

УДК 62-69



Анатичук Л.І.

Анатичук Л.І. акад. НАН України,<sup>1,2</sup>  
Максимук М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет  
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,  
Чернівці, 58000, Україна, e-mail: anatysh@gmail.com



Максимук М.В.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕДПУСКОВИХ НАГРІВНИКІВ З ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИКИ

*Наведено результати досліджень термодинамічних особливостей систем передпускового розігріву двигуна внутрішнього згорання, в яких джерелами електричної енергії є термоелектричні генератори. Розглянуто фізичні моделі систем «передпусковий нагрівник – термогенератор» та проведено оцінку їхніх енергетичних характеристик.*

*На основі проведених розрахунків визначено найефективніші варіанти застосування термоелектричних джерел електрики для передпускової підготовки двигунів транспортних засобів до експлуатації. Бібл., рис., табл..*

**Ключові слова:** передпусковий нагрівник, термоелектричний генератор, фізична модель.

### Вступ

Для подолання труднощів, пов'язаних із експлуатацією автомобілів при понижених температурах, все ширше використовуються різноманітні засоби теплової передпускової підготовки двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) [1, 2]. Найефективнішими серед таких засобів є передпускові нагрівники – полум'яні джерела тепла, що працюють від палива автомобілів та здійснюють розігрів охолоджуючої рідини двигунів. Крім надійного запуску ДВЗ використання передпускових нагрівників створює умови для економії в середньому біля 90-150 л палива за сезон, зменшує до 5 разів токсичність вихлопних газів під час розігріву двигуна та дозволяє збільшити моторесурс двигуна на 200-300 км за один пуск при розігріві від температури (-20 ÷ -30) °С [3, 4].

Визначальним фактором, що обмежує можливість масового використання передпускових нагрівників є розряд акумуляторної батареї під час роботи передпускового обладнання [5].

Одним із перспективних методів вирішення проблеми розряду акумуляторів при теплової підготовці двигунів транспортних засобів до запуску є використання термоелектричних генераторів в якості джерел електричної енергії для передпускових нагрівників [6-11].

Створення такої системи передпускового розігріву двигунів ставить ряд завдань, які полягають в пошуку найраціональнішої схеми використання передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами живлення як за енергетичними характеристиками, так із врахуванням її вартісних показників.

Метою даної роботи є аналіз моделей передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики та визначення найефективнішого варіанту використання термоелектричних генераторів в системах передпускового розігріву двигунів транспортних засобів.

### Фізичні моделі та термодинамічні особливості передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики

Попередньо введемо коефіцієнт корисної дії (ККД)  $\eta$  для системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор» як відношення отриманої корисної енергії до затраченої теплової енергії  $Q$ . Корисною енергією будемо вважати отриману теплову енергію  $Q'$ , що безпосередньо використовується для передпускового розігріву двигуна, та електричну енергію  $W$ , яка необхідна для функціонування системи:

$$\eta = \frac{Q' + \sum_i W_i}{Q}, \quad (1)$$

де  $W_i$  – потужності споживачів електричної енергії системи.

Затрачену теплову енергію системи прийемо рівною сумарній тепловій енергії паливників передпускового нагрівника та термоелектричного генератора (ТЕГ):

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

де  $Q_1$  і  $Q_2$  – теплові енергії паливників передпускового нагрівника та термогенератора, які можна виразити наступними співвідношеннями:

$$Q_1 = \eta_{A1} \cdot A \cdot m_1 \quad (3)$$

$$Q_2 = \eta_{A2} \cdot A \cdot m_2 \quad (4)$$

де  $\eta_{A1}$ ,  $\eta_{A2}$  – ККД паливників передпускового нагрівника і ТЕГ;  $A$  – теплотворна здатність палива, яке використовується для роботи системи;  $m_1$ ,  $m_2$  – витрати палива передпускового нагрівника і термогенератора відповідно.

Варіанти використання термоелектричних генераторів для передпускового розігріву двигунів можна звести до трьох основних фізичних моделей, які наведено нижче.

