячних променів (вночі й за умови наявності хмар). Пропоноване технічне рішення може бути ефективно застосоване для цілодобового генерування електричної енергії в місцевості зі спекотним кліматом.

Запропоновано конструкцію ефективного термоелектричного сонячного генератора (DE102008009979A1).

Також запропоновано спосіб конденсації вологи атмосферного повітря, що включає генерування електричної енергії за допомогою сонячної батареї та живлення електричною енергією елементів Пельтьє, холодні спаї яких утворюють конденсатор для конденсації вологи атмосферного повітря, при цьому електричною енергією спочатку заряджають джерело постійного струму багаторазової дії, наприклад, акумуляторну батарею та/або суперконденсатор, а елементи Пельтьє живлять електричною енергією від зазначеного джерела постійного струму багаторазової дії (пат. UA146347U).

Живлення елементів Пельтьє електричною енергією не безпосередньо від сонячних батарей, а від джерела постійного струму багаторазової дії, наприклад, акумуляторної батареї та/або суперконденсатора, дає змогу працювати елементам Пельтьє від попередньо зарядженого від сонячних батарей зазначеного джерела постійного струму багаторазової дії. Таким чином, забезпечується конденсація вологи атмосферного повітря не лише в сонячну погоду, а й в негоду або вночі. Пропонований спосіб дає змогу ефективно олержувати воду з атмосферного повітря в місцевості з обмеженими ресурсами прісної води.

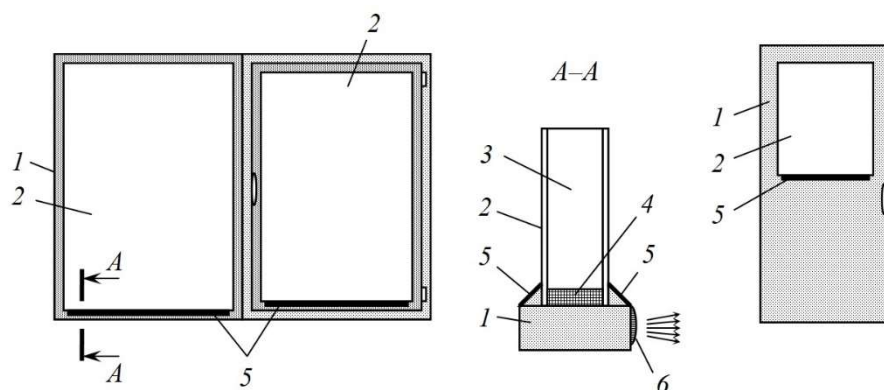
Будівництво

Досліджено властивості термоелектричного цементу з термоелектричними добавками й може зокрема перетворювати теплову енергію (зокрема сонячну енергію) на електричну енергію за рахунок ефекту Зеебека. Потенційно будівлі з такого цементу в разі істотного перепаду між внутрішньою та зовнішньою температурами можуть полегшити процеси охолодження або опалення їхніх приміщень. Показано, що додавання до традиційного будівельного цементу 10 % (мас.) графіту й 5 % (мас.) MnO_2 дає змогу одержати достатньо ефективний термоелектричний будівельний матеріал [24].

Пристрій для перекриття прорізу в стіні, наприклад, вікно або вхідні двері, містить каркас 1 з однокамерним склопакетом 2, у порожнині 3 якого встановлено щонайменше один елемент Пельтьє 4, спаї якого сполучено з теплопровідними елементами 5 для теплообміну з повітрям по обидва боки склопакету 2, при цьому елемент Пельтьє 4 входить до складу електричного ланцюга, який з'єднано з джерелом постійного струму та містить засіб для перемикання полярності джерела постійного струму для живлення елемента Пельтьє 4 (пат. UA147100U; рис. 9). Електричний ланцюг містить корисне навантаження 6 (зокрема світлодіодний нічник) та/або джерело постійного струму багаторазової дії, наприклад, акумуляторну батарею та/або суперконденсатор, а також пристрій для перемикання елемента Пельтьє 4 між джерелом постійного струму та корисним навантаженням 6 та/або джерелом постійного току багаторазової дії (не показано). Також кожний теплопровідний елемент 5 може бути виконано у вигляді поздовжньої пластини, закріпленої на каркасі 1 вздовж нижньої частини склопакету 2.

Під час холодної або спекотної погоди за межами приміщення (тобто за умови різниці температур між повітрям всередині приміщення й за його межами) кожний елемент Пельтьє 2 за рахунок ефекту Зеебека в електричному ланцюзі генерує електричний струм, що живить корисне навантаження 6 безпосередньо або через джерело постійного струму багаторазової дії, наприклад, акумуляторну батарею та/або суперконденсатор.

У разі подавання електроенергії від стороннього джерела живлення та завдяки засобу для перемикання полярності джерела постійного струму для живлення елемента Пельтьє 2 можливе створення потрібної температури теплопровідного елемента 5 з боку приміщення, тобто можливе підтримування температури повітря всередині приміщення на потрібному рівні. Пропонована корисна модель розширює експлуатаційні можливості пристрою для перекриття прорізу в стіні, наприклад, вікна або вхідних дверей.



1 – каркас; 2 – однокамерний склопакет; 3 – порожнина склопакету 2; 4 – елемент Пельтьє;
5 – теплопровідні елементи; 6 – корисне навантаження

Рис. 9 – Пристрій для перекриття прорізу в стіні, наприклад, вікно або входні двері (пат. UA147100U)

Також відомий пристрій для перекриття прорізу в стіні, наприклад, вікно або входні двері, що містить каркас з однокамерним склопакетом, у порожнині якого встановлено щонайменше один елемент Пельтьє, який входить до складу електричного ланцюга, що з'єднаний з джерелом постійного струму, яке живиться від сонячної батареї (заявка DE102012208406A1). Зазначений пристрій призначено для нагрівання або охолодження повітря в приміщенні. Недоліком пристрою є залежність його роботи від сонячної енергії, що унеможливило його експлуатацію за відсутності сонячної погоди, зокрема вночі або наявності густих хмар вдень, що істотно звужує експлуатаційні можливості пристрою.

Засклені вікна або двері з елементами Пельтьє для зниження витрат на опалення приміщень різного призначення також наведено в пат. UA117856C2. Цей пристрій забезпечує нагрівання або охолодження повітря в приміщенні незалежно від часу доби та погоди надворі, проте він пристрій залежить від стороннього джерела електроенергії та не дає змоги генерувати електроенергію для живлення певного корисного навантаження (джерела світла, вентилятора, зарядного пристрою для мобільного телефону тощо).

Теплопоглинаюче вікно для будівель з кондиціонуванням повітря містить двоступінчастий контур охолодження, робота якого ґрунтується на ефекті Пельтьє з живленням від генератора Зеебека (пат. GB1169556A).

Засіб для кондиціонування проточного повітря в порожнині склопакету фасадного вікна містить установлені на вході в зазначену порожнину охолоджувальні елементи Пельтьє для осушування вихідного повітря шляхом конденсації з нього водяної пари (заявка WO2011/110988A1). Охолоджувальні елементи електрично керуються датчиками різниці температур, які активують елементи Пельтьє в разі зниження температури та деактивують у разі підвищення температури.

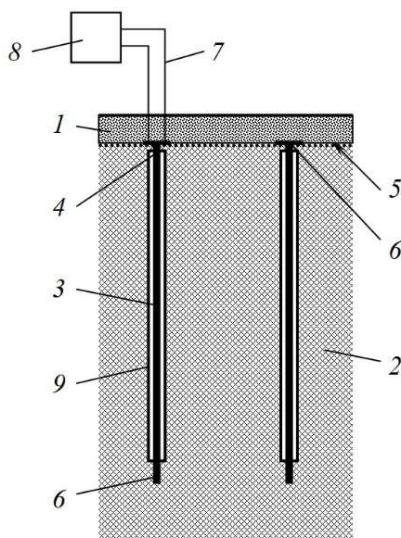
Запропоновано конструкцію кондиціонера повітря, робота якого ґрунтується на використанні ефекту Пельтьє/Зеебека (заявка WO2023/287368A1).

Розроблено систему кондиціонування повітря в приватному будинку, яка містить стінові та даховий блок для генерування електроенергії та нагрівання/охолодження повітря в приміщенні за рахунок ефекту Пельтьє/Зеебека (заявка US2023/417430A1).

Вентиляційний пристрій будівлі має ділянку каналу, виконану у верхній частині віконної рами, при цьому на цій ділянці розміщено вентилятор з електродвигуном, що живиться від електричної мережі будівлі або сонячних панелей. Одночасно може бути забезпечено нагрівання або охолодження повітряного потоку за допомогою елементів Пельтьє чи Зеебека або електричних резистивних нагрівників (пат. GB2424059A).

Пристрій для обігріву та охолодження дорожнього покриття 1 містить сукупність вертикально занурених у ґрунт 2 стрижнів 3, виготовлених з теплопровідного матеріалу, верхні кінці 4 яких з'єднано з розташованою під дорожнім покриттям сіткою або решіткою 5, виготовленою з теплопровідного матеріалу, при цьому між дорожнім покриттям 1 або сіткою чи решіткою 5, а також верхніми кінцями 4 стрижнів 3 розміщено ТЕГ 6 на

елементах Пельтьє, які через електричний ланцюг 7 з'єднано з корисним навантаженням 8, наприклад, системою освітлення дорожнього покриття. Також кожний зі стрижнів 3 по довжині може бути розташований в оболонці 9 з теплоізоляційного матеріалу (пат. UA131562U; рис. 10).



