

УДК 62-69

Максимук М.В.



Максимук М.В.

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

**ПРО ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ
ПЕРЕДПУСКОВИХ НАГРІВНИКІВ З
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИКИ**

Наведено результати досліджень економічних показників систем передпускового розігріву двигуна внутрішнього згорання, в яких джерелами електричної енергії є термоелектричні генератори. На основі техніко-економічного аналізу визначено, що система з сумісним джерелом тепла є найефективнішим варіантом застосування термоелектричних джерел електрики для передпускової теплової підготовки двигунів транспортних засобів до експлуатації. Встановлено взаємозв'язок між питомою вартістю електричної енергії та корисною тепловою потужністю системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла. Визначено, що особливість використання такої системи полягає в зниженні питомої вартості отриманої електроенергії при підвищенні теплопродуктивності передпускових нагрівників. Бібл. 11, табл. 3.

Ключові слова: передпусковий нагрівник, термоелектричний генератор, ефективність.

Вступ

Одним із перспективних методів вирішення проблеми розряду акумуляторів при тепловій підготовці двигунів транспортних засобів до запуску є використання термоелектричних генераторів (ТЕГ) в якості джерел електричної енергії для передпускових нагрівників [1 – 7].

В роботі [8] показано, що варіанти використання передпускових нагрівників з термогенераторами зводяться до трьох основних систем за способом підведення та відведення теплових потоків:

- з індивідуальними джерелами тепла;
- з індивідуальними джерелами тепла та сумісним гідравлічним контуром;
- з сумісним джерелом тепла.

Вибір найефективнішої для застосувань системи вимагає комплексної оцінки її енергетичних характеристик та вартісних показників. На основі проведених в [8] досліджень з визначення термодинамічних особливостей таких систем встановлено, що найвищим коефіцієнтом корисної дії (ККД) характеризується система "термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник" з сумісним джерелом тепла, та система, в якій передпусковий нагрівник і ТЕГ об'єднані гідравлічним контуром.

Метою даної роботи є подальший аналіз моделей передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики та визначення найбільш ефективного за економічними показниками варіанту використання термоелектричних генераторів в системах передпускового розігріву двигунів транспортних засобів.

Техніко-економічний аналіз використання передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики

Оцінку вартості C систем передпускового розігріву двигунів проведемо з використанням наступного співвідношення:

$$C = C_1 + C_2 \quad (1)$$

де C_1 , C_2 – вартість передпускового нагрівника і термоелектричного генератора відповідно. Для системи з сумісним джерелом тепла C_1 – вартість компонент передпускового нагрівника.

Основним фактором, що визначає цінові характеристики термоелектричного генератора є вартість C_3 термоелектричної батареї генератора:

$$C_3 = n \cdot C_4 \quad (2)$$

де C_4 – вартість термоелектричного модуля, з яких складається термобатарея, n – кількість модулів в термобатареї.

Кількість модулів n , яку необхідно використати для забезпечення заданого рівня електричної потужності W ТЕГ можна визначити за співвідношенням:

$$n = \frac{W}{w} \quad (3)$$

де w – електрична потужність модуля.

Оцінку вартості систем проведемо на прикладі рідинного передпускового нагрівника Webasto Thermo Top EVO 4, цінові характеристики якого наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

*Вартість рідинного передпускового нагрівника
Webasto Thermo Top EVO 4 та його функціональних компонент [9]*

№	Найменування	Вартість C_i , \$ США
1	Передпусковий нагрівник	850
2	Пальник	155
3	Вентилятор	200
4	Паливний насос	110
5	Циркуляційна помпа	135

В якості термобатареї для ТЕГ використаємо термоелектричні генераторні модулі "Алтек-1061" вихідною електричною потужністю $w = 10$ Вт, які виготовляються в Інституті термоелектрики [10]. Вартість одного такого модуля дорівнює ~ 20 \$. Крім того, для спрощення розрахунків, будемо вважати, що вартість термоелектричних модулів становить біля 30 % від загальної вартості термоелектричного генератора.

