

УДК 62-69

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

Гаврилюк М.В.¹

Лисько В.В., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}

Руснак О.С.¹, Тінко Е.В.²

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,

вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,

e-mail: anatych@gmail.com;

²Чернівецький національний університет

імені Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,

Чернівці, 58012, Україна

СТЕНДОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА ТА ЕЛЕКТРИКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розглянуто конструкцію термоелектричного генератора електричною потужністю до 350 Вт для живлення електричною енергією та забезпечення автономної роботи передпускових джерел тепла та електрики з тепловою потужністю до 40 кВт для транспортних засобів великої потужності. Наведено опис стенду для дослідження характеристик розробленого термоелектричного генератора та результати експериментальних досліджень макетного зразка генератора. Бібл. 8, рис. 4, табл. 1.

Ключові слова: передпусковий нагрівник, термоелектричний генератор, стендові дослідження.

Вступ

Експлуатація транспортних засобів в умовах понижених температур навколишнього середовища вимагає застосування методів попередньої теплової підготовки двигунів до запуску. Для цього все ширше використовуються передпускові нагрівники, що працюють від палива транспортних засобів та здійснюють розігрів охолоджуючої рідини двигунів [1, 2].

Важливим є передпусковий прогрів двигуна і для великогабаритної техніки цивільного та військового призначення. Основними причинами, які обумовлюють ускладнений запуск такої техніки за понижених температур навколишнього середовища є: збільшення в'язкості моторного масла на деталях шатунно-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ); підвищення в'язкості змазки в агрегатах трансмісії; застигання палива в паливопроводах, паливному фільтрі та інших частинах паливної системи; погіршення умов займання палива в циліндрах двигуна, що зв'язано із пониженням його випаровуваності та низькими температурами повітря, що надходить

до циліндрів ДВЗ з навколишнього середовища; замерзання охолоджуючої рідини в системі охолодження двигуна; зменшення потужності стартер-генератора внаслідок зниження ємності акумуляторних батарей; перевитрата палива при холодному запуску ДВЗ. Вплив наведених факторів за понижених температур проявляється одночасно, що призводить до скорочення ресурсу роботи двигуна та передчасного виходу техніки з ладу. При цьому суттєво збільшується ймовірність виникнення раптових порушень та відмов в роботі техніки.

Визначальним фактором, що обмежує можливість масового використання передпускових нагрівників є розряд акумуляторної батареї під час роботи передпускового обладнання [3]. Ефективним методом вирішення цієї проблеми є застосування термоелектричного генератора, який працює від тепла нагрівника та забезпечує автономне живлення його компонент [4-6]. Крім того надлишок електричної енергії термогенератора може використовуватись для підзарядки акумуляторної батареї та живлення іншого обладнання.

У роботах [7, 8] показано можливість використання термоелектричних джерел тепла та електрики для покращення експлуатаційних можливостей транспортних засобів великої потужності та наведено результати розробки та оптимізації конструкції термоелектричного генератора для таких джерел.

Метою даної роботи є проведення експериментальних досліджень розробленого макетного зразка термоелектричного генератора для підтвердження його очікуваних характеристик.