1 – дорожнє покриття; 2 – ґрунт; 3 – стрижні з теплопровідного матеріалу; 4 – верхні кінці стрижнів 3;
5 – сітка або решітка з теплопровідного матеріалу; 6 – ТЕГ; 7 – електричний ланцюг;
8 – корисне навантаження; 9 – оболонка з теплоізоляційного матеріалу

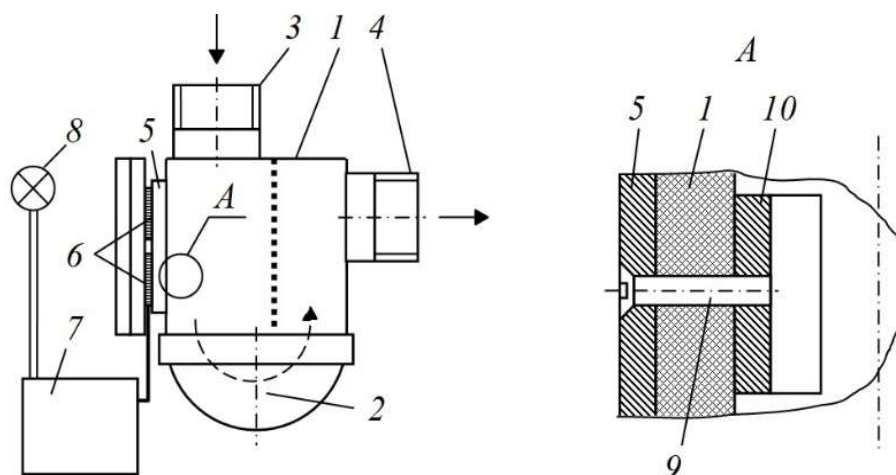
Рис. 10 – Пристрій для обігріву та охолодження дорожнього покриття (пат. UA131562U)

Під час експлуатації дорожнього покриття 1 як взимку, так і влітку внаслідок перепаду температур між дорожнім покриттям 1 і глибинними шарами ґрунту ТЕГ 6 на елементах Пельтьє генерує електричний струм, який через електричний ланцюг 7 живить корисне навантаження 8 (наприклад, ліхтарі, що освітлюють дорожнє покриття). При цьому дорожнє покриття 1 одночасно підігрівається взимку та охолоджується влітку. Також стабілізації температури дорожнього покриття 1 сприяє і передача теплового потоку безпосередньо через стрижні 3 і сітку або решітку 5.

Наявність же оболонок 9 з теплоізоляційного матеріалу забезпечує мінімізацію розсіювання теплового потоку, що підводиться до дорожнього покриття взимку з глибини ґрунту й відводиться від зазначеного покриття влітку, що підвищує термін експлуатації дорожнього покриття, а також підвищує безпеку руху транспортних засобів. Пропоноване технічне рішення істотно підвищить строк служби дорожніх покриттів, а також безпеку дорожнього руху.

Сантехнічний сифон містить корпус 1 для утворення в ньому гідрозатвору 2, оснащений патрубками 3 і 4 для приєднання порожнини корпусу до магістралей випуску та зливу, відповідно (пат. UA152955U; рис. 11). Корпус 1 при цьому містить щонайменше одну ділянку 5 з теплопровідного матеріалу для закріплення на ній ТЕГ на елементах Пельтьє 6, який через електричний акумулятор 7 з'єднано з корисним електричним навантаженням, зокрема освітлювальним засобом 8 (наприклад, нічником у ванній кімнаті або на кухні) або електрозапальничкою (для запалювання пальника побутової газової плити).

У разі виконання корпусу 1 не з металу, а з полімерного матеріалу (зокрема поліетилену), який має низьку теплопровідність, його ділянку 5 з теплопровідного матеріалу може бути виконано у вигляді листової накладки, з'єднаної за допомогою температурного містка 9 (наприклад, гвинтового або болтового з'єднання) з розміщеним усередині корпусу 1 теплопровідним елементом 10, наприклад П-подібної пластини для збільшення її поверхні без підвищення гідравлічного опору сифона в цілому.



1 – корпус; 2 – гідрозатвор; 3, 4 – патрубки; 5 – ділянка з теплопровідного матеріалу; 6 – ТЕГ;
7 – електричний акумулятор; 8 – корисне електричне навантаження (освітлювальний засіб);
9 – температурний місток; 10 – теплопровідний елемент

Рис. 11 – Сантехнічний сифон (пат. UA152955U)

У разі проходження крізь сифон гарячої або підігрітої стічної води ТЕГ починає генерувати електричний струм, який заряджає електричний акумулятор 7. При цьому генерування електричної енергії продовжується й після припинення руху води крізь сифон, оскільки підігріта вода залишається в гідравлічному затворі сифона. Нагромаджена в електричному акумуляторі 7 електрична енергія далі витрачається для живлення корисного електричного навантаження, наприклад, освітлювального засобу 8. Пропоноване технічне рішення, нескладне у виготовленні та експлуатації, дає змогу ефективно використовувати теплову енергію підігрітої стічної води й розширити експлуатаційні можливості традиційних сантехнічних сифонів.

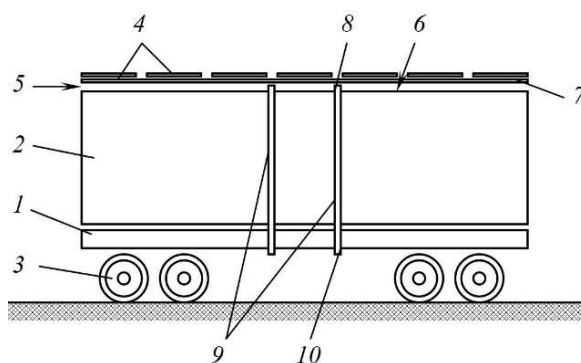
Пристрій аналогічного призначення для перетворення теплоти стічної води у ванні на електричну енергію передбачає контакт холодних поверхонь елементів Пельтьє не з атмосферним повітрям, а з трубопроводом холодної води, що трохи ускладнює конструкцію пристрою порівняно з наведеним на рис. 11 (пат. KR20130066307A).

Розроблено водопровідний кран з системою підігрівання води, до складу якої входить щонайменше один термоелектричний модуль, робота якого ґрунтується на ефекті Пельтьє/Зеебека (пат. GB2602346A).

Автомобільний, залізничний і повітряний транспорт

Запропоновано колісний транспортний засіб, який містить раму 1 із кузовом 2 (або несучий кузов), ходову частину з колесами 3, а також закріплювану на даху кузова 2 одну або декілька панелей сонячних елементів 4. Кожну панель сонячних елементів 4 розташовано з проміжком 5 відносно даху 6 кузова 2 і оснащено засобом 7 для захисту сонячних елементів 4 від перегрівання, виконаним у вигляді розташованих під панеллю сонячних елементів ТЕГ на елементах Пельтьє, гарячі спаї яких контактують з сонячними елементами, а холодні виведені в проміжок 5 між панеллю сонячних елементів 4 і дахом 6 кузова 2 (при цьому вони можуть бути під'єднані, наприклад, до радіатора охолодження). При цьому до холодних спаїв елементів Пельтьє можуть бути приєднано гарячі кінці 8 теплових трубок 9, а холодні кінці 10 теплових трубок 9 виведено під кузов 2 (пат. UA125279U; рис. 12).

Під час руху транспортного засобу забезпечується охолодження панелей сонячних елементів 4 зустрічним потоком повітря, що надходить у проміжок 5 між панеллю сонячних елементів 4 і дахом 6 кузова 2. Оснащення сонячних елементів 4 розташованими під ними ТЕГ дає змогу не лише ефективніше охолоджувати сонячні елементи 4, а й генерувати додаткову енергію (за рахунок ефекту Зеебека). Приєднання же до холодних спаїв елементів Пельтьє гарячих кінців 8 теплових трубок 9, холодні кінці 10 яких виведено під кузов 2, забезпечує ефективне охолодження сонячних елементів навіть під час стоянки транспортного засобу, оскільки холодні кінці теплових трубок під кузовом 2 перебуватимуть у затінку.



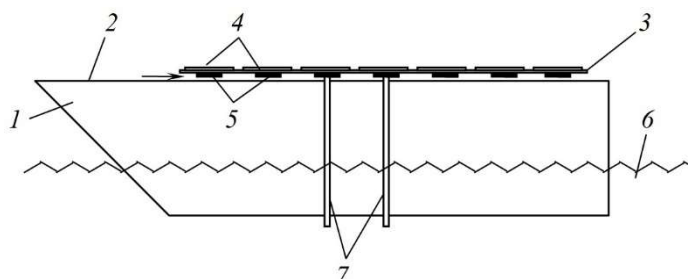
1 – рама; 2 – кузов; 3 – ходова частина з колесами; 4 – панелі сонячних елементів; 5 – проміжок;
6 – дах; 7 – ТЕГ; 8 – гарячі кінці теплових трубок 9; 10 – холодні кінці теплових трубок 9

Рис. 12 – Колісний транспортний засіб (пат. UA125279U)

Пропонований транспортний засіб, який може бути застосовано насамперед на автомобільному й залізничному транспорті, підвищує енергетичну незалежність відповідного транспортного засобу як під час його руху, так і стоянки.