Оскільки рівень вихідної електричної потужності, що дозволяє забезпечити функціонування розглянутих систем, становить близько 50 Вт [8], в конструкції термогенераторів необхідно використати шість генераторних модулів "Алтек-1061". Таким чином, загальна вартість системи з індивідуальними джерелами тепла та системи з сумісним гідравлічним контуром складатиме 1250 \$ при вартості ТЕГ 400 \$. Відповідно вартість системи з сумісним джерелом тепла буде нижчою на 250 \$.

Орієнтовну вартість систем передпускового розігріву двигуна представлено в табл. 2. Для комплексної оцінки ефективності розглянутих систем в таблиці наводяться раніше отримані значення їх сумарного теплового й електричного ККД.

З наведених даних слідує, що найраціональнішою для передпускового розігріву двигуна є система "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла, оскільки, при рівних значеннях ККД, її вартість нижча в порівнянні із вартістю системи, об'єднаної єдиним гідравлічним контуром.

Таблиця 2

*Ефективність термоелектричних систем
передпускового розігріву двигуна*

№	Тип системи	ККД η , %	Вартість C , \$ США
1	З індивідуальними джерелами тепла	60	1250
2	З індивідуальними джерелами тепла та сумісним гідравлічним контуром	75	1250
3	З сумісним джерелом тепла	75	1000

Проведемо оцінку питомої вартості електроенергії c , отриманої від застосування системи передпускового розігріву двигуна з сумісним джерелом тепла:

$$c = \frac{C}{W} = \frac{C_1 + C_2}{nw} \quad (4)$$

Розрахунки виконаємо на основі проведеної в [11] класифікації передпускового обладнання за рівнем теплопродуктивності та споживаної електричної потужності, для трьох типів рідинних передпускових нагрівників: Thermo Top Evo 4, Thermo Pro 90, Thermo E200, орієнтованих на використання в транспортних засобах з об'ємом двигуна (> 2.5) л, (4-10) л та (< 10) л [9]. Крім того встановимо залежність питомої вартості електричної енергії від теплопродуктивності

передпускових нагрівників Q' та коефіцієнту корисної дії ТЕГ η_{TEG} , визначеного за наступним співвідношенням:

$$\eta_{TEG} = \frac{W}{Q} \quad (5)$$

Затрачена для роботи термогенератора тепла потужність Q в системі з сумісним джерелом тепла є рівною тепловій потужності пальника передпускового нагрівника:

$$Q = \eta \cdot A \cdot m, \quad (6)$$

де η – ККД пальника передпускового нагрівника; A і m – теплотворна здатність і витрата палива, яке використовується для роботи передпускового нагрівника.

Розрахунки проведемо з використанням інформації про технічні характеристики наведених моделей нагрівників [9].

Отримані результати представлено в табл. 3.

Таблиця 3

*Результати розрахунків питомої вартості електричної енергії
для системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор"
з сумісним джерелом тепла*

Характеристики	Thermo Top Evo 4	Thermo Pro 90	Thermo E200
*Вартість функціональних компонент C_1 , \$	600	700	670
**Вартість термоелектричного генератора C_2 , \$	670	770	870
Вартість системи C , \$	1270	1470	1540
***Вихідна електрична потужність ТЕГ W , Вт	100	150	200
Питома вартість електричної енергії c , \$/Вт	13	10	8
Теплопродуктивність Q' , кВт	4	9	20
Ефективність термоелектричного перетворення η_{TEG} , %	2	1.3	1

* При розрахунку вартості функціональних компонент рідинних передпускових нагрівників використано дані, наведені в прайс-листах компанії Webasto [9].

** У зв'язку з тим, що конструкція термоелектричних генераторів виконана згідно однієї фізичної моделі, вартість термогенераторів, орієнтованих на вищі значення електричної потужності, визначено як суму вартості ТЕГ найменшої електричної потужності та вартості відповідної кількості термоелектричних модулів.