Опис конструкції термоелектричного генератора

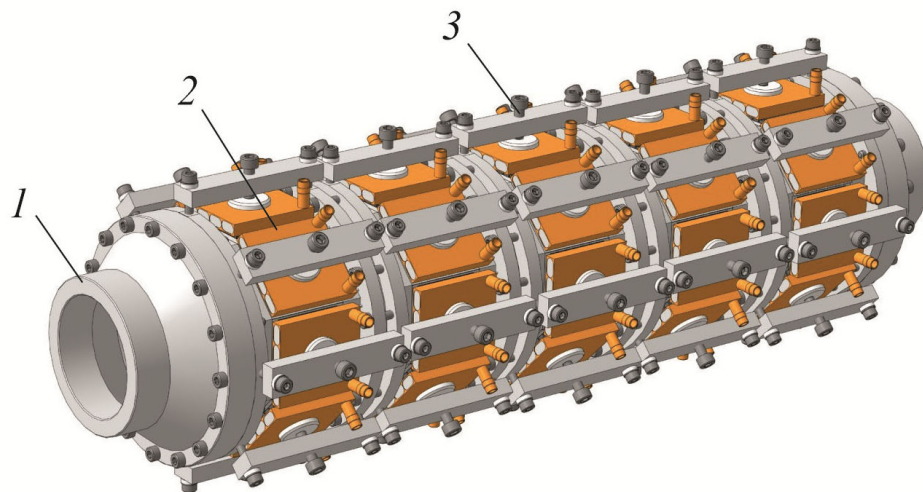
Основним вузлом передпускового джерела тепла та електрики для транспортних засобів великої потужності, що забезпечує автономну роботу системи без розряджання акумулятора транспортного засобу є термоелектричний генератор, загальна конструкція та зовнішній вигляд якого показана на рис. 1. Проведене комп'ютерне проектування [8] дозволило оптимізувати конструкцію такого генератора.

Термоелектричний генератор містить п'яти секційну систему гарячих теплообмінників, подача гарячого повітря до якої від джерела тепла здійснюється вентилятором, який разом з паливним насосом входить до складу джерела тепла (не показаного на рисунку).

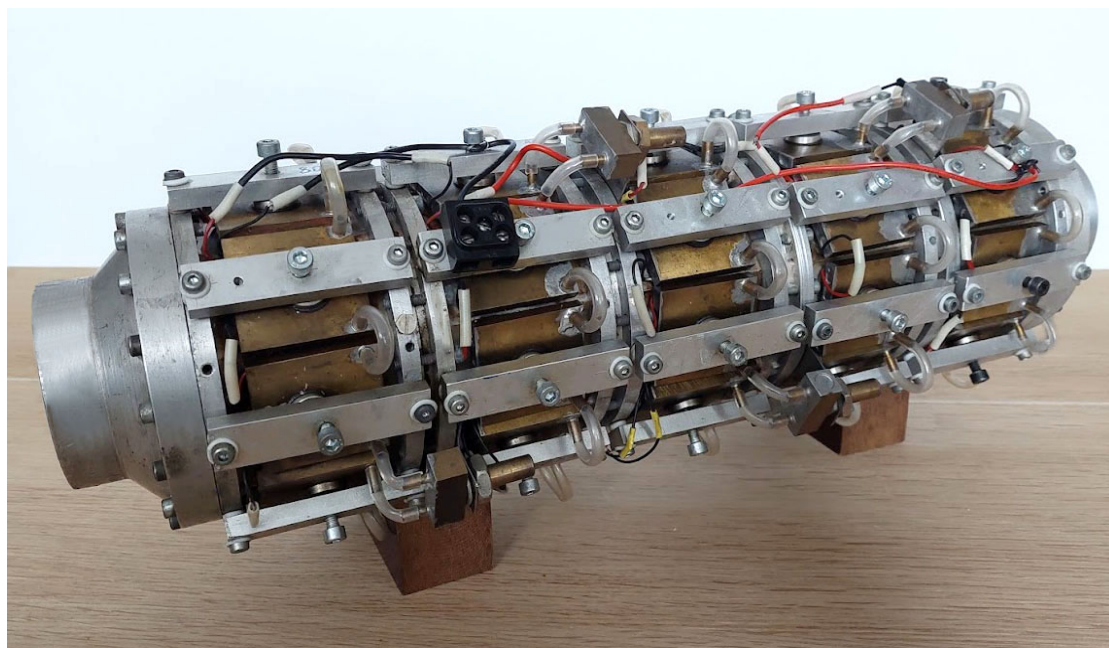
На зовнішній поверхні теплообмінників знаходяться термоелектричні модулі, тепло від яких відводиться системою рідинних теплообмінників. Тепловий контакт між термоелектричними модулями та теплообмінниками забезпечується притискними пристроями. Вільний об'єм між гарячим та холодними теплообмінниками заповнено тепловою ізоляцією.