Аналогічний ТЕГ змонтовано на судні (пат. UA130477U; рис. 13).

Судно містить корпус 1 з палубою 2 для розміщення на ній вантажів або допоміжного устаткування, а також змонтовану на палубі 2, вантажі або допоміжному устаткуванні щонайменше одну панель 3 сонячних елементів 4, яку оснащено засобом для захисту від перегрівання, виконаним у вигляді розташованих під нею ТЕГ 5 на елементах Пельтьє, гарячі спаї яких приведено в контакт з сонячними елементами 4, а холодні – із забортною водою 6. При цьому до холодних спаїв елементів Пельтьє може бути приєднано гарячі кінці теплових трубок 7, холодні кінці яких виведено за межі корпусу 1 для їх контакту із забортною водою 6.

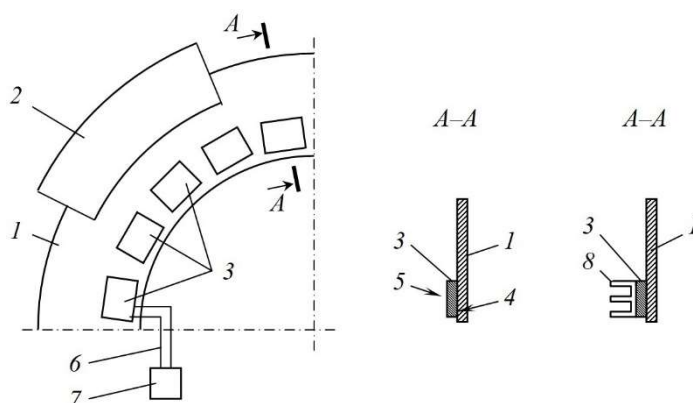


1 – корпус судна; 2 – палуба; 3 – панелі сонячних елементів 4; 5 – ТЕГ; 6 – забортна вода; 7 – теплові трубки

Рис. 13 – Судно (пат. UA130477U)

Приєднання до холодних спаїв елементів Пельтьє ТЕГ 5 гарячих кінців теплових трубок 7, холодні кінці яких виведено за межі корпусу 1 для їх контакту із забортною водою 6 забезпечує ефективне охолодження сонячних елементів 4 навіть під час стоянки судна, коли сонячні елементи 4 не охолоджуються зустрічним потоком повітря.

Також розроблено дискове гальмо колісного транспортного засобу, яке містить щонайменше один гальмівний диск 1 та призначені для взаємодії з ним гальмівні накладки 2. Щонайменше на одному диску 1 у місті, вільному від контакту з ним гальмівних накладок 2, встановлено ТЕГ 3 на елементах Пельтьє, гарячі спаї 4 яких розташовано на гальмівному диску 1, а їхні холодні спаї 5 – з можливістю охолодження потоком навколишнього повітря, при цьому ТЕГ 3 через електричний ланцюг 6, що містить зокрема ковзні контакти на осях ходової частини транспортного засобу, з'єднано з системою електропостачання 7 транспортного засобу (пат. UA130476U; рис. 14). До холодних спаїв 5 елементів Пельтьє можуть бути приєднані радіатори повітряного охолодження 8.



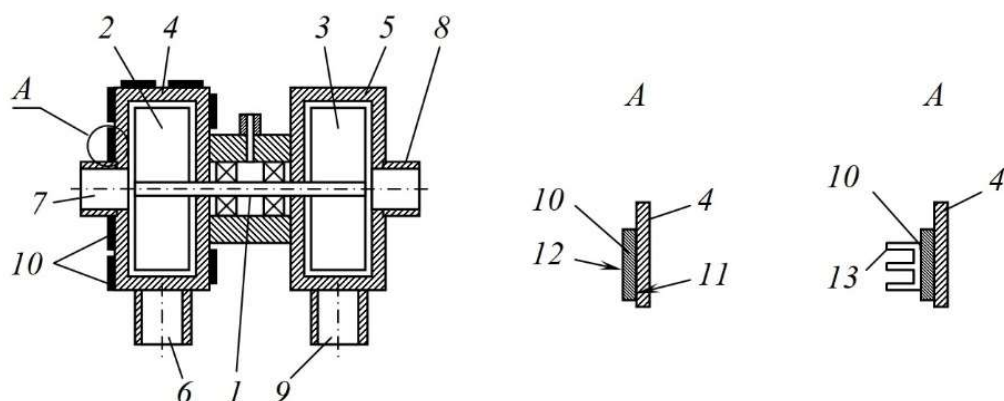
1 – гальмівний диск; 2 – гальмівні накладки; 3 – ТЕГ; 4 і 5 – гарячі й холодні спаї елементів Пельтьє, відповідно; 6 – електричний ланцюг; 7 – система електропостачання транспортного засобу; 8 – радіатори повітряного охолодження

Рис. 14 – Дискове гальмо колісного транспортного засобу (пат. UA130476U)

Під час гальмування транспортного засобу (особливо в режимі міського руху) гальмівні накладки 2 активно взаємодіють з гальмівним диском 1, внаслідок чого виділяється значна кількість теплоти, що нагріває гальмівний диск 1. При цьому погіршуються фрикційні характеристики гальмівного диска 1. Встановлення на гальмівному диску 1 ТЕГ 3 на елементах Пельтьє забезпечує не лише генерування електричної енергії, яка додатково підживлює систему електропостачання 7 транспортного засобу (наприклад, за допомогою наявності в електричному ланцюзі 6 суперконденсатора), а й інтенсивно охолоджує гальмівний диск 1, що підвищує його фрикційні характеристики, а отже й надійність гальмівної системи. Додаткове охолодження гальмівного диска 1, як і в традиційному дисковому гальмі, здійснюється зустрічним потоком повітря (особливо за наявності радіаторів повітряного охолодження 8). Пропонована конструкція, яка може бути застосована передусім на автомобільному транспорті, підвищує енергетичну незалежність транспортного засобу та безпеку руху.

Турбокомпресор двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) транспортного засобу містить закріплені на одному валу 1 турбінне 2 і насосне 3 колеса, розташовані відповідно в корпусі турбіни 4 і корпусі насоса 5, при цьому корпус турбіни 4 і корпус насоса 5 оснащено патрубками підведення й відведення відповідно вихлопних газів 6 і 7 двигуна внутрішнього згоряння та навколишнього повітря 8 і 9. Турбокомпресор оснащено ТЕГ на елементах Пельтьє 10, гарячі спаї 11 яких розташовано на корпусі турбіни 4, а їхні холодні спаї 12 – з можливістю взаємодії з системою охолодження двигуна внутрішнього згоряння (не показано), при цьому ТЕГ через електричний ланцюг з'єднано з системою електропостачання транспортного засобу (не показано) (пат. UA142057U; рис. 15). До холодних спаїв 12 елементів Пельтьє 10 можуть бути приєднані радіатори охолодження 13.

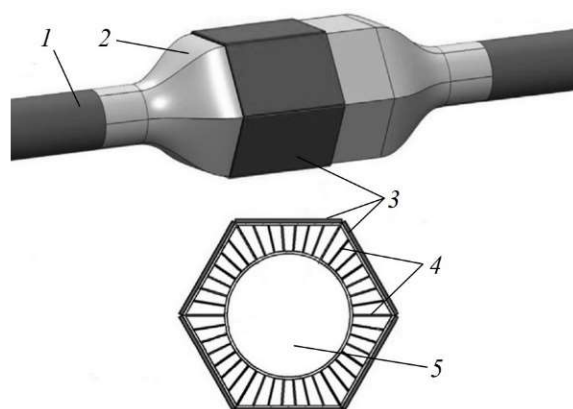
Під час роботи ДВЗ вихлопні гази крізь патрубок 6 потрапляють у корпус турбіни 4 і розкручують турбінне колесо 2 і одночасно через вал 1 і насосне колесо 3 компресора, що крізь патрубок 8 засмоктує повітря з навколишнього середовища й за допомогою патрубка 9 спрямовує його в циліндри зазначеного двигуна. При цьому високотемпературні вихлопні гази нагрівають як турбінне колесо 2, так і корпус турбіни 4. Встановлення на корпусі турбіни 4 ТЕГ забезпечує не лише генерування електричної енергії, яка додатково підживлює систему електропостачання транспортного засобу, а й інтенсивно охолоджує корпус турбіни 4. Наявність же радіаторів охолодження 13 не лише підвищує ефективність охолодження корпусу турбіни 4, а й ефективність генерування електричної енергії ТЕГ. Пропонована конструкція, яка може бути застосована передусім на автомобільному транспорті, підвищує енергетичну незалежність транспортного засобу.



1 – вал; 2, 3 – турбінне й насосне колеса, відповідно; 4, 5 – корпус турбіни й насоса, відповідно;
6, 7 – патрубки підведення й відведення вихлопних газів ДВЗ; 8, 9 – патрубки підведення й відведення
навколишнього повітря, відповідно; 10 – ТЕГ; 11, 12 – гарячі й холодні спаї елементів Пельтьє;
13 – радіатори охолодження

Рис. 15 – Турбокомпресор двигуна внутрішнього згоряння (пат. UA142057U)

Пристрої для ефективного перетворення теплової енергії, що виділяється від двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) автомобіля або судна, на електричну енергію за допомогою термоелектричних модулів на елементах Пельтьє (пат. JP2007198276A). Зокрема здійснюється рекуперация енергії вихлопних газів та системи охолодження ДВЗ в елементах Пельтьє за допомогою ефекту Зеебека, що підвищує енергоефективність транспортного засобу та знижує навантаження на навколишнє повітря [25] (рис. 16), при цьому для підвищення ефективності ТЕГ вихлопну трубу може бути оснащено зовнішніми ребрами [26].



