



Лобунець Ю.М.

**Лобунець Ю.М.**

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна

## **ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ В ЕНЕРГЕТИЦІ**

*Розглянуто можливості використання термоелектричних генераторів для перетворення транзитних теплових потоків у промисловому та енергетичному обладнанні. Показано, що коефіцієнт корисної дії такої схеми дорівнює 100%. Окреслено перспективи застосування подібних ТЕГ.*

**Ключові слова:** термоелектричний генератор, низькопотенціальне джерело теплоти.

*The possibilities of using thermoelectric generators for conversion of transit heat flows in the industrial and power equipment are considered. The efficiency of such a scheme is shown to be 100%. The application potential of such TEG is outlined.*

**Key words:** thermoelectric generator, low-grade heat source.

### **Вступ**

Використання енергії низькопотенціальних джерел теплоти – одна з центральних проблем розвитку сучасної енергетики. Теплові відходи промислових підприємств, а також природні акумулятори теплоти (атмосферне повітря, вода) розглядаються як значне додаткове джерело енергії, що дає можливість зберігати традиційні палива, ресурси яких обмежені. Серед можливих технологій, які дозволяють використовувати низькопотенціальні джерела теплоти, розглядаються й технології термоелектричного перетворення енергії. Слід відзначити, що термоелектричний метод перетворення енергії має особливості, які роблять можливим ставити питання підвищення енергоефективності в принципово іншій площині порівняно з традиційними технологіями. Маємо на увазі можливість застосування ТЕГ для перетворення транзитних теплових потоків в електричну енергію. Термін «транзитний тепловий потік» у нашому випадку стосується потоків у теплообмінних апаратах, які наявні в більшості промислових та енергетичних технологій. Запропонована нами конструкція ТЕГ теплообмінного типу [1] дає можливість використовувати термоелектричний перетворювач як елемент теплообмінного обладнання без порушення основних функцій останнього. Частина теплоти, яка протікає в теплообміннику, перетворюється на електричну енергію. З огляду на те, що з основного технологічного процесу при цьому видаляється лише ця частина теплоти, а решта використовується корисно, за призначенням, можна вважати, що коефіцієнт корисної дії з перетворення теплової енергії на електричну для подібної схеми дорівнює 100%.

У цій роботі розглядаються приклади можливого використання таких схем, наводиться оцінка техніко-економічних обмежень та перспектив застосування ТЕГ теплообмінного типу.

### Конструкція ТЕГ теплообмінного типу

Схема згаданого вище ТЕГ подібна до схеми пластинчатого теплообмінника, в якому потоки теплоносіїв, що обмінюються теплотою, розділено металевими пластинами, між якими за допомогою спеціальних прокладок утворено канали для проходу рідини. Необхідна кількість пластин складається в компактний пакет, що забезпечує задану потужність теплообмінника (рис.1). У випадку ТЕГ роль пластин виконують термобатарей, які складаються з термоелектричних модулів. Таким чином, ТЕГ може виконувати функцію теплообмінника, в якому частина теплового потоку, що проходить між теплоносіями, перетворюється на електричну енергію.

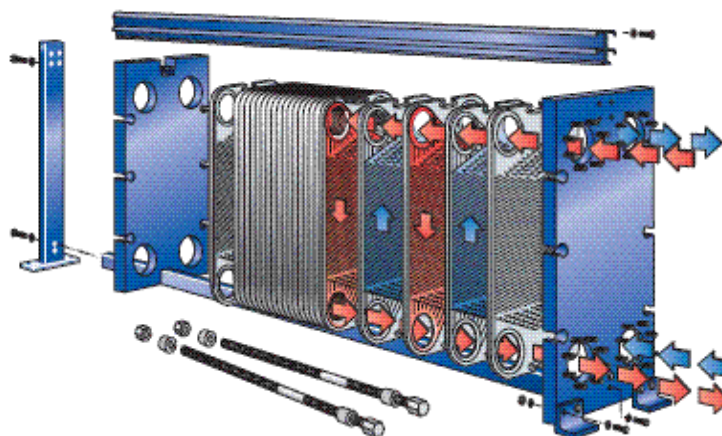


Рис. 1. Пластинчатий теплообмінник [2].