Конструкція гарячих теплообмінників (рис. 2) кожної секції (діаметр та кількість каналів) підібрана таким чином, щоб забезпечувати оптимальний режим роботи термоелектричних модулів. Термоелектричний модуль 10 затискається між посадочним місцем 9 на гарячому теплообміннику та холодним теплообмінником 11 за допомогою притиску. Притиск складається з притискної планки 4, притискного гвинта 5 та диску 6 і кріпиться до гарячого

теплообмінника за допомогою гвинтів 7 з фторопластовими шайбами 3. Між поверхнею модуля і гарячого теплообмінника розміщується електроізолятор – слюдяна прокладка 8.



а)



б)

Рис. 1 – Конструкція (а) та зовнішній вигляд (б)
термоелектричного генератора для передпускового джерела тепла
та електрики для транспортних засобів великої потужності:

1– система гарячих теплообмінників;

2– система холодних теплообмінників;

3 – притискні пристрої

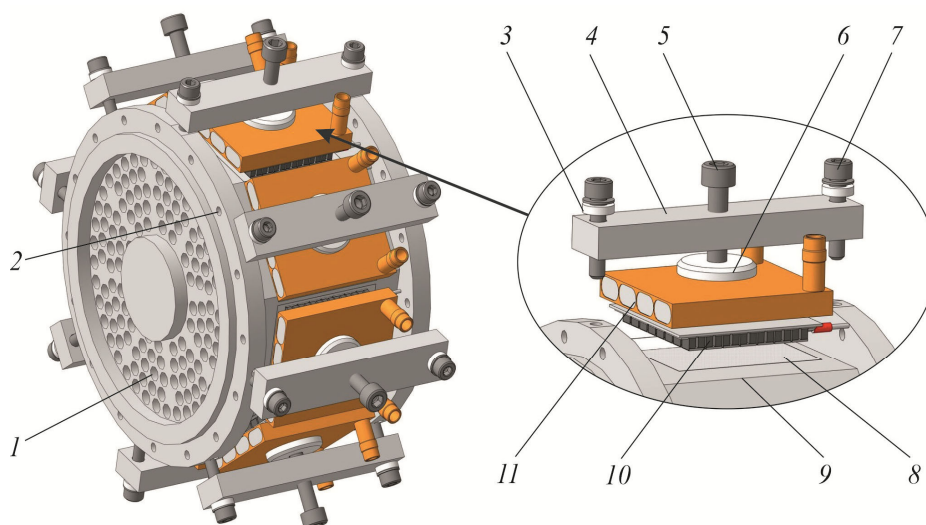


Рис. 2 – Конструкція гарячого теплообмінника термоелектричного генератора: 1 – канали для пропускання гарячого газу; 2 – отвори для скріплення секцій гарячого теплообмінника між собою; 3 – фторопластопі шайби; 4 – притискна планка; 5 – притискний гвинт; 6 – притискний диск; 7 – гвинти для кріплення притиску до теплообмінника; 8 – слюдяна пластинка; 9 – посадочне місце термоелектричного модуля; 10 – термоелектричний модуль; 11 – холодний теплообмінник

Холодні теплообмінники складаються з корпусу з матеріалу з високою теплопровідністю (міді), у якому зроблено наскрізні канали, об'єднані у послідовне коло системою заглушок. Всі холодні теплообмінники з'єднані послідовно у два паралельні ланцюги та об'єднані з гідравлічним контуром системи охолодження двигуна транспортного засобу. Циркуляція рідкого теплоносія в контурі «нагрівник-двигун» здійснюється насосом. Для контролю температури теплоносія на одному з холодних теплообмінників розташовано датчик перегріву.

Генератор містить 40 генераторних модулів типу Altec-1061, які якнайкраще підходять для використання в передпускових джерелах тепла. Модулі електрично з'єднані між собою. Комутація модулів підбирається таким чином, щоб вихідна напруга нагрівника відповідала напрузі на акумуляторі транспортного засобу.