1 – вихлопна труба; 2 – теплообмінник; 3 – ТЕГ; 4 – поздовжні ребра зовнішньої поверхні
вихлопної труби; 5 – канал вихлопної труби

Рис. 16 – Схема розміщення ТЕГ на вихлопній трубі автомобіля [25]

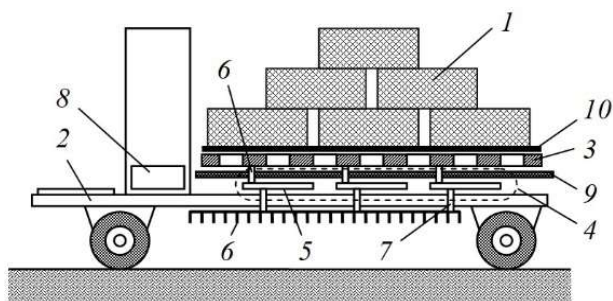
У пат. JPS63111269A аналогічне конструктивне оформлення ДВЗ дає змогу не лише його охолоджувати з одночасним генеруванням електричної енергії під час роботи двигуна, а й скорочувати час розігріву перед його запуском у осінньо-зимовий період.

Також запропоновано конструкції пристроїв аналогічного принципу дії для кондиціонування повітря в салоні автомобіля (пат. US3817043A, заявки WO2016/117986A2, KR20160091840A, DE102007011954A1).

Пристрій для транспортування високотемпературних вантажів 1 містить візок 2 з виготовленою з

теплопровідного матеріалу й виконаною у вигляді решітки вантажною платформою 3, а також джерело електричної енергії 4 у вигляді щонайменше одного ТЕГ на елементах Пельтьє 5, гарячий спай 6 кожного з яких розташовано на вантажній платформі 3, а холодний спай 7 – за її межами, при цьому кожний ТЕГ виконано з можливістю електричного з'єднання з електричним акумулятором 8 (пат. UA152701U; рис. 17). При цьому холодний спай 7 кожного елемента Пельтьє 5 розташовано на повітряному холодильнику 8, встановленому на візку 2 і термоізолюваному за допомогою теплоізоляційного екрана 9 від вантажної платформи 3. Повітряний холодильник 8 при цьому доцільно розташувати під вантажною платформою 3, а сам пристрій оснастити виготовленим з теплопровідного матеріалу знімним листовим піддоном 10 для встановлення його на вантажній платформі 3.

За наявності на вантажній платформі 3 або на розташованому на ній знімному листовому піддоні 10 високотемпературного вантажу 1 вантажна платформа 3 починає нагріватися (безпосередньо або через контакт зі знімним листовим піддоном 10). За рахунок різниці температур між вантажною платформою 3 і повітряним холодильником 8 у ТЕГ на елементах Пельтьє 5 генерується електрорушійна сила, яка забезпечує підзарядку електричного акумулятора 8. При цьому процес перетворення теплової енергії на електричну супроводжується додатковим охолодженням високотемпературного вантажу 1.



1 – високотемпературний вантаж; 2 – візок; 3 – вантажна платформа; 4 – джерело електричної енергії;
5 – елементи Пельтьє; 6, 7 – гарячий і холодний спаї елемента Пельтьє; 8 – електричним акумулятором;
9 – теплоізоляційний екран; 10 – знімний листовий піддон

Рис. 17 – Пристрій для транспортування високотемпературних вантажів (пат. UA152701U)

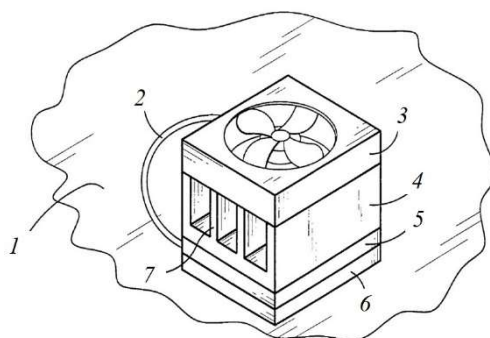
Високотемпературними вантажами 1 при цьому можуть бути, наприклад, металеві зливки, цегла різного виду (поштучні вантажі), а також різноманітні сипкі матеріали, вивантажені зокрема з обертової печі випалювання. Пропонований пристрій підвищує ефективність перетворення теплової енергії транспортованих на транспортному засобі високотемпературних вантажів на електричну енергію з можливістю її використання як безпосередньо на цьому транспортному засобі, так і за його межами.

Запропоновано спосіб охолодження розміщених в авіаційному турбореактивному двигуні електронних компонентів, при цьому охолодження здійснюється за допомогою ефекту Пельтьє з використанням електроенергії, одержаної за допомогою ефекту Зеєбека (пат. FR2986905B1, заявка US2013/319016A1).

Система генерування електроенергії для живлення електричних транспортних засобів містить безліч елементів Пельтьє, розташованих на кузові транспортного засобу, насамперед електромобілів, ґрунтується на ефекті Зеєбека й дає змогу ефективно працювати за різниці температур понад 200 °C (пат. CN102832655A). Пристрій аналогічного призначення й принципу дії описано в пат. GB2545568A.

Машинобудування, приладобудування, електронна та комп'ютерна техніка, медицина

Розроблено вузол охолодження потужної інтегральної схеми, який містить ТЕГ для перетворення теплового потоку від інтегральної схеми на електричну енергію для живлення електродвигуна вентилятора охолодження та/або іншого корисного навантаження. ТЕГ представляє собою охолоджувач Пельтьє, що працює завдяки ефекту Зеєбека та розташований між інтегральною схемою та радіатором, що обдувається вентилятором (пат. US5419780A, заявка WO95/30246A1; рис. 18).



1 – материнська плата комп'ютера; 2 – електричний провід; 3 – вентилятор; 4 – радіатор охолодження;
5 – термоелектричний модуль на елементах Пельтьє; 6 – охолоджувана інтегральна схема;
7 – оребрення радіатора охолодження

Рис. 18 – Вузол охолодження інтегральної схеми (пат. US5419780A, заявка WO95/30246A1)

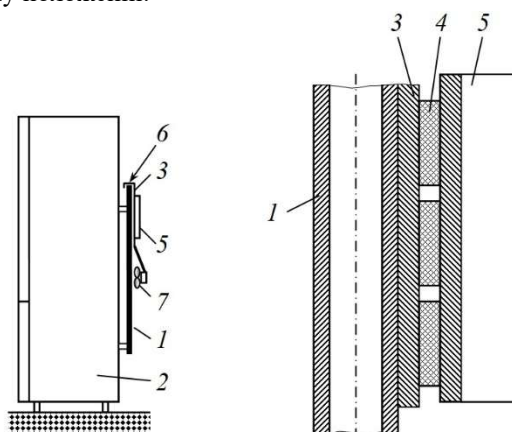
Інші приклади пристроїв для охолодження мікроелектронних компонентів наведено зокрема в пат. US9484517B2, JP2001308395A, KR20120105965A і заявці WO2013/035122A1, а також у праці [27].

Розроблено пристрій для визначення щільності щелепної кістки, який містить сукупність матричних сенсорів, виконаних з елементів Пельтьє, які працюють на основі ефекту Зеебека (пат. RU2745237C1).

Запропоновано конструкцію витратоміру текучого середовища, принцип дії якого ґрунтується на ефекті Пельтьє/Зеебека (пат. US3030806A). Пристрої аналогічного принципу дії можуть бути застосовані також для вимірювання перепаду тиску, складу середовища тощо.

Побут

Пристрій для інтенсифікації охолодження конденсатора 1 побутового холодильника 2 містить призначену для контакту з трубками конденсатора 1 або їхніми ребрами і виготовлену з теплопровідного матеріалу опорну пластину 3 із закріпленням на ній через термоелектричний модуль на елементах Пельтьє 4 радіатором охолодження 5, при цьому опорну пластину 3 виконано із зачепами 6 для підвішування її на верхній ділянці конденсатора 1, при цьому термоелектричний модуль виконано у вигляді ТЕГ, який через електричний ланцюг з'єднано з вентилятором 7 для примусового обдування трубок конденсатора 1 атмосферним повітрям (пат. UA153090U; рис. 19). Також з метою компактності пристрою вентилятор 7 бажано закріплювати безпосередньо на опорній пластині 3 з можливістю регулювання його розташування у просторі й фіксації в потрібному положенні.