*** Вихідна електрична потужність термоелектричного генератора визначена з урахуванням можливості підзарядки акумуляторної батареї [11].

Як слідує з наведених даних особливістю системи з сумісним джерелом тепла є зниження питомою вартості отриманої електричної енергії, що має місце при підвищенні теплопродуктивності передпускових нагрівників. Причиною цього є зв'язок, який існує між питомою вартістю і η_{TEG} , причому зменшення термоелектричного ККД зумовлює зниження питомої вартості отриманої електричної енергії від 13 \$/Вт для теплової потужності 4 кВт до 8 \$/Вт для потужностей рівня 20 кВт, що є ще однією перевагою даної системи.

Висновки

1. Показано, що найраціональнішою для передпускового розігріву двигуна, як за енергетичними характеристиками, так і з врахуванням вартісних показників, є система "передпусковий нагрівник - термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла.
2. Встановлено, що система з єдиним гідравлічним контуром є менш ефективною, оскільки, при рівних значеннях ККД, її вартість орієнтовно в 1.2 рази вища в порівнянні із вартістю з сумісним джерелом тепла.
3. Показано, що система з індивідуальними джерелами тепла є найменш ефективною для передпускового розігріву двигуна, як за рівнем ККД, так і з позицій загальної вартості. Проте така система має ряд переваг, які полягають в можливості використання термоелектричного генератора в якості резервного джерела електричної енергії на автомобілі.
4. Визначено, що найвищими значеннями термоелектричного ККД в системі з сумісним джерелом тепла, повинні характеризуватися передпускові нагрівники найменшої теплової потужності. Встановлено, що з ростом теплопродуктивності, ефективність термоелектричного перетворення енергії досягає значення 1 % для теплових потужностей рівня 20 кВт. Останнє є важливим, оскільки існує зв'язок між питомою вартістю отриманої електроенергії і ККД термогенератора, причому зменшення ККД зумовлює зменшення питомої вартості від 13 \$/Вт до 8 \$/Вт.

Автор висловлює подяку акад. Анатичуку Л.І. за тему та ідею наукового дослідження, а також за цінні поради при написанні роботи.

Література

1. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Режими роботи автомобілів при понижених температурах. Необхідність використання нагрівачів та раціональність застосування термогенераторів для їх роботи // Термоелектрика. – 2014. – №3. – С. 20-31.
2. Пат. (UA) на винахід № 102303 МПК F01N 5/00 H01L 35/00. Термоелектричне джерело живлення для автомобіля / Анатичук Л.І., Михайловський В.Я. – Опубл. 25.06.2013, бюл. №12, Заявка u2011 13957 від 28.11.2011.
3. Пат. (UA) №72304. МПК: F01N 5/00; H01L35/00. Автомобільний обігрівач з термоелектричним

- джерелом живлення / Анатичук Л.І., Михайловський В.Я. – Опубл. 10.08.2012, бюл. №15, Заявка u2012 02055 від 23.02.2012.
4. Пат. (UA) №124999. МПК: F02N 19/10; H01L35/00. Автомобільний обігрівач з термоелектричним джерелом живлення / Максимук М.В. – Опубл. 25.04.2018, бюл. №8, Заявка u2017 11819 від 04.12.2017.
 5. Pat. US6527548B1. Int.Cl. F24H 1/00. Self powered electric generating space heater / Aleksandr S. Kushch, Daniel Allen – Date of patent 4.03.2003, App.No 10/176,312, Filed 20.06.2002.
 6. Pat. US2010/0115968A1. Int.Cl. F25B 21/02. Heating apparatus comprising a thermoelectric devise / Jorn Budde, Jeans Baade, Michael Stelter – Date of patent 13.05.2010, App.No 11/993,608, Filed 23.06.2006.
 7. Пат. (RU) 2268393C1. МПК: F02N 17/04. Устройство для облегчения запуска двигателя внутреннего сгорания / Прилепо Ю.П. – – Опубл. 20.01.2006, бюл. №02, Заявка 2005101942/06 от 27.01.2005.
 8. Анатичук Л.І., Максимук М.В. Ефективність передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики. // Термоелектрика. – 2018. – №3.
 9. Електронний ресурс <http://www.webasto.com/>
 10. Електронний ресурс <http://www.inst.cv.ua>
 11. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Рациональні потужності термогенераторів для передпускових нагрівачів транспортних засобів. // Термоелектрика. – 2015. – №4. – С. 65-74.