Звичайно, додатковий термічний опір у вигляді термоелементів погіршує теплообмінні характеристики апарату, внаслідок чого його необхідний розмір збільшується. Але пристрій набуває нових якостей, переваги яких можуть компенсувати втрати. Для виявлення умов, за яких схема, що аналізується, робить можливим досягти ефективних рішень, необхідно розглянути техніко-економічні показники ТЕГ як з точки зору генератора електроенергії, так і з точки зору теплообмінного обладнання.

### Порівняння характеристик теплообмінника та еквівалентного йому ТЕГ

Для порівняння візьмемо найпростіший й поширений приклад – підігрів води в системі гарячого водопостачання. Стандартний теплообмінник теплового пункту AquaFlow виробництва компанії Alfa Laval має такі характеристики [2]:

Таблиця 1

Характеристики теплообмінника теплового пункту

Теплова потужність, кВт	Розхід гарячої води, кг/с.	Розхід холодної води, кг/с.	Температура гарячої води, вхід/вихід, °С	Температура хол. води, вхід/вихід, °С	Площа поверхні, м <sup>2</sup>	Коеф. теплопередачі, Вт/м <sup>2</sup> °К
1200	5.5	6.5	110/57	10/55	2.1	5376

Головна функція такого апарату – підігрів води від температури 10°C до температури 55°C в кількості 23.4 м<sup>3</sup> на годину. З цією метою витрачається приблизно 1200 кВт-годин теплової енергії, яка проходить транзитом крізь пластини теплообмінника від гріючої води до холодної. Характеристики ТЕГ теплообмінного типу, що виконує цю функцію, розрахуємо за допомогою методики, викладеної в [3], взявши як вхідні параметри, наведені в табл.1, а також наступні властивості термоелектричних модулів:

- термоелектрична добротність матеріалу термоелементів - 0.0029 К<sup>-1</sup>;
- висота термоелементів - 0.05 см;
- розмір термобатареї – 50x100 см;
- висота каналів між термобатареями – 0.5 см.

Кількість батарей в ТЕГ будемо підбирати, виходячи з необхідності нагріву заданого обсягу води від 10°C до 55°C, маючи на увазі, що канали генератора – теплообмінника з'єднано послідовно. Результати розрахунків наведено на рис. 2, з якого видно, що в розглянутому випадку заданої температури теплоносій досягає за використання 30 термобатарей. Потужність ТЕГ при цьому дорівнює 33 кВт, тобто на електроенергію перетворюється приблизно 2.75% теплового потоку.

Відповідні до табл.1 характеристики ТЕГ наведено в табл.2.

*Таблиця 2*

*Характеристики ТЕГ*

Електрична потужність, ТЕГ, кВт	Розхід гарячої води, кг/с.	Розхід холодної води, кг/с.	Температура гарячої води, вхід/вихід, °С	Температура хол. води, вхід/вихід, °С	Площа поверхні, м <sup>2</sup>	Коеф. теплопередачі, Вт/м <sup>2</sup> °К
33	5.5	6.5	110/64	10/57	15	979