### Фізична модель системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з індивідуальними джерелами тепла.

На рис. 1 наведено фізичну модель системи передпускового розігріву двигунів, що містить рідинний передпусковий нагрівник та термоелектричний генератор, підведення тепла до яких здійснюється індивідуально, з використанням окремих джерел тепла.

Рідинний передпусковий нагрівник складається з джерела тепла 1, що знаходиться у внутрішньому об'ємі теплообмінника 2. В якості джерела тепла використано полум'яний палик, повітря та паливо до якого підводяться вентилятором 3 і насосом 4. В теплообміннику нагрівника виконано канали, в яких теплоносій нагрівається, після чого, шляхом прокачування циркуляційною помпою 5, надходить до двигуна автомобіля. Запуск та керування роботою компонент передпускового нагрівника (повітряного вентилятора, паливного насоса, циркуляційної помпи) здійснюється електронним блоком 6.

Термоелектричний генератор містить індивідуальний полум'яний палик 7, гарячий теплообмінник 8 для підведення тепла до термоелектричної батареї 9 та систему відведення тепла, яка складається з повітряних радіаторів 10 і вентиляторів 11. Подача палива та повітря до джерела тепла термогенератора здійснюється вентилятором 12 та паливним насосом 13. Для стабілізації вихідної напруги термогенератора і керування його роботою в моделі ТЕГ передбачено електронний блок 14.

Працює термоелектричний генератор наступним чином.

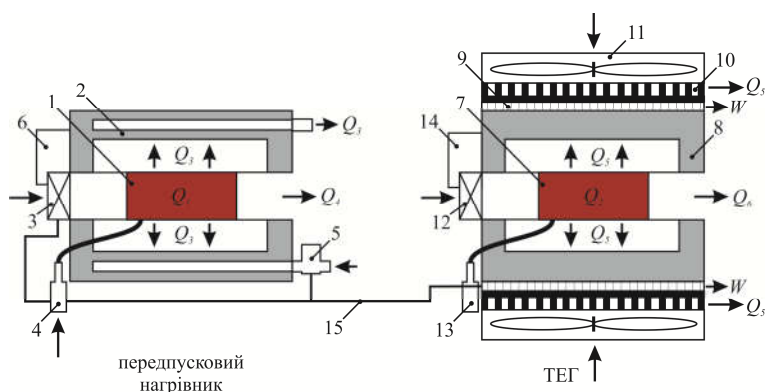


Рис. 1 Фізична модель системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор» з індивідуальними джерелами тепла: 1 – паливник передпускового нагрівника; 2 – теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника; 4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – циркуляційна помпа; 6 – електронний блок передпускового нагрівника; 7 – паливник термогенератора; 8 – гарячий теплообмінник; 9 – термоелектрична батарея; 10 – повітряний радіатор; 11 – вентилятор для відведення тепла; 12 – повітряний вентилятор термогенератора; 13 – паливний насос термогенератора; 14 – електронний блок термогенератора; 15 – засоби електричної комутації.

Теплова енергія, отримана внаслідок згорання палива нагріває гарячий теплообмінник, проходить через термоелектричну батарею і відводиться в навколишнє середовище. Внаслідок різниці температур між гарячою і холодною сторонами термобатареї генерується електричний струм, що використовується для живлення передпускового нагрівника.

Таким чином, розглянута система забезпечує передпусковий нагрівник необхідною електричною енергією, практично не використовуючи акумулятор. Разом з тим така система може виконувати і додаткові функції, зокрема термогенератор може застосовуватись як додаткове джерело електричної енергії на автомобілі. Ця енергія може бути направлена при необхідності для зарядки акумулятора або інших потреб енергозабезпечення, наприклад для живлення різноманітних додаткових електричних пристроїв – протиугінних засобів довготривалої роботи, ноутбуків, телевізорів, систем зв'язку, холодильника для зберігання продуктів, при непрацюючому двигуні.

