



Анатичук Л.І.

Анатичук Л.І., акад. НАН України^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatych@gmail.com;

²Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58000, Україна

КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕПЛОВІ ВІДХОДИ

У роботі проведено аналіз критерію ефективності термоелектричних перетворювачів енергії, що використовують відходи тепла (термоелектричних рекуператорів). Зроблено висновки, в яких випадках є економічно доцільним використання таких рекуператорів. Бібл. 7, рис. 2.

Ключові слова: термоелектричний генератор, утилізація відходів тепла.

Вступ

Загальна характеристика проблеми.

Використання термоелектрики для утилізації відходів тепла з метою отримання електричної енергії протягом останніх майже трьох десятиріч було і залишається предметом інтересу спеціалістів, що займаються термоелектрикою. Серед них відходи тепла від двигунів внутрішнього згорання, металоплавильних печей, цементних печей, хімічної на нафтопереробної промисловості і багато іншого, де значна частина відпрацьованого тепла просто викидається у навколишнє середовище. Значне місце займають і відходи тепла у побуті [1, 2].

У зв'язку з всенаростаючою тенденцією боротьби з викидами CO₂ багато країн почали робити оцінку потенціалу своїх теплових відходів [3, 4]. У роботі [5] проаналізовано доступні статистичні дані і зроблено висновок, що у розвинутих країнах на долю промисловості приходить від 50 % до 80% енергії, споживаної країною в цілому. При цьому, в середньому 20 % від спожитої енергії втрачається з тепловими відходами, а в деяких країнах, таких як Ірландія, Туреччина, Іспанія, Кіпр, ця величина сягає 50 – 70 %.

Тому актуальним є створення термоелектричних генераторів (ТЕГ), які будуть використані в якості рекуператорів теплових відходів і повертати частину теплових втрат у вигляді електричної енергії.

Класична теорія термоелектричних генераторів визначає основним критерієм їх якості коефіцієнт корисної дії. Відмінністю у використанні термогенератора в ролі рекуператора є те, що відходи тепла є безкоштовними, і отже коефіцієнт корисної дії генератора не відіграє вирішальної ролі. *Актуальним* стає питання, яким критерієм варто оцінювати термоелектричні перетворювачі енергії, що будуть використовувати теплові відходи. Отже, виникає принципова нова ситуація щодо опису якості термоелектричного рекуператора.

Метою даної роботи є визначення критерію ефективності термоелектричного рекуператора, що використовує теплові відходи.

Критерій якості ТЕГ в ролі рекуператора теплових відходів

В умовах, коли коефіцієнт корисної дії не є визначальним фактором для оцінки якості термоелектричного рекуператора, на перше місце має бути поставлено економічну доцільність використання ТЕГ в ролі рекуператора.

Виходячи з того, що результатом роботи ТЕГ є додаткова електрична енергія, його доцільно буде використовувати, якщо вартість виробленої ним електричної енергії буде економічно раціональною для її використання у кожному конкретному випадку, а при наявності електричної мережі має бути нижчою за вартість промислової електричної енергії. Зрозуміло, що у цю вартість у режимі рекуперації не входить ціна теплової енергії, яка визначається вартістю енергоносіїв, таких як вуглеводні, ядерне паливо і інше, оскільки відходи тепла безкоштовні.

Тому вартість електричної енергії m_0 , що виробляє термоелектричний рекуператор визначатиметься наступним чином:

$$m_0 = \frac{S_0}{N}, \quad (1)$$

де S_0 – питома вартість термоелектричного рекуператора, N – ресурс роботи.

Отже, у випадку використання ТЕГ в якості рекуператора відходів тепла на перше місце виходять вимоги до його мінімальної питомої вартості S_0 та максимального ресурсу його роботи N .

У питому вартість рекуператора входять вартість самого генератора s_1 , витрати на його установку і обслуговування s_2 , витрати на відведення тепла від генератора s_3 та витрати на стабілізацію напруги s_4 (рис. 1). В залежності від умов експлуатації можуть мати місце і інші витрати.