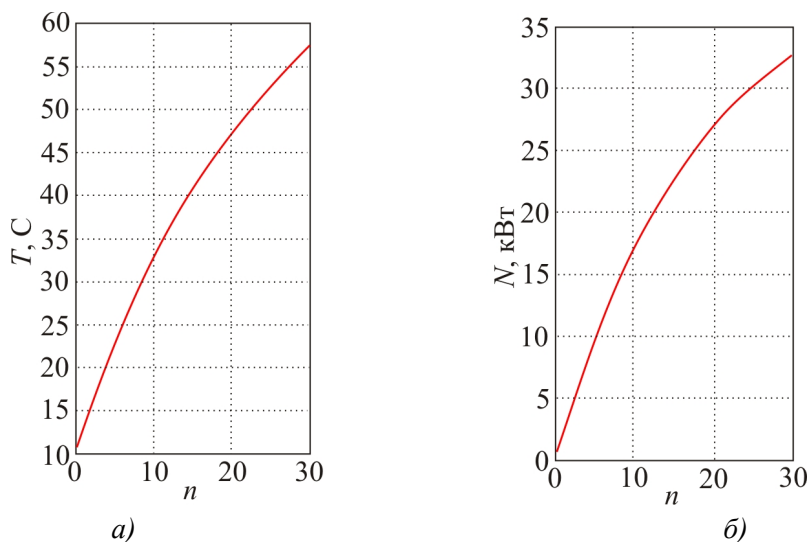


Рис. 2. Залежності температури холодної води  $T$  (а) та потужності ТЕГ  $N$  (б) від кількості термобатарей в ТЕГ,  $n$ .

Як впливає з порівняння даних табл.1 і табл.2, через суттєве зменшення коефіцієнта теплопередачі поверхня теплообміну в ТЕГ зростає приблизно в 7 разів. Але реально такий ТЕГ матиме розміри приблизно 50x100x35 см, що незначно відрізняється від габаритів теплообмінника, який він замінює. Головним же питанням, яке визначає доцільність

застосування подібних ТЕГ, є собівартість електроенергії, яку він виробляє. Попереднє уявлення щодо економічної доцільності схеми можна одержати на основі оцінки вартості одиниці встановленої потужності ТЕГ порівняно з іншими джерелами електроенергії. За базу порівняння візьмемо дані, наведені в [4], рис.3.

Для оцінки вартості ТЕГ розглянемо вартість його компонентів й приблизну вартість робіт. Незважаючи на деяку невизначеність такої оцінки, вона може дати певне уявлення про порядок вартості встановленого кВт потужності ТЕГ. Отже, основними компонентами ТЕГ є:

Таблиця 3

*Основні компоненти ТЕГ*

Назва	Вартість	Кількість в ТЕГ	Сума
термоелектричний матеріал	300 \$US/кг	50 кг	15000 \$US
керамічні теплопереходи	0.03 \$US/см <sup>2</sup>	30 м <sup>2</sup>	9000 \$US
комутаційні пластини (мідь)	12 \$US/кг	120 кг	1440 \$US
металеві пластини (титан)	50 \$US/кг	27 кг	1350 \$US
прокладки теплообмінника	5 \$US/шт	32 шт	160 \$US
			27 450 \$US

Приблизно в таку ж суму можна оцінити вартість робіт зі складання ТЕГ, що в підсумку дає 1700 \$US/кВт. Ця цифра добре корелюється з даними для основних джерел електроенергії, наведеними на рис. 3. Навіть якщо в дійсності вона зросте вдвічі (що можливо, хоча й наведена оцінка є досить завищеною), все одно капітальні вкладення в ТЕГ цілком вкладаються в інтервал цін існуючих джерел електроенергії (слід зауважити також, що ще наявний значний резерв підвищення економічної ефективності ТЕГ за рахунок оптимізації його режимів та параметрів).