Розглянемо енергетичні показники такої системи. Теплова енергія  $Q_1$  і  $Q_2$ , що виробляється для її роботи, забезпечується паливником передпускового нагрівника та паливником термоелектричного генератора. Частина тепла  $Q_1$  використовується для нагріву циркуляційної рідини  $Q_3$ , інша частина  $Q_4$  виноситься продуктами згорання в оточуючий простір. Аналогічний розподіл тепла має місце і в термоелектричному генераторі, а саме, тепло  $Q_5$  від паливника 7 через термоелектричні батареї 9 переноситься у повітряні радіатори 10 і вентиляторами 11 відводиться в навколишнє середовище. Інша частина тепла  $Q_6$  відводиться з термогенератора продуктами згорання.

Таким чином, загальна теплова енергія системи  $Q$  дорівнює:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (5)$$

Електрична енергія  $W$ , вироблена термоелектричним генератором, використовується для живлення насосів 4, 5, 13 та вентиляторів 3, 11, 12. Тоді співвідношення (1) для даної системи запишеться у вигляді:

$$\eta = \frac{Q_3 + W}{Q_1 + Q_2}, \quad (6)$$

Проведемо оцінку ККД для наведеної системи, на прикладі рідинного передпускового нагрівника Webasto Thermo Top EVO (бензиновий варіант,  $A = 44$  МДж/кг) тепловою потужністю  $Q_3 = 4$  кВт та витратою палива  $m_1 = 0.56$  л/год [12].

Вихідну електричну потужність термогенератора приймемо рівною  $W = 50$  Вт: 35 Вт – для живлення компонент передпускового нагрівника [12] та 15 Вт для енергозабезпечення насосів і вентиляторів ТЕГ [13].

Величину теплової енергії  $Q_2$  можна оцінити за наступним співвідношенням:

$$\eta_{TEG} = \frac{W}{Q_2}, \quad (7)$$

де  $\eta_{TEG}$  – коефіцієнт корисної дії термоелектричного генератора.

Якщо врахувати, що максимальна ефективність сучасних ТЕГ, де застосовано однокаскадні модулі на основі телуриду вісмуту становить 3,5 % [14], для забезпечення заданої вихідної електричної потужності необхідно затратити приблизно  $Q_2 = 1.4$  кВт тепла.

Таким чином, підставивши розраховані значення теплових та електричних потужностей в рівняння (6), отримаємо, що ККД системи «передпусковий нагрівник - термоелектричний генератор» з індивідуальними джерелами тепла дорівнює  $\sim 60$  %.

### Фізична модель системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор» з індивідуальними джерелами тепла та сумісним гідравлічним контуром.

В порівнянні з попередньою системою, дана система об'єднує передпусковий нагрівник і термоелектричний генератор єдиним гідравлічним контуром (рис. 2). У зв'язку з цим в системі охолодження термогенератора повітряні радіатори та вентилятори для відведення тепла від термобатареї замінено рідинними теплообмінниками 10, в яких циркулює теплоносіє.