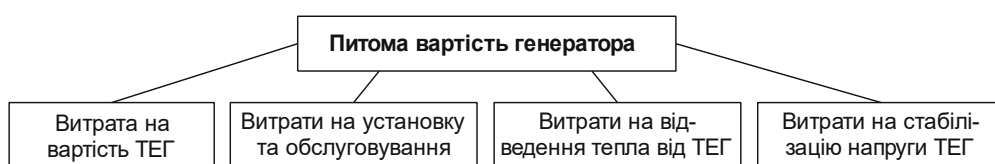


Рис. 1. Складові питомої вартості генератора.

Сукупність цих витрат формує питому вартість рекуператора S_0 (\$/W), що є відношенням усіх витрат до його електричної потужності W :

$$S_0 = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{W}. \quad (2)$$

Оцінки показують, що у даний час ця величина складає біля 25 \$/W [6]. Згідно (1) цю величину потрібно мінімізувати.

З іншого боку, чим більший ресурс роботи генератора N (години), тим нижча вартість виробленої ним електричної енергії m_0 .

Ресурс роботи термоелектричного рекуператора переважним чином залежить від ресурсу термоелектричних модулів, що використані в ТЕГ. Кращі зразки термоелектричних генераторних модулів, що спеціально розроблені для термоелектричних рекуператорів, мають ресурс роботи біля 100 000 годин [6].

Звідси можна оцінити мінімальну вартість електричної енергії термоелектричного рекуператора. Вона складатиме біля 0.25\$ за кВт·год. при умові забезпечення оптимальної температури на модулях ТЕГ.

При наявності промислових електричних мереж економічна доцільність використання ТЕГ в якості рекуператора досягається, коли вартість виробленої ним електричної енергії є нижчою, за вартість промислової електричної енергії, тобто при умові, коли

$$\frac{m}{m_0} > 1, \quad (3)$$

де m – вартість промислової електричної енергії, m_0 – вартість електричної енергії, виробленої термоелектричним рекуператором.

Підставивши (3) в (1) отримаємо критерій ефективності термоелектричного рекуператора A , який повинен бути більше одиниці:

$$A = \frac{mN}{S_0} > 1. \quad (4)$$

Цей критерій і буде характеризувати доцільність використання термоелектричного генератора в якості рекуператора відходів тепла та визначатиме термін його окупності.

Термін окупності термоелектричного рекуператора N_0 складатиме

$$N_0 = \frac{N}{A}. \quad (5)$$

Решту часу $(N - N_0)$ рекуператор буде приносити прибуток. Чистий прибуток P від

використання термоелектричного рекуператора визначатиметься

$$P = mW(N - N_0). \quad (6)$$

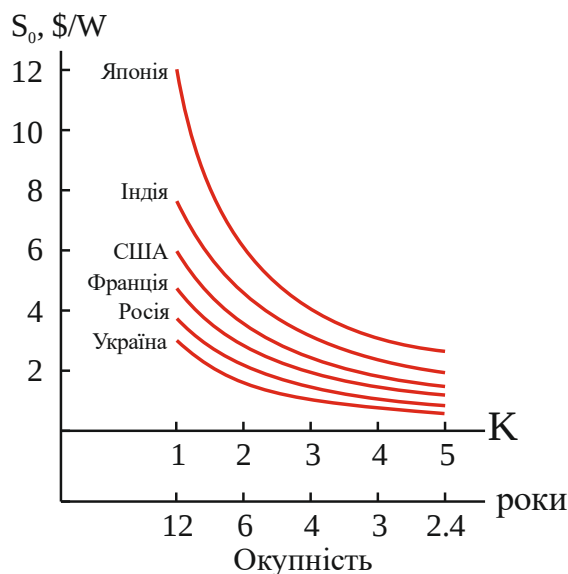


Рис. 2. Доцільна питома вартість TEG у залежності від терміну окупності.

До прикладу, на рис. 2 наведено розрахунки доцільної питомої вартості термоелектричного рекуператора у залежності від часу окупності для різних країн. Питома вартість генератора визначалася, виходячи з ціни на електроенергію у тій чи іншій країні [7].

Як видно з рис. 2, на даний час для досягнення економічної доцільності застосування термоелектричних рекуператорів потрібно працювати у напрямку значного зниження його питомої вартості. Більш доцільним є використання термоелектричних генераторів у країнах, де електрична енергія є найдорожчою.