Термоелектричного генератора має електричну потужність до 350 Вт, якої вистачатиме для живлення електричною енергією передпускових нагрівників типу PROHEAT M90 24 Вт (з корисною тепловою потужністю 26 кВт та споживаною електричною потужністю до 230 Вт) або ОЖД30.8106010 (з корисною тепловою потужністю 30 кВт та споживаною електричною потужністю до 140 Вт). Така система з врахуванням теплової енергії термоелектричного генератора (близько 10 кВт) буде еквівалентною за тепловою потужністю – 36 – 40 кВт (але автономною) і дозволить замінити передпусковий нагрівник типу ПЖД-44Ш (з корисною тепловою потужністю 37 кВт та споживаною електричною потужністю до 340 Вт), що широко використовується у цивільній та військовій техніці великої потужності.

Опис стану для дослідження характеристик розробленого термоелектричного генератора та результати експериментальних досліджень

Схему стану для експериментальних досліджень макетного зразка термоелектричного генератора наведено на рис. 3. Термоелектричний генератор 1 підключено до джерела тепла 7 дизельного на дизельному паливі. У системі рідинних холодних теплообмінників 3 за допомогою помпи 4 прокачувався теплоносі, витрата якого вимірювалась витратоміром 9. У рідинному контурі також містився радіатор 8 для віддачі тепла з генератора до оточуючого середовища і підтримання необхідної температури теплоносія.

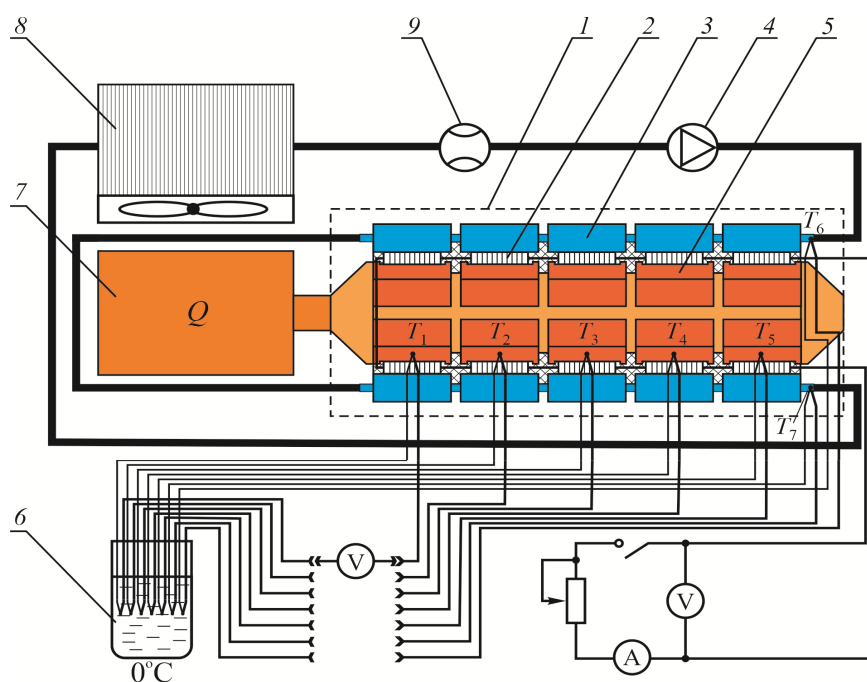


Рис. 3 – Схема стану для експериментальних досліджень характеристик розробленого макетного зразка термоелектричного генератора: 1 – термоелектричний генератор; 2 – термоелектричні модулі; 3 – холодні теплообмінники; 4 – циркуляційна помпа; 5 – гарячі теплообмінники; 6 – посудина Дьюара; 7 – джерело тепла на дизельному паливі; 8 – радіатор

Температури гарячих теплообмінників $T_1 - T_5$ секцій 1 – 5 термоелектричного генератора, а також температура теплоносія на вході T_6 та виході T_7 з системи холодних теплообмінників вимірювались за допомогою хромель-алюмелевих термопар, холодні спаї яких було занурено до посудини Дьюара 6.