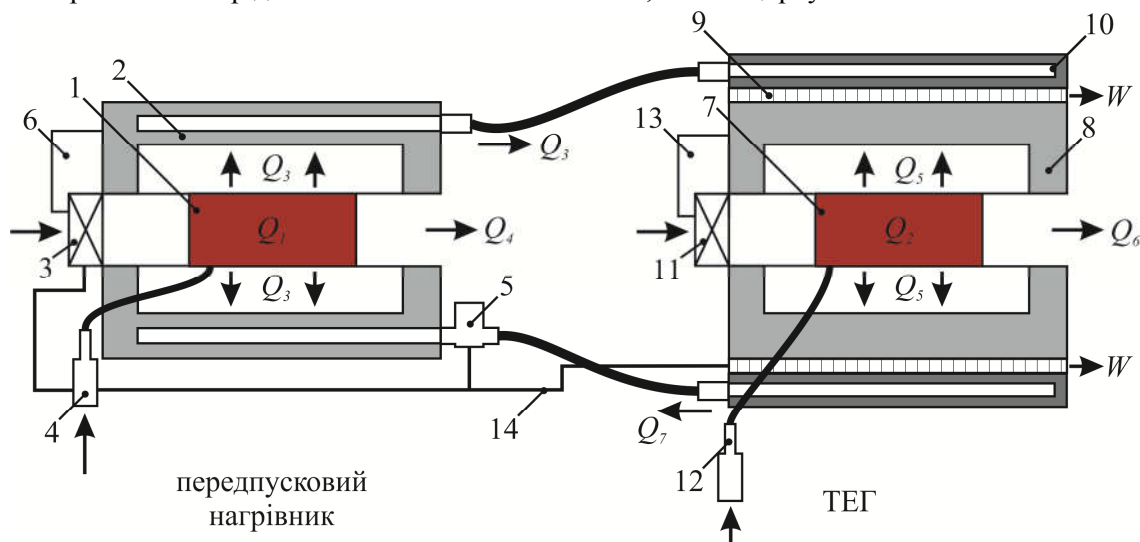


Рис. 2 – Фізична модель системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор", з індивідуальними джерелами тепла та сумісним гідравлічним контуром:

- 1 – пальник передпускового нагрівника; 2 – теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника; 4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – циркуляційна помпа;
- 6 – електронний блок передпускового нагрівника; 7 – пальник термогенератора;
- 8 – гарячий теплообмінник; 9 – термоелектрична батарея; 10 – холодний рідинний теплообмінник;
- 11 – повітряний вентилятор термогенератора; 12 – паливний насос термогенератора;
- 13 – електронний блок термогенератора; 14 – засоби електричної комутації.

Оскільки тепловий потік  $Q_7$ , що відводиться від термобатареї, затрачається для нагріву теплоносія, дана система дозволяє здійснювати попередній розігрів двигуна як передпусковим нагрівником, так і з використанням термоелектричного генератора. Тому вираз (1) для ККД системи переписується у наступному вигляді:

$$\eta = \frac{Q_3 + Q_7 + W}{Q_1 + Q_2}, \quad (8)$$

де корисне тепло  $Q_7$  можна знайти із рівності теплових потоків ТЕГ:

$$Q_2 = W + Q_7 + Q_6 \quad (9)$$

Використовуючи раніше знайдені значення електричної потужності  $W$  і теплової потужності  $Q_2$  та врахувавши, що кількість тепла  $Q_6$ , яке втрачається з продуктами згорання в конструкціях термоелектричних генераторів, становить в середньому 25 % від теплової потужності  $Q_2$  [15], знаходимо величину теплової енергії  $Q_7$  ( $Q_7 = 1$  кВт), що затрачається для нагріву теплоносія та орієнтовний ККД даної системи ( $\eta \sim 75$  %).

### Фізична модель системи «термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник» з сумісним джерелом тепла.

Фізична модель системи (рис. 3) з сумісним джерелом тепла містить гарячий теплообмінник 1, у внутрішньому об'ємі якого розташовано пальник 2. Подача палива та повітря до пальника здійснюється вентилятором 3 та паливним насосом 4. На зовнішній поверхні гарячого теплообмінника знаходиться термоелектрична батарея 5, тепло від якої відводиться опалювальною рідиною, що циркулює в холодних теплообмінниках 6 шляхом прокачування рідинною помпою 7. Запуск та керування роботою нагрівника здійснюється електронним блоком 8.

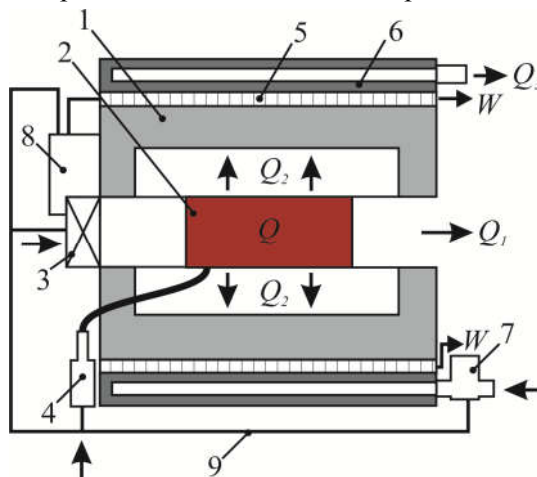


Рис.3 – Фізична модель системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор"

з сумісним джерелом тепла: 1 – пальник передпускового нагрівника;

2 – гарячий теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника;

4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – термоелектрична батарея;

6 – холодний рідинний теплообмінник; 7 – циркуляційна помпа передпускового нагрівника;

8 – електронний блок; 9 – засоби електричної комутації.