Надійшла до редакції 19.11.2018

Максимук М.В.

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

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПУСКОВОГО ОТОПИТЕЛЯ С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Приведены результаты исследований экономических показателей систем предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания, в которых источниками электроэнергии являются термоэлектрические генераторы. На основе технико-экономического анализа определено, что система с совместимым источником тепла является самым эффективным вариантом применения термоэлектрических источников электричества для предпусковой тепловой подготовки двигателей транспортных средств к эксплуатации. Установлена взаимосвязь между удельной стоимостью электрической энергии и полезной тепловой мощностью системы "предпусковой отопитель – термоэлектрический генератор" с совместным источником тепла. Определено, что особенность использования такой системы заключается в снижении удельной стоимости полученной электроэнергии при повышении тепловой мощности предпусковых нагревателей. Библи. 11, табл. 3.

Установлена взаимосвязь между удельной стоимостью электрической энергии и полезной тепловой мощностью системы "предпусковой отопитель – термоэлектрический генератор" с совместным источником тепла. Определено, что особенность использования такой системы заключается в снижении удельной стоимости полученной электроэнергии при повышении тепловой мощности предпусковых нагревателей. Библ. 11, табл. 3.

Ключевые слова: предпусковой отопитель, термоэлектрический генератор, эффективность.

M.V. Maksimuk

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;
e-mail: anatysh@gmail.com

ECONOMIC ASPECTS OF USING STARTING PREHEATERS WITH THERMOELECTRIC HEAT SOURCES

This paper presents the results of research on the economic indicators of systems for preheating of the internal combustion engine with thermoelectric generators as the sources of electric power. Based on the feasibility study, it was determined that a system with a common heat source is the most efficient option of using thermoelectric power sources for pre-start thermal preparation of vehicle engines for work. The relationship between the unit cost of electric energy and the useful thermal power of the "starting preheater-thermoelectric generator" system with a common heat source is established. It is determined that the peculiarity of using such a system lies in reducing the specific cost of electric energy generation when increasing the thermal output of starting preheaters. Bibl. 11, table 3.

Keywords: starting preheater, thermoelectric generator, efficiency.

References

1. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2014). Automobile operating conditions at low temperatures. The necessity of applying heaters and the rationality of using thermal generators for their work. *J. Thermoelectricity*, 3, 20-31.
2. Patent of Ukraine №102303 (2013). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya.. Thermoelectric power source for automobile [in Ukrainian].
3. Patent of Ukraine № 72304 (2012). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Automobile heater with thermoelectric power source [in Ukrainian].
4. Patent of Ukraine № 124999 (2018). Maksimuk M.V. Automobile heater with thermoelectric power source [in Ukrainian].
5. Patent of US6527548B1 (2003). Aleksandr S. Kushch, Daniel Allen. Self-powered electric generating space heater.
6. Patent of US2010/0115968A1 (2010). Jorn Budde, Jeans Baade, Michael Stelter. Heating apparatus comprising a thermoelectric device.
7. Patent of RF 2268393C1 (2006). Prilepo Yu.P. A device to facilitate the start of internal combustion engine.
8. Anatyshuk L.I., Maksimuk M.V. (2018). Efficiency of starting pre-heaters with thermoelectric power sources. *J. Thermoelectricity*, 3

9. Retrieved from <http://www.webasto.com/>
10. Retrieved from <http://www.inst.cv.ua>
11. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Rational powers of thermal generators for starting pre-heaters of vehicles. *J. Thermoelectricity*, 4, 65-74.

Submitted 19.11.2018