Висновки

1. Отримано універсальний критерій А ефективності термоелектричних рекуператорів, у яких використовують відходи тепла. Ним визначається економічна доцільність використання рекуператора, термін окупності та прибуток, отриманий завдяки його використанню.
2. Встановлено, що економічно доцільним використання термоелектричного генератора є тоді, коли критерій $A > 1$.
3. Показано, що для зменшення терміну окупності термоелектричного рекуператора, і відповідно, збільшення чистого прибутку, необхідно збільшувати критерій А, тобто працювати у напрямку зниження питомої вартості рекуператора та збільшення його ресурсу роботи.
4. Економічно ефективніше застосування термоелектричних рекуператорів у країнах, де електрична енергія дорожча.

Література

1. Neild Jr. A.B. "Portable thermoelectric generators", Society of Automotive Engineers, New York, SAE-645A, 1963.
2. Zhang X., Chau K.T., Chan C.C. Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles // Journal of Asian Electric Vehicles. – 2017. – Vol. 6, № 2. – P. 1119-1124.
3. A. Heghmanns, S. Wilbrecht, M. Beitelschmidt, K. Geradts. Parameter Optimization and Operating Strategy of a TEG System for Railway Vehicles // Journal of Electronic Materials. DOI: 10.1007/s11664-015-4145-2
4. Henry Bosch. From Modules to a Generator: An Integrated Heat Exchanger Concept for Car Applications of a Thermoelectric Generator // Journal of Electronic Materials, Vol. 45, No. 3, 2016. DOI: 10.1007/s11664-015-4129-2.
5. R. Kuz Dreams and realities of the use of thermoelectric generators in automobile transport. XVII International Forum on Thermoelectricity. Belfast, May 15-18, 2017.
6. Anatyshuk L.I., Kuz R.V. Computer designing and test results of automotive thermoelectric generator. Thermoelectrics goes automotive. - Berlin: Expert Verlag, 2011, P. 191 - 208.
7. <http://worldwideenergy.com>

Надійшла до редакції 20.08.2020

Анатычук Л.И., акад. НАН Украины^{1,2}

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,
e-mail: anatysh@gmail.com;

²Черновицкий национальный университет
им. Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,
Черновцы, 58012, Украина

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОВЫЕ ОТХОДЫ

В работе проведен анализ критерия эффективности термоэлектрических преобразователей энергии, использующих отходы тепла (термоэлектрических рекуператоров). Сделаны выводы, в каких случаях экономически целесообразно использование таких рекуператоров. Библ. 7, рис.2.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, утилизация отходов тепла.

L.I. Anatyshuk *acad. National Academy of
Sciences of Ukraine*^{1,2}

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS
and MES of Ukraine,

1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine

e-mail: anatyshuk@gmail.com

EFFICIENCY CRITERION OF THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS USING WASTE HEAT

The paper analyzes the efficiency criterion of thermoelectric energy converters using waste heat (thermoelectric recuperators). Conclusions are drawn in which cases it is economically feasible to use such recuperators. Bibl/ 7, Fig. 2.

Key words: thermoelectric generator, waste heat recovery.

References

1. Neild Jr. A.B. (1963). *Portable thermoelectric generators*. Society of Automotive Engineers, New York, SAE-645A.
2. Zhang X., Chau K.T., Chan C.C. (2017). Overview of thermoelectric generation for hybrid vehicles. *Journal of Asian Electric Vehicles*, 6(2), 1119-1124.
3. Heghmanns A., Wilbrecht S., Beitelschmidt M., Geradts K. (2016). Parameter optimization and operating strategy of a TEG system for railway vehicles. *Journal of Electronic Materials*. DOI: 10.1007/s11664-015-4145-2
4. Bosch Henry (2016). From modules to a generator: An integrated heat exchanger concept for car applications of a thermoelectric generator (2016). *Journal of Electronic Materials*, 45(3). DOI: 10.1007/s11664-015-4129-2.
5. Kuz R. (2017). Dreams and realities of the use of thermoelectric generators in automobile transport. *XVII International Forum on Thermoelectricity* (Belfast, May 15-18, 2017).
6. Anatyshuk L.I., Kuz R.V. (2011). Computer designing and test results of automotive thermoelectric generator. *Thermoelectrics goes automotive*. Berlin: Expert Verlag, P. 191 - 208.
7. <http://worldwideenergy.com>

Submitted 20.08.2020