Таким чином, в наведеній системі термоелектричний генератор і передпусковий нагрівник об'єднані в єдину конструкцію, що дає можливість отримувати електричну енергію та здійснювати

розігрів двигуна одним тепловим потоком  $Q$ . При цьому частина тепла  $Q_1$  виноситься продуктами згорання в навколишнє середовище, а тепло  $Q_2$ , у вигляді теплової  $Q_3$ , та електричної  $W$  потужності, використовується для прогріву двигуна та живлення компонент нагрівника, а також, за необхідності, для підзарядки акумулятора під час передпускового підігріву:

$$\begin{cases} Q = Q_1 + Q_2 \\ Q_2 = W + Q_3 \end{cases} \quad (10)$$

Тому ККД системи «термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник» з сумісним джерелом тепла можна оцінити за наступним співвідношенням:

$$\eta = \frac{W + Q_3}{Q} \quad (11)$$

Скориставшись відомими значеннями електричних та теплових характеристик передпускового нагрівника Webasto Thermo Top EVO ( $Q = 5.3$  кВт,  $W = 50$  Вт), з урахуванням наближеної оцінки величини  $Q_1$  ( $Q_1 = 0.25 Q = 1.3$  кВт), визначаємо, що ККД даної системи передпускового розігріву двигуна складає 75 %.

Таким чином, найвищими значеннями ККД характеризується система «термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник» з сумісним джерелом тепла та система, в якій передпусковий нагрівник і ТЕГ об'єднані гідравлічним контуром. Очевидно, що система з сумісним джерелом тепла є дешевшою, що робить її використання більш ефективним. Проте це питання потребує окремих досліджень, які будуть представлені в подальших роботах.

## Висновки

1. Розглянуто три варіанти фізичних моделей передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики. Встановлено, що найраціональнішими для передпускового розігріву двигунів внутрішнього згорання є система "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла та система, що об'єднує передпусковий нагрівник і термогенератор одним гідравлічними контуром. Використання таких систем дозволяє забезпечити найвищий сумарний тепловий та електричний ККД на рівні 75 %.
2. Показано, що ККД системи з індивідуальними джерелами тепла складає 60 %, тому її застосування є менш ефективним. Проте така система має ряд переваг, які полягають в можливості використання термоелектричного генератора в якості резервного джерела електричної енергії на автомобілі.

## Література

1. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - М.: Наука, 2001, 535 с.
2. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
3. Матюхин Л.М. Теплотехнические устройства автомобилей: учеб. пособие / Л.М. Матюхин, – М.: МАДИ, 2009. – с.89.
4. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. – В.С. Найман // Москва: АСТ, 2007. – с. 213.
5. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Режими роботи автомобілів при понижених температурах. Необхідність використання нагрівачів та раціональність застосування термо-

- генераторів для їх роботи // Термоелектрика. – 2014.- №3.- С. 20-31.
6. 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.
  7. 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.
  8. 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.
  9. 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.
  10. 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.
  11. 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.
  12. Електронний ресурс <http://www.webasto.com/>
  13. Патент (UA) №54900 МПК: H01L35/00. Портативний термоелектричний генератор / Михайловський В.Я., Струтинська Л.Т., Гищук В.С. (UA).- Опубл. 25.11.2010. Заявка u201006977 від 07.06.2010.
  14. Анатичук Л.І. Двохсекційний термоелектричний генератор на газовому паливі / Л.І. Анатичук, В.Я. Михайловський // Термоелектрика.-2008.-№1.-С.76-86.
  15. Михайловський Віліус Ярославович. Термоелектричні генератори на органічному паливі: дис. д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.01 / НАН України. – Чернівці, 2007. – 320 с.