У результаті проведених експериментальних досліджень (табл. 1) розробленого макетного зразка термоелектричного генератора джерела тепла та електрики для транспортних засобів великої потужності було встановлено, що на повній потужності джерела тепла розроблений генератор має електричну потужність близько 350 Вт.

Таблиця 1

Результати стендових досліджень термоелектричного генератора

T_1 , °C	T_2 , °C	T_3 , °C	T_4 , °C	T_5 , °C	T_6 , °C	T_7 , °C	G_T , м³/год	E , В	U , В	I , А	W , Вт
Теплова потужність джерела тепла ~ 5 кВт											
183.2	181.3	175.8	170.0	164.2	19.8	25.5	0.7	20.77	10.39	13.75	142.8
Теплова потужність джерела тепла ~ 10 кВт											
294.9	293.8	284.8	275.3	263.3	20.1	30.9	0.7	35.06	17.53	20.07	351.8

У табл. 1: $T_1 - T_5$ – температури гарячих теплообмінників 1 – 5 секцій термоелектричного генератора відповідно; T_6 – температура теплоносія на вході до системи холодних теплообмінників; T_7 – температура теплоносія на виході з системи холодних теплообмінників; G_T – витрата теплоносія у системі холодних теплообмінників; E – ЕРС термоелектричного генератора; U – напруга термоелектричного генератора у режимі узгодженого навантаження; I – струм термоелектричного генератора у режимі узгодженого навантаження; W – електрична потужність термоелектричного генератора у режимі узгодженого навантаження.

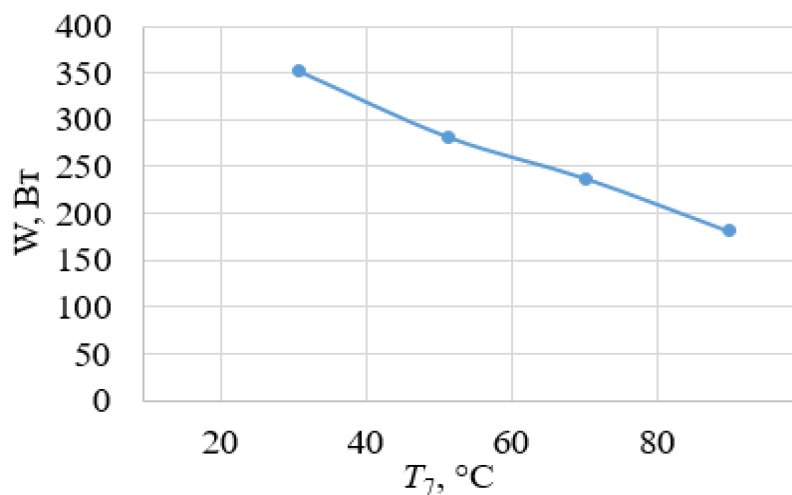


Рис. 4. Залежність потужності генератора W від температури теплоносія T_7 у системі рідинних теплообмінників

Залежність потужності генератора W від температури теплоносія T_7 у системі рідинних теплообмінників (відводу тепла від термоелектричних модулів) наведено на рис. 4. Як видно з рисунка, при підвищенні температури теплоносія (T_7 – від 30 до 90 °C) потужність генератора знижується від 350 Вт до 180 Вт.

Отримані результати з врахуванням можливих похибок експерименту відповідають очікуванню за результатами комп'ютерного проектування.

Висновки

1. Описано конструкцію термоелектричного генератора електричною потужністю до 350 Вт та тепловою – до 10 кВт. У поєднанні з передпусковим нагрівником тепловою потужністю 25-30 кВт, генератор утворюватиме автономну систему передпускового розігріву з тепловою потужністю до 40 кВт.
2. Створено стенд для дослідження характеристик розробленого термоелектричного генератора для передпускового джерела тепла та електрики для транспортних засобів великої потужності.
3. Проведено стендові експериментальні дослідження макетного зразка розробленого термоелектричного генератора. Встановлено, що при температурі теплоносія у системі охолодження термоелектричного генератора у діапазоні від 30 до 90 °С потужність термоелектричного генератора складає від 180 Вт до 350 Вт, що повністю відповідає очікуваним значенням.