1 – конденсатор побутового холодильника 2; 3 – опорна пластина; 4 – термоелектричний модуль на елементах Пельтьє; 5 – радіатор охолодження; 6 – зачепи; 7 – вентилятор

Рис. 19 – Пристрій для інтенсифікації охолодження конденсатора побутового холодильника (пат. UA153090U)

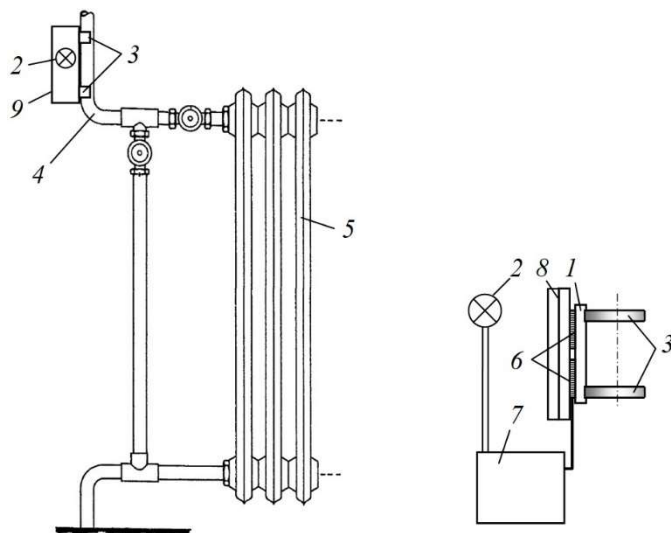
Установлення пристрою на конденсатор 1 здійснюється без спеціального інструменту. Для цього можна його просто підвісити на верхню ділянку змійовика конденсатора 1 (для підвищення надійності фіксації нижню частину опорної пластини 3 можна закріпити на змійовику канцелярським біндером (пружинним затискачем)). При цьому для підвищення різниці температур на спаях елементів Пельтьє 4 пропонується пристрій доцільно розміщувати на початковій, найбільш розігрітій, ділянці конденсатора.

Під час роботи холодильника 2 конденсатор 1 починає нагріватися, внаслідок чого ТЕГ на елементах Пельтьє 4 генерує електричний струм, який живить електродвигун вентилятора 7. У результаті обертання ротора вентилятора 7 утворюється потік повітря, який спрямовується на конденсатор 1, інтенсифікуючи при цьому процес конденсації в ньому парів холодоагенту. Одночасно ТЕГ через опорну пластину 3 охолоджує трубки конденсатора 1. Пропонується конструкція, нескладна у виготовленні та експлуатації, підвищує енергоефективність побутового компресійного холодильника будь-якого типорозміру.

Холодильна система на основі ефекту Пельтьє/Зеебека напівпровідникового термоелектричного модуля на відміну від парокompресійної або абсорбційної холодильних систем зазначений метод характеризується малим розміром, широкими технологічними можливостями, простотою й зручністю у виготовленні та експлуатації, а тому придатна насамперед для мініатюрних систем охолодження або використання холоду в місцях з особливими вимогами (пат. CN114893925A).

Потрібно зазначити, що термодинамічні характеристики традиційних парокompресійних холодильників кращі, ніж у термоелектричних, тому можна стверджувати, що найближчим часом другі навряд чи витіснять перші, проте це не знижує перспективності термоелектричних холодильників завдяки їхнім очевидним перевагам: відсутності рухомих частин, безшумності, екологічності, малим габаритам і більш точному контролю температури охолодження [28]. При цьому створення нових ефективних матеріалів з термомагнітними властивостями можуть усунути певні недоліки термоелектричних холодильників. Зокрема показано, що одностінні вуглецеві нанотрубки (англ. – Single Walled Carbon NanoTube; SWCNT) можуть бути перспективними елементами термоелектричних нанопристроїв для генерування енергії (ефект Зеебека) та ефективного охолодження наноелектронних пристроїв (ефект Пельтьє) [29].

Кімнатний світильник містить основу 1 з джерелом світла 2, при цьому основа 1 містить засіб 3 для фіксації її на елементі системи з гарячим теплоносієм (трубопроводі радіатора опалювання або гарячого водопостачання), наприклад, трубопроводі 4 радіатора опалювання 5, а також змонтований на основі 1 ТЕГ на елементах Пельтьє 6, який з'єднано з джерелом світла 2 (пат. UA154813U; рис. 20).



1 – основа; 2 – джерело світла; 3 – кріпильний засіб; 4 – трубопровід радіатора опалювання (гарячого водопостачання); 5 – радіатор опалювання; 6 – ТЕГ; 7 – електричний акумулятор; 8 – радіатор охолодження; 9 – кожух

Рис. 20 – Світильник (пат. UA154813U)

Засіб 3 для фіксації основи 1 на елементі системи центрального опалювання 4 може бути виконано, наприклад, у вигляді щонайменше одного хомутика, ТЕГ на елементах Пельтьє 6 при цьому може бути з'єднано з джерелом світла 2 через електричний акумулятор 7, а холодні спаї елементів Пельтьє 6 можуть бути закріплені на радіаторі охолодження 8. Для полегшення монтажу й демонтажу світильника, а також надання йому естетичної привабливості його може бути оснащено кожухом 9.

У разі проходження гарячого теплоносія (води, водяної пари) крізь елемент системи центрального опалювання, наприклад, трубопровід 4 радіатора опалювання або гарячого водопостачання, наприклад, трубопровід радіатора опалювання 5, ТЕГ на елементах Пельтьє 6 починає генерувати електричний струм, який безпосередньо живить джерело світла 2 або заряджає електричний акумулятор 7 для подальшого використання нагромадженої електричної енергії (наприклад, вночі). Пропоноване технічне рішення дає змогу ефективно використовувати теплову енергію системи центрального опалювання або гарячого водопостачання для живлення електричною енергією світильника.

Інший приклад забезпечення електроживлення електричної лампочки або світлодіодів компактного світильника з використанням елементів Пельтьє описано в заявці DE202004002128U1.

Компактний термоелектричний охолоджувач для використання в побуті, електронній і медичній техніці в умовах підвищеної вібрації та ударних навантажень запропоновано в пат. UA145537U.

Термоелектричний пристрій, придатний для генерації електроенергії за допомогою ефекту Зеебека або нагрівання й охолодження за допомогою ефекту Пельтьє, містить гнучкий термоелектричний шар із гнучким шаром радіатора. Завдяки своїй гнучкості та довговічності термоелектричний пристрій можна використовувати для таких продуктів, як ТЕГ або система охолодження/нагріву для споживчих товарів, таких як постільна білизна, одяг, головні убори, подушки для сидіння та особисті портативні пристрої (заявка US2021/175402A1); рис. 21).

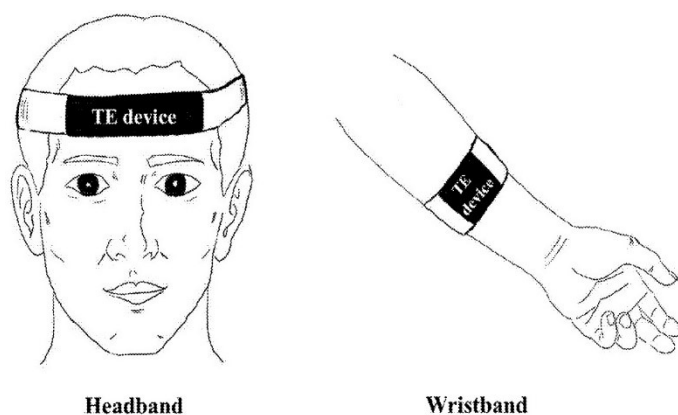


Рис. 21 – Приклад застосування гнучкого термоелектричного пристрою (заявка US2021/175402A1)

Взагалі, останнім часом людський організм разом з ефектом Пельтьє/Зеебека все частіше розглядається як джерело альтернативної енергії для живлення різноманітних малопотужних пристроїв: смартфонів, розумних годинник, бездротових навушників, електричних зубних щіток, акустичних приладів та ін. [9, 30], при цьому використовуються насамперед гнучкі ТЕГ [31–35], які достатньо широко застосовуються насамперед у медицині [35].

Невеликий електричний побутовий прилад, такий як електрична бритва для вологого гоління або електрична зубна щітка, працює за рахунок енергії, що генерується різницею температур у середовищі його використання. Теплота гарячої води, яка використовується під час вологого гоління електричною бритвою для вологого гоління, порівняно з відносно нижчою температурою рукоятки, яка перебуває за кімнатної температури, приводить до дії ТЕГ, який працює як охолоджувач Пельтьє в режимі Зеебека, генеруючи достатньо електроенергії для безпосередньої роботи приводу двигуна приладу та/або підзарядки електричного акумулятора та подальшого живлення від неї двигуна приладу (заявка US2006/254638A1).

Інші галузі застосування ефектів Пельтьє й Зеебека

Запропоновано конструкцію пристрою для контактного точкового зварювання, в якому ТЕГ за допомогою ефекту Зеебека перетворює теплоту, що виділяється під час зварювання, на електричну енергію (заявка DE102009031925A1).

Розроблено конструкцію курильної люльки (або мундштука) з функцією охолодження та бачного диму, зо вдихається курцем (пат. GB1020992A). Охолодження відбувається за допомогою елемента Пельтьє, який живиться від батареї або генератора Зеебека з двома електродами, вбудованими в корпус курильного засобу. (Ось така своєрідна турбота про курців, яким варто було б взагалі відмовитися від шкідливої звички).

Розроблено конструкцію захисного шолому подвійного призначення з функцією охолодження та нагрівання. Холодильний модуль шолома містить охолоджувальні пластину й вентилятор, при цьому застосування ефекту Зеебека/Пельтьє модуля забезпечує знижену температуру шолома влітку та підвищену взимку; що істотно підвищує рівень комфорту користувача шолому, а отже і його здатність виконувати функціональні обов'язки з максимальними продуктивністю та ефективністю (пат. CN214156368U).

У пат. KR20200135904A запропоновано конструкцію електронного браслета з автономним живленням для відстеження місцезнаходження певної особи. Автономне живлення браслета при цьому забезпечується його безперервним живленням завдяки ефекту Зеебека (перетворенням теплоти тіла особи на електричну енергію живлення).