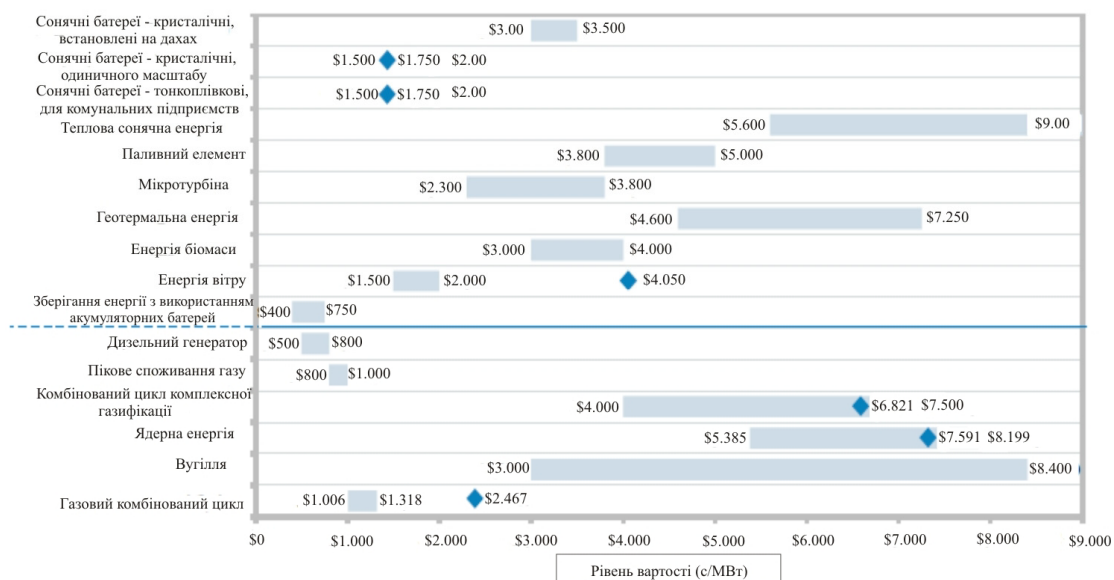


Рис. 3. Капітальні витрати на одиницю встановленої потужності, \$US/кВт [4].

Що стосується прогнозованої вартості електроенергії, то тут схема ТЕГ, що розглядається, має незаперечні переваги, обумовлені високою ефективністю використання теплової енергії. Вона може оцінюватись не вище рівня вартості електроенергії найбільш ефективних традиційних джерел, що використовують подібне паливо (в цьому випадку – газ),

таких як парогазові електростанції. Згідно з [4] інтервал вартості електроенергії для таких джерел становить 0.052...0.096 \$US/кВт-годину, рис.5.

Звичайно, перспективи використання ТЕГ в енергетиці не обмежуються розглянутим прикладом. Є безліч можливостей їх застосування в різноманітних технологічних процесах. Одним з наймасштабніших може бути використання ТЕГ теплообмінного типу в технологічному циклі теплових електростанцій. Наприклад, у водопідігрівачах низького тиску [5], що забезпечують підігрів води в паросиловому циклі від 35°C до 150 °C. Впровадження таких ТЕГ може забезпечити додаткове виробництво 3...5% електроенергії, тобто ККД електростанції підвищиться практично на 10 %. Такі перспективи здаються фантастичними, але для цього є всі технічні та економічні передумови.

## **Висновки**

Здійснений аналіз відкриває широкі можливості застосування ТЕГ теплообмінного типу для використання транзитних теплових потоків у промисловості та енергетиці. Для розвитку цього напрямку передусім необхідно створити уніфіковане з стандартними теплообмінними апаратами обладнання ТЕГ, що надасть можливість широкого впровадження цієї технології.

## **Література**

1. Лобунець Ю.М. Термоелектричний генератор // Патент України №8357 від 27.08.2013р.
2. <http://www.alfalaval.com/>
3. Лобунець Ю.М. Аналіз характеристик термоелектричного генератора теплообмінного типу / Ю.М. Лобунець // Термоелектрика.- 2014. №1. - С.56 – 63.
4. Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 7.0, August 2013.- [http://gallery.mailchimp.com/ce17780900c3d223633ecfa59/files/Lazard\\_Levelized\\_Cost\\_of\\_Energy\\_v7.0.1.pdf](http://gallery.mailchimp.com/ce17780900c3d223633ecfa59/files/Lazard_Levelized_Cost_of_Energy_v7.0.1.pdf)
5. <http://energoworld.ru/library/poverhnostnyie-podogrevateli-nizkogo-davleniya-tiporazmeryi-i-harakteristiki/>

Надійшла до редакції 11.09.14.