Література

1. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
2. 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.
3. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Режимы работы автомобилей при пониженных температурах. Необходимость использования нагревателей та раціональність застосування термогенераторів для їх роботи // Термоелектрика. – 2014.- №3.- С. 20-31.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Л.І. Анатичук, В.В. Лисько. Про можливість використання термоелектричних генераторів для транспортних передпускових нагрівачів великих потужностей // Термоелектрика – 2019, №3. – С. 80-92.
8. Анатичук Л.І., Лисько В.В. Комп'ютерне проектування термоелектричного генератора для джерела тепла та електрики для транспортних засобів великої потужності // Термоелектрика. – 2021, №2. –С. 74-79.

Надійшли до редакції: 02.08.2021

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

Гаврилюк М.В.¹

Лысько В.В., канд. физ.-мат. наук^{1,2}

Руснак О.С.¹, Тінко Е.В.²

¹Інститут термоелектричності НАН і МОН України, ул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна, e-mail: anatykh@gmail.com ;

²Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,
ул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна

СТЕНДОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА И ЭЛЕКТРИКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Рассмотрена конструкция термоэлектрического генератора электрической мощностью до 350 Вт для питания электрической энергией и автономной работы предпусковых источников тепла и электричества с тепловой мощностью до 40 кВт для транспортных средств большой мощности. Представлено описание стенда для исследования характеристик разработанного термоэлектрического генератора и результаты экспериментальных исследований макетного образца генератора. Библ. 8, рис. 4, табл. 1.

Ключевые слова: предпусковой отопитель, термоэлектрический генератор, стендовые исследования.

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

M. V. Havryliuk,¹

V.V. Lysko, cand. phys. - math. Sciences²

O. S. Rusnak¹, E.V. Tinko²

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

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
2 Kotsiubynsky str., 58000, Chernivtsi, Ukraine

EXPERIMENTAL BENCH STUDIES OF THERMOELECTRIC SOURCE OF HEAT AND ELECTRICITY FOR HEAVY DUTY VEHICLES

The design of a thermoelectric generator with an electrical power of up to 350 W for supplying electrical energy and ensuring autonomous operation of pre-start sources of heat and electricity with a thermal power of up to 40 kW for high duty vehicles is considered. A description of the bench for studying the characteristics of the developed thermoelectric generator and the results of experimental investigations of the generator model sample are presented. Bibl. 8, Fig. 4, Table 1.

Key words: starting pre-heater, thermoelectric generator, bench studies.

References

1. Reznik L.G., Romalis G.M., Charkov S.T. (1989). *Effektivnost ispolzovaniia avtomobilei v razlichnykh usloviakh ekspluatatsii* [The efficiency of using cars under different operating conditions]. Moscow: Transport [in Russian].
2. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M., et al. (2001). *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilei: Uchebnik dlia vuzov. 4 izdaniie, pererab. i dopoln.* [Technical operation of cars: Textbook for universities. 4th ed. revised and enlarged]. Moscow: Nauka [in Russian].
3. Mykhailovsky V.Ya., Maksumuk 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.
4. *Patent of Ukraine № 102303 F01N 5/00 H01L 35/00* (2013). L.I. Anatyshuk, V.Ya. Mykhailovsky. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
5. *Patent of Ukraine № 72304 F01N 5/00; H01L 35/00* (2012). L.I. Anatyshuk, V.Ya. Mykhailovsky. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
6. *Patent of Ukraine № 124999 F02N 19/10; H01L 35/00*. Maksymuk M.V. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
7. Anatyshuk L.I., Lysko V.V. (2019). On the possibility of using thermoelectric generators for high-power transport starting pre-heaters. *J. Thermoelectricity*, 3, 80-92.
8. Anatyshuk L.I., Lysko V.V. (2021). Computer design of a thermoelectric generator for heat and electricity supply to heavy-duty vehicles // *J. Thermoelectricity*. – 2021, №2. – С. 74-88.

Submitted: 02.08.2021