Пристрій для видобування питної води з атмосферного повітря використовує ефекти Пельтьє та Зеебека термоелектричного елемента, при цьому одержувана вода після конденсації водяної пари стікає з радіаторів охолодження термоелектричного елемента в приймальну посудину (пат. KR20200135024A).

Запропоновано плоский текстильний термоелектричний матеріал містить матеріал-носіє, покритий і пронизаний нитками, що мають різні властивості термоелектричного матеріалу та створюють між собою термоелектричний елемент. Зазначений матеріал використовується як елемент Зеебека для генерування електричного струму та як елемент Пельтьє для генерування різниці температур, причому поверхні з нижчою й вищою температурами можна перемикає між собою (заявка WO2013/041094A2). Взагалі, термоелектричні генератори на текстильній основі останнім часом набувають широкого поширення [36].

Нагрівник має камеру згорання, в якій спалюється паливо (здебільшого дизельне паливо або газ) для забезпечення джерела тепла, має паливний пальник, при цьому повітря до пальника надходить від повітродувки, привод якої живиться від ТЕГ на елементах Пельтьє (GB2451521A). Зазначений пристрій може використовуватися військовими як портативний нагрівник, наприклад, для забезпечення гарячою водою або обігріву приміщень на польовій кухні чи на човні.

В аерокосмічних програмах, таких як космічні кораблі, супутники, космічні зонди, широко використовуються радіоізотопні термоелектричні генератори (РТГ), в яких тепло, що виділяється в результаті природного розпаду деяких радіоактивних елементів, перетворюється на електрику. Застосовувані в РТГ ізотопи використовуваного палива мають відповідати певним вимогам: мати низьке випромінювання радіації, прийнятний період напіврозпаду палива відповідно до тривалості космічної місії, висока температура плавлення, висока щільність потужності та безпечність за будь-яких умов. Цим вимогам відповідають такі ізотопи як Се-144, Ро-210, Sr-90, Рm-147 і Pu-238 [9].

Також запропоновано інші пристрої з використанням ефекту Зеебека/Пельтьє: повітряна куля, здатна постійно парити в повітрі майже без споживання енергії (пат. KR20170035291A); засіб термостабілізації терміналу мобільного зв'язку (пат. KR20070068839A); пристрій для охолодження друкарської головки принтера (пат. JP2012162009A); телевизор FPD (англ. – Flat Panel Display) зі зниженим енергоспоживанням за рахунок перетворення тепла, що виділяється під час роботи телевизора, на електричну енергію для його роботи (ат. JP2008028878A); пристрій для охолодження перегрітої пари без застосування охолодної води (пат. JP2004020011A); пристрій для генерування сонячної термоелектричної енергії та збирання води з повітря, який може бути використано на невеликих островах і рифах і є надзвичайно дружнім для морської екології (пат. CN109286339A).

Термоелектричні пристрої також застосовуються у військовій техніці (інерційні системи наведення, системи нічного бачення, охолодження електронного обладнання, охолоджуваний особистий одяг), лабораторному й науковому обладнанні (інфрачервоні детектори, охолоджувачі інтегральних схем, лабораторні охолоджувані пластини й холодильні камери, гігрометри, ванни постійної температури) та інших сферах життєдіяльності людини [37].

Висновки. Останнім часом людство стикається з такими глобальними проблемами як глобальне потепління, забруднення довкілля та підвищення вартості електроенергії. Для зниження негативного впливу цих чинників зусилля дослідників та інженерів зосереджені на вдосконаленні генераторів електроенергії, а також засобів термостабілізації різноманітних об'єктів, одним з перспективних шляхів якого може стати використання термоелектричних ефектів, насамперед ефектів Зеебека й Пельтьє.

Беззаперечними перевагами термоелектричних генераторів (ТЕГ), які перетворюють теплову енергію на електричну завдяки ефекту Зеебека й поступово займають свою нішу серед інших технологій виробництва зеленої енергії, є екологічна безпечність, безшумність у роботі через відсутність рухомих елементів (крім незначного шуму пристроїв для примусового охолодження елементів Пельтьє, зокрема вентиляторів) і тривалий термін служби. Також істотною перевагою ТЕГ є можливість безпосереднього виробництва електроенергії з відпрацьованого тепла різноманітних промислових процесів і транспортних засобів.

Як показали проведені дослідження, термоелектричні явища й зокрема ефекти Зеебека й Пельтьє знаходять своє застосування в хімічній технології й споріднених галузях промисловості, відновлювальній енергетиці, будівництві, машино- та приладобудуванні, аерокосмічній й військовій техніці, мікроелектроніці, комп'ютерній техніці, медицині, пристроях особистої гігієни, побуті, а також на транспорті. Проте, незважаючи на очевидні переваги термоелектричних пристроїв, їхній низький коефіцієнт корисної дії та висока вартість матеріалів перешкоджає широкому поширенню термоелектричної технології [38].

Більш широкого застосування елементів Пельтьє як для генерування електроенергії з теплової енергії в ТЕГ, так і для забезпечення певного теплового режиму відповідного обладнання (зокрема штучного охолодження) можна очікувати в разі розроблення нових струмопровідних матеріалів з різними рівнями енергії електронів у зоні провідності, зокрема напівпровідників, керамічних і полімерних, у тому числі й з нанорозмірними параметрами [39–44], а також оптимізації геометрії та структури термоелектричних пристроїв (плоских, кільцевих, сегментованих, каскадних, гофрованих, концентричних, лінійних, гнучких, мікротермоелектричних та інших) [38]. Зокрема в останнє десятиріччя відбуваються інтенсивні дослідження так званого іонного ефекту Зеебека (ефекту Зеебека електроліту між двома електродами), який відкриває нові перспективи в термоелектричних явищах [45], а також застосування «магнітних термоелектриків», або спінового ефекту Зеебека (англ. – spin Seebeck effect) [46, 47].

Перспективи подальших досліджень. Надалі передбачено проаналізувати практичне використання інших відомих ефектів, насамперед фізичних і хімічних, та їхніх комбінацій, а також конструктивно-технологічне оформлення їх реалізації, що може стати у пригоді науковцям, конструкторам і винахідникам під час створення інноваційних зразків техніки й технології.

Список використаної літератури

1. Thermoelectric effect. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect (дата звернення: 18.06.2024)
2. CRC Handbook of Thermoelectrics, 1st ed. / Rowe D. M. (ed.). Boca Raton : CRC Press, 1995. 718 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420049718>
3. Tritt T. M. Thermoelectric Materials: Principles, Structure, Properties, and Applications. In: Buschow K. H. J., Cahn R. W., Flemings M. C., Ilshner B., Kramer E. J., Mahajan S., Veyssi re P. (eds.) Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2nd ed. Pergamon : Elsevier Ltd., 2002. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01822-2>
4. Іваненко О. І., Носачова Ю. В. Техноекологія. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2017. 294 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ivanenko_2017_294.pdf
5. Mikulionok I. O. Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, N 5–6. P. 324–327. DOI: 10.1007/s10556-015-0046-8
6. Мікульонюк І. О. Застосування феромагнітних матеріалів для забезпечення потрібного теплового режиму технологічного обладнання (Огляд) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2019. № 1. С. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2019.06>
7. Мікульонюк І. О., Іваненко О. І. Застосування феромагнітних матеріалів для стабілізації теплового

- режиму технологічних процесів (Огляд) // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»: сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2024 № 3 (23). С. 19–38. DOI: 10.20535/2617-9741.3.2024.312417
8. Jouhara N., Żabnieńska-Góra A., Khordehghah N., Doraghi Q., Ahmad L., Norman L., Axcell B., Wrobel L., Dai S. Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications // *International Journal of Thermofluids*. 2021. Vol. 9. Article 100063. 18 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100063>
 9. Jaziri N., Boughamoura A., Müller J., Mezghani B., Tounsi F., Ismail M. A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications // *Energy Reports*. 2020. Vol. 6, N 7. P. 264–287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.011>
 10. Salah W. A., Abuhelwa M. Review of Thermoelectric Cooling Devices Recent Applications // *Journal of Engineering Science and Technology*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 455–476. URL: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20Issue%201%20February%202020/15_1_34.pdf
 11. Термопаста. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Термопаста> (дата звернення: 21.06.2024)
 12. Елемент Пельтьє. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Елемент_Пельтьє (дата звернення: 15.06.2024)
 13. Hebei I. T. (Shanghai) Co., Ltd. Thermoelectric Cooler. TEC1-12706. URL: <https://uamper.com/products/datasheet/TEC1-12706.pdf> (дата звернення: 15.06.2024)
 14. Freer R., Powell A. V. Realising the potential of thermoelectric technology: a Roadmap // *Journal of Materials Chemistry C*. 2020. Vol. 8, N 2. P. 441–463. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9TC05710B>
 15. Процеси та обладнання хімічної технології: у 2-х т. / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонюк, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 716 с.
 16. Мікульонюк І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>
 17. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
 18. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>
 19. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>
 20. Мікульонюк І. О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>
 21. Мікульонюк І. О., Гавва О. М., Кривопляс-Володіна Л. О. Інноваційне обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Київ : НУХТ, 2022. 139 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57427>
 22. Мікульонюк І. О. Інноваційне теплообмінне обладнання. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 142 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60632>
 23. Champier D. Thermoelectric generators: A review of applications // *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 140. P. 167–181. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.070>
 24. Liu X., Qu M., Nguyen A. P. T., Dille N. R., Yazawa K. Characteristics of new cement-based thermoelectric composites for low-temperature applications // *Construction and Building Materials*, 2021. Vol. 304. Article 124635. 17 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124635>,
 25. He W., Zhang G., Zhang X., Ji J., Li G., Zhao X. Recent development and application of thermoelectric generator and cooler // *Applied Energy*. 2015. Vol. 143. 25 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.075>
 26. Mikulionok I. O. Classification of Means of Enhancement of Heat Transfer from the Outer Surface of Pipes (Survey of Patents) // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2019. Vol. 55, N 5–6. P. 491–499. DOI: 10.1007/s10556-019-00651-4
 27. Zhang Q., Deng K., Wilkens L., Reith H., Nielsch K. Micro-thermoelectric devices // *Nature Electronics*. 2022. Vol. 5, N 6. P. 333–347. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41928-022-00776-0>
 28. Mardini-Bovea J., Torres-Diaz G., Sabau M., De-la-Hoz-Franco E., Niño-Moreno J., Pacheco-Torres P. J. A