Надійшла до редакції .20.06.2018

**Анатичук Л.І. ак. НАН України,<sup>1,2</sup>**  
**Максимук М.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Інститут термоелектричності НАН и МОН України, ул. Науки, 1,  
Черновцы, 58029, Украина, e-mail: [anatykh@gmail.com](mailto:anatykh@gmail.com);

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,  
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина,  
e-mail: [anatykh@gmail.com](mailto:anatykh@gmail.com)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПУСКОВЫХ  
НАГРЕВАТЕЛЕЙ С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ  
ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

*Приведены результаты исследований термодинамических особенностей систем предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания, в которых источниками электрической энергии*

являются термоэлектрические генераторы. Рассмотрены физические модели систем «предпусковой нагреватель – термогенератор» и проведена оценка их энергетических характеристик. На основе проведенных расчетов определены самые эффективные варианты приложения термоэлектрических источников электричества для предпусковой подготовки двигателей транспортных средств к эксплуатации.

**Ключевые слова:** предпусковой нагреватель, термоэлектрический генератор, физическая модель.

**L.I. Anatyshuk** acad. National Academy of Sciences of Ukraine<sup>1,2</sup>,  
**M.V. Maksimuk**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,  
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

<sup>2</sup>Yu. Fedkovych Chernivtsi National University, 2, Kotsyubinsky str.,  
Chernivtsi, 58012, Ukraine; e-mail: anatysh@gmail.com

## EFFICIENCY OF STARTING PREHEATERS WITH THERMOELECTRIC POWER SOURCES

*This paper presents the results of research on the thermodynamic features of systems for start heating of the internal combustion engine, with thermoelectric generators as sources of electrical power. The physical models of the “starting preheater - thermogenerator” systems are considered and their energy characteristics are evaluated. On the basis of the calculations, the most effective variants of using thermoelectric power sources for start preparation of vehicle engines for operation are determined.*

**Key words:** starting preheater, thermoelectric generator, physical model.

### References

1. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M. et al. (2001). *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia avtomobilei: Uchebnik dlia vuzov. 4 izdaniie, pererabotannoie i dopolnennoie [Technical operation of cars: Textbook for high schools. 4<sup>th</sup> ed., revised and enlarged]*. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Reznik L.G., Romalis G.M., Charkov S.T. (1989). *Efektivnost ispolzovaniia avtomobilei v razlichnykh usloviakh ekspluatatsii [Efficiency of using automobiles in different operating conditions]*. Moscow: Transport [in Russian].
3. Matiukhin L.M. (2010). *Teplotekhnicheskie ustroistva avtomobilei [Heat engineering devices of automobiles]*. Moscow: MADI [in Russian].
4. Naiman V.S. (2007). *Vse o predpuskovykh obogrevateliakh i otopiteliakh [All about starting preheaters]*. Moscow: ACT [in Russian].
5. 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.
6. *Patent of Ukraine № 102303* (2013). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
7. *Patent of Ukraine № 72304* (2012). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
8. *Patent of Ukraine № 124999* (2017). Maksimuk M.V. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].



9. *Patent of US6527548B1* (2003). Aleksandr S. Kushch, Daniel Allen. Self powered electric generating space heater.
10. *Patent of US0115968A1* (2010). Jorn Budde, Jeans Baade, Michael Stelter. Heating apparatus comprising a thermoelectric device.
11. *Patent of Russia 2268393* (2006). Prilepo Yu.P. A device to facilitate the start of internal combustion engine [in Russian].
12. Retrieved from: <http://www.webasto.com//>
13. *Patent of Ukraine №54900* (2010). Mykhailovsky V.Ya., Strutynska L.T., Gischuk V.S. Portable thermoelectric generator [in Ukrainian].
14. Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. (2008). Two-sectional thermoelectric generator on gas fuel. *J. Thermoelectricity*, 1, 76-86.
15. Mykhailovsky Vilius Yaroslavovich. (2007). Termoelektrychni generatory na organichnomu palyvi [Thermoelectric generators on organic fuel]. *Doctor's thesis (Phys-Math)*. Chernivtsi [in Ukrainian].

Submitted: 20.06.2018