- review to refrigeration with thermoelectric energy based on the Peltier effect. *DYNA*. 2019. Vol. 86, N 208. P. 9–18. DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72589>
29. El-Demsisy H. A., Asham M. D., Louis D. S., Phillips A. H. Thermoelectric Seebeck and Peltier effects of single walled carbon nanotube quantum dot nanodevice // *Carbon Letters*. 2017. Vol. 21. P. 8–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.5714/CL.2017.21.008>
 30. Cao T., Shi X.-l., Chen Z.-g. Advances in the design and assembly of flexible thermoelectric device // *Progress in Materials Science*. 2023. Vol. 131. Article 101003. 187 p. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2022.101003
 31. Ding J., Zhao W., Jin W., Di C.-a., Zhu D. Advanced Thermoelectric Materials for Flexible Cooling Application // *Advanced Functional Materials*. 2021. Vol. 31, N 20. Article 2010695. 17 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.202010695>
 32. Chatterjee K., Ghosh T. K. Thermoelectric Materials for Textile Applications. *Molecules*. 2021. Vol. 26, N 11. Article 3154. 26 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26113154>
 33. Zhu S., Fan Z., Feng B., Shi R., Jiang Z., Peng Y., Gao J., Miao L., Koumoto K. Review on Wearable Thermoelectric Generators: From Devices to Applications // *Energies*. 2022. Vol. 15, N 9. Article 3375. 27 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15093375>
 34. Zhao Y., Liu L., Zhang F., Di C., Zhu D. Advances in organic thermoelectric materials and devices for smart applications // *SmartMat*. 2021. Vol. 2, N 4. P. 426–445. DOI: <https://doi.org/10.1002/smm2.1034>
 35. Hu B., Shi X.-L., Zou J., Chen Z.-G. Thermoelectrics for medical applications: Progress, Challenges, and Perspectives // *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 437, Part 2. Article 135268. 56 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135268>
 36. Wang L., Zhang K. Textile-Based Thermoelectric Generators and Their Applications // *Energy & Environmental Materials*. 2020. Vol. 3, N 1. P. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1002/eem2.12045>
 37. Balasubramanian R. Overview of the use of Peltier's modules in technology // *Modern Engineering*. 2020. N 1. P. 11–17. URL: <https://3pn-gw.ocean.icm.edu.pl/articles/132033>
 38. Shittu S., Li G., Zhao X., Ma X. Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement // *Applied Energy*. 2020. Vol. 268. Article 115075. 64 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115075>
 39. Yang L., Chen Z.-G., Dargusch M. S., Zou J. High Performance Thermoelectric Materials: Progress and Their Applications // *Advanced Energy Materials*. 2018. Vol. 18, N 6. Article 1701797. 28 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/aenm.201701797>
 40. Uchida K.-i., Heremans J. P. Thermoelectrics: From longitudinal to transverse // *Joule*. 2022. Vol. 6, N 10. P. 2240–2245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.016>
 41. Chen R., Lee J., Lee W., Li D. Thermoelectrics of Nanowires // *Chemical Reviews*. 2019. Vol. 119, N 15. P. 9260–9302. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00627>
 42. Soleimani Z., Zoras S., Ceranic B., Shahzad S., Cui Y. A review on recent developments of thermoelectric materials for room-temperature applications // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020. Vol. 37. Article 100604. 29 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100604>
 43. Baskaran P., Rajasekar M. Recent trends and future perspectives of thermoelectric materials and their applications // *RSC Advances*. 2024. Vol. 14, N 30. P. 21706–21744. DOI: <https://doi.org/10.1039/d4ra03625e>
 44. Zoui M. A., Bentouba S., Stocholm J. G., Bourouis M. A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications // *Energies*. 2020. Vol. 13, N 14. Article 3606. 32 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13143606>
 45. Zhao D., Würger A., Crispin X. Ionic thermoelectric materials and devices // *Journal of Energy Chemistry*. 2021. Vol. 61. P. 88–103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2021.02.022>
 46. Uchida K.-i., Adachi H., Kikkawa T., Kirihara A., Ishida M., Yorozu S., Maekawa S., Saitoh E. Thermoelectric Generation Based on Spin Seebeck Effects // *Proceedings of the IEEE*. 2016. Vol. 104, N 10. P. 1946 – 1973. DOI: 10.1109/JPROC.2016.2535167
 47. Sun P., Kumar K. R., Lyu M., Wang Z., Xiang J., Zhang W. Generic Seebeck effect from spin entropy. *The Innovation*. 2021. Vol. 2, N 2. Article 100101. 6 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100101>

Ihor Mikulionok, Olena Ivanenko

PRACTICAL USE OF SEEBECK AND PELTIER EFFECTS (REVIEW)

The subject of research is industrial and household equipment and devices, the principle of operation of which is based on such thermoelectric phenomena as the Seebeck and Peltier effects.

The purpose of the research is a critical analysis of the fields of practical application of the Peltier and Seebeck effects, as well as the constructive and technological design of the processes in which the specified effects are implemented to ensure a certain thermal regime, as well as the generation of electrical energy from waste heat.

One of the main problems of today is global warming, environmental pollution and the increase in the cost of electricity. These problems can be partially solved with the help of thermoelectric phenomena, that is, physical phenomena caused by the relationship between electric current and heat flows in substances and contacts between them, which primarily include the Peltier and Seebeck effects. The indisputable advantages of thermoelectric means are their environmental safety, quiet operation and long service life. Seebeck and Peltier effects are used in chemical technology and related industries, renewable energy, construction, machine and instrument engineering, aerospace and military engineering, microelectronics, computer technology, medicine, personal hygiene devices, household appliances, and transportation. However, the low efficiency and the high cost of materials prevent the wide spread of thermoelectric technology.

Wider application of thermoelectric technologies can be expected in case of development of new conductive materials with different energy levels of electrons in the conduction zone, as well as optimization of the geometry and structure of thermoelectric devices. Recently, intensive research has also been carried out on the so-called ionic Seebeck effect, which opens up new perspectives in thermoelectric phenomena, as well as the use of "magnetic thermoelectrics", or the spin Seebeck effect.

This review can be useful to creators of new equipment and technology, because the fund of technical effects is widely used during the creation of innovative samples, which is an integral part of the information fund of inventors and helps them create simple, effective and bright solutions to technical problems.

Keywords: *thermoelectric phenomena, Seebeck effect, Peltier effect, applied application, cooling, electricity generation*

References

1. Thermoelectric effect. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect (Accessed July 18, 2024)
2. CRC Handbook of Thermoelectrics, 1st ed. (1995) / Rowe D. M. (ed.). CRC Press, Boca Raton. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420049718>
3. Tritt, T. M. (2002). Thermoelectric Materials: Principles, Structure, Properties, and Applications. In: Buschow K. H. J., Cahn R. W., Flemings M. C., Ilschner B., Kramer E. J., Mahajan S., Veysière P. (eds.) Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2nd ed. Elsevier Ltd., Pergamon. doi: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01822-2>
4. Ivanenko, O. I., Nosachova, Yu. V. (2017). Tekhnoekologiya [Technoecology]. Vydavnychiy dim "Kondor", Kyiv. 294 p. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ivanenko_2017_294.pdf (Ukr.)
5. Mikulionok, I. O. (2015). Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 51, no. 5–6, pp. 324–327. doi: 10.1007/s10556-015-0046-8
6. Mikulionok, I. O. (2019). Zastosuvannya feromagnitnykh materialiv dlia zabezpechennia potribnogo teplovogo rezhimu tekhnologichnogo obladnannia (Ogliad) [Ferromagnetic Materials Use for Providing the Necessary Thermal Mode of Processing Equipment (Review)]. *Energotekhnologii i resursoberezhniye*, No 1, pp. 60–72. doi: 10.33070/etars.1.2019.06 (Ukr.)
7. Mikulionok, I. O., Ivanenko, O. I. (2024). Zastosuvannya feromagnitnykh materialiv dlia stabilizatsii teplovogo rezhimu tekhnologichnykh protsesiv (Ogliad) [Application of ferromagnetic materials for technological processes thermal regime stabilization (review)]. *Visnyk Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Himichna inzheneriia, ekologiia ta resursozberezhennia*, no. 3 (23), pp. 19–38. doi: 10.20535/2617-9741.3.2024.312417 (Ukr.)

8. Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Khordehghah, N., Doraghi, Q., Ahmad, L., Norman, L., Axcel, I. B., Wrobel, L., Dai, S. (2021). Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications. *International Journal of Thermofluids*, vol. 9, article 100063. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100063>
9. Jaziri, N., Boughamoura, A., Müller, J., Mezghani, B., Tounsi, F., Ismail, M. (2020). A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications. *Energy Reports*, vol. 6, no. 7, pp. 264–287. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.011>
10. Salah, W. A., Abuhelwa, M. (2020). Review of Thermoelectric Cooling Devices Recent Applications. *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 455–476. URL: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20issue%201%20February%202020/15_1_34.pdf
11. [Thermal paste]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Термопаста> (Accessed July 21, 2024) (Ukr.)
12. [Peltier element]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Елемент_Пельтье (Accessed July 15, 2024) (Ukr.)
13. Hebei I. T. (Shanghai) Co., Ltd. Thermoelectric Cooler. TEC1-12706. URL: <https://uamper.com/products/datasheet/TEC1-12706.pdf> (Accessed July 15, 2024)
14. Freer, R., Powell, A. V. (2020). Realising the potential of thermoelectric technology: a Roadmap. *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 8, no. 2. pp. 441–463. doi: <https://doi.org/10.1039/C9TC05710B>
15. Korniyenko, Ya. M., Lukach, Yu. Yu., Mikulionok, I. O., Rakytskyi, V. L., Riabtsev, G. L. (2011). Protsesny ta obladnannya khimichnoi tekhnologii [Processes and equipment of chemical technology]. NTUU "KPI", Kyiv. [Part 1. – 300 p.; Part 2. – 416 p.] (Ukr.)
16. Mikulionok, I. O. (2014). Mekhanichni, hidromekhanichni i masoobminni protsessy ta obladnannya khimichnoi tekhnologii [Mechanical, Hydromechanical, and Mass-Exchange Processes and Equipment in Chemical Engineering]. Kyiv : NTUU "KPI". URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169> (Ukr.)
17. Mikulionok, I. O. (2015). Technologichni osnovy pereroblennia polimeriv, plastmas i gumovykh sumishei [Technological bases of polymers, plastics and rubber mixtures processing]. NTUU "KPI", Kyiv. (Ukr.)
18. Mikulionok, I. O. (2020). Technologichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv [Technological bases of polymer materials processing]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084> (Ukr.)
19. Mikulionok, I. O. (2022). Innovatsiini zmishuvachi khimichnoi tekhnologii [Innovative mixers of chemical technology]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568> (Ukr.)
20. Mikulionok, I. O. (2022). Kontakti ta dopomizhni prystroi teplomasoobminnykh kolon [Contact and auxiliary devices of heat and mass exchange columns]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. 194 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142> (Ukr.)
21. Mikulionok, I. O., Gavva, O. M., Kryvoplias-Volodina, L. O. (2022). Innovatsiine obladnannya dlia prygotuvannia ta pereroblennia polimernykh materialiv i gumovykh sumishei [Innovative equipment for the polymer materials and rubber mixtures preparation and processing]. NUKhT, Kyiv 2022. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57427> (Ukr.)
22. Mikulionok, I. O. (2023). Innovatsiine teplodobminne obladnannya [Innovative heat exchange equipment]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. 142 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60632> (Ukr.)
23. Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management*, vol. 140, pp. 167–181. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.070>
24. Liu, X., Qu, M., Nguyen, A. P. T., Dilley, N. R., Yazawa, K. (2021). Characteristics of new cement-based thermoelectric composites for low-temperature applications. *Construction and Building Materials*, vol. 304v article 124635. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124635>,
25. He, W., Zhang, G., Zhang, X., Ji, J., Li, G., Zhao, X. (2015). Recent development and application of thermoelectric generator and cooler. *Applied Energy*, vol. 143, 25 p. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.075>
26. Mikulionok, I. O. (2019). Classification of Means of Enhancement of Heat Transfer from the Outer Surface of Pipes (Survey of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 55, no. 5–6, pp. 491–499. doi: 10.1007/s10556-019-00651-4
27. Zhang, Q., Deng, K., Wilkens, L., Reith, H., Nielsch, K. (2022). Micro-thermoelectric devices. *Nature*

- Electronics*, vol. 5, no. 6, pp. 333–347. doi: <https://doi.org/10.1038/s41928-022-00776-0>
28. Mardini-Bovea, J., Torres-Díaz, G., Saba, M., De-la-Hoz-Franco, E., Niño-Moreno, J., Pacheco-Torres, P. J. (2019). A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the Peltier effect. *DYNA*, vol. 86, no. 208, pp. 9–18. doi: <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72589>
 29. El-Demisy, H. A., Asham, M. D., Louis, D. S., Phillips, A. H. (2017). Thermoelectric Seebeck and Peltier effects of single walled carbon nanotube quantum dot nanodevice. *Carbon Letters*, vol. 21, pp. 8–15. doi: <http://dx.doi.org/10.5714/CL.2017.21.008>
 30. Cao, T., Shi, X.-l., Chen, Z.-g. (2023). Advances in the design and assembly of flexible thermoelectric device. *Progress in Materials Science*, vol. 131, article 101003. doi: [10.1016/j.pmatsci.2022.101003](https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101003)
 31. Ding, J., Zhao, W., Jin W., Di, C.-a., Zhu, D. (2021). Advanced Thermoelectric Materials for Flexible Cooling Application. *Advanced Functional Materials*, vol. 31, no. 20, article 2010695. doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.202010695>
 32. Chatterjee, K., Ghosh, T. K. (2021). Thermoelectric Materials for Textile Applications. *Molecules*, vol. 26, no. 11, article 3154. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26113154>
 33. Zhu, S., Fan, Z., Feng, B., Shi, R., Jiang, Z., Peng, Y., Gao, J., Miao, L., Koumoto, K. (2022). Review on Wearable Thermoelectric Generators: From Devices to Applications. *Energies*, vol. 15, no. 9, article 3375. doi: <https://doi.org/10.3390/en15093375>
 34. Zhao, Y., Liu, L., Zhang, F., Di, C., Zhu, D. (2021). Advances in organic thermoelectric materials and devices for smart applications. *SmartMat*, vol. 2, no. 4, pp. 426–445. doi: <https://doi.org/10.1002/smm2.1034>
 35. Hu, B., Shi, X.-L., Zou, J., Chen, Z.-G. (2022). Thermoelectrics for medical applications: Progress, Challenges, and Perspectives. *Chemical Engineering Journal*, vol. 437, part 2, article 135268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135268>
 36. Wang, L., Zhang, K. (2020). Textile-Based Thermoelectric Generators and Their Applications. *Energy & Environmental Materials*, vol. 3, no. 1, pp. 67–79. doi: <https://doi.org/10.1002/eem2.12045>
 37. Balasubramanian, R. (2020). Overview of the use of Peltier’s modules in technology. *Modern Engineering*, no. 1, pp. 11–17. URL: <https://3pn-gw.ocean.icm.edu.pl/articles/132033>
 38. Shittu, S., Li, G., Zhao, X., Ma, X. (2020). Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement. *Applied Energy*, vol. 268, article 115075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115075>
 39. Yang, L., Chen, Z.-G., Dargusch, M. S., Zou, J. (2018). High Performance Thermoelectric Materials: Progress and Their Applications. *Advanced Energy Materials*, vol. 18, no. 6, article 1701797. doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.201701797>
 40. Uchida, K.-i., Heremans, J. P. (2022). Thermoelectrics: From longitudinal to transverse. *Joule*, vol. 6, no. 10, pp. 2240–2245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.016>
 41. Chen, R., Lee, J., Lee, W., Li, D. (2019). Thermoelectrics of Nanowires. *Chemical Reviews*, vol. 119, no. 15, pp. 9260–9302. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00627>
 42. Soleimani, Z., Zoras, S., Ceranic, B., Shahzad, S., Cui, Y. (2020). A review on recent developments of thermoelectric materials for room-temperature applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 37, article 100604. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100604>
 43. Baskaran, P., Rajasekar, M. (2024). Recent trends and future perspectives of thermoelectric materials and their applications. *RSC Advances*, vol. 14, no. 30, pp. 21706–21744. doi: <https://doi.org/10.1039/d4ra03625e>
 44. Zoui, M. A., Bentouba, S., Stocholm, J. G., Bourouis, M. (2020). A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications. *Energies*, vol. 13, no. 14, article 3606. doi: <https://doi.org/10.3390/en13143606>
 45. Zhao, D., Würger, A., Crispin, X. (2021). Ionic thermoelectric materials and devices. *Journal of Energy Chemistry*, vol. 61, pp. 88–103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2021.02.022>
 46. Uchida, K.-i., Adachi, H., Kikkawa, T., Kirihara, A., Ishida, M., Yorozu, S., Maekawa, S., Saitoh, E. (2016). Thermoelectric Generation Based on Spin Seebeck Effects. *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 10, pp. 1946–1973. doi: [10.1109/JPROC.2016.2535167](https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2535167)
 47. Sun, P., Kumar, K. R., Lyu, M., Wang, Z., Xiang, J., Zhang, W. (2021). Generic Seebeck effect from spin entropy. *The Innovation*, vol. 2, no. 2, article 100101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100101>