

УДК 62-69

Анатичук Л.І. акад. НАН України^{1,2}

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

Кравцов С.О.¹

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

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

ПРО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕДПУСКОВОГО НАГРІВАЧА ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розглянуто фізичну модель автономної системи для передпускового розігріву транспортних засобів, у якій передпусковий нагрівник і термоелектричний генератор, що забезпечує систему електричною енергією, об'єднані одним гідравлічним контуром. Наведено результати оцінки енергетичних характеристик термоелектричних генераторів для таких систем та очікувані значення ККД та загальної теплової потужності систем для різних серійних нагрівників тепловою потужністю понад 15 кВт. Бібл. 29, рис. 1, табл. 1.

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

Вступ

Для подолання труднощів, пов'язаних із експлуатацією транспортних засобів при понижених температурах, все ширше використовуються передпускові нагрівники – полум'яні джерела тепла, що працюють від палива транспортних засобів та здійснюють розігрів охолоджуючої рідини двигунів [1, 2]. При цьому ефективним методом вирішення проблеми розрядки акумуляторної батареї транспортних засобів під час роботи передпускових нагрівників є застосування термоелектричного генератора, який працює від тепла нагрівника та забезпечує автономне живлення його компонент [3 – 8]. Крім того надлишок електричної енергії термогенератора може використовуватись для підзарядки акумуляторної батареї та живлення іншого обладнання.

В Інституті термоелектрики створено експериментальний зразок термоелектричного передпускового нагрівника тепловою потужністю 3.5 кВт і максимальною електричною потужністю 100 Вт для обігріву транспортних засобів з об'ємом двигуна до 4 л [9 – 11]. Експериментальні дослідження нагрівника в умовах понижених температур підтвердили працездатність конструкції і довели його ефективність як передпускового джерела тепла для двигуна та джерела електрики для компонент нагрівника. [12]

Попередній аналіз [13] свідчить про перспективи таких використань для покращення

експлуатаційних можливостей транспортних засобів великої потужності, у тому числі бронетанкової техніки.

Метою даної роботи є оцінка енергетичних характеристик системи «термоелектричний генератор – передпусковий нагрівник» для транспортних засобів великих потужностей та визначення необхідних параметрів термоелектричних генераторів, які дозволяють зробити таку систему автономною та запобігти розряду акумуляторів транспортних засобів.

Фізична модель системи «термоелектричний генератор – передпусковий нагрівник»

Найбільш привабливою з точки зору значення ККД та зручності у експлуатації є система «термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник», в якій передпусковий нагрівник і ТЕГ об'єднані одним гідравлічним контуром. У якості термоелектричного генератора для такого випадку може бути використано окремий термоелектричний передпусковий нагрівник меншої теплової потужності, електрична потужність якого є достатньою для живлення основного передпускового нагрівника. Такий нагрівник може бути встановлений окремо, у доступному місці транспортного засобу, що робить простішим його впровадження. На рис. 1 наведено фізичну модель такої системи передпускового розігріву двигунів.

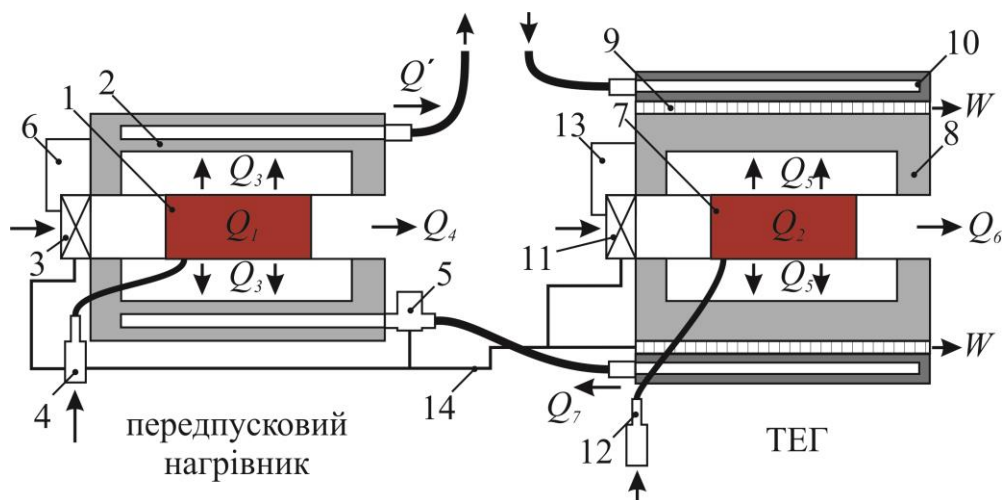


Рис. 1 – Фізична модель системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор»:

- 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.

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

паливного насосу, циркуляційної помпи) здійснюється електронним блоком 6.

Термоелектричний генератор містить індивідуальний полум'яний пальник 7, гарячий теплообмінник 8 для підведення тепла до термоелектричної батареї 9, вентилятор 11 та систему відведення тепла, яка складається з рідинних теплообмінників 10, в яких циркулює теплоносії.

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 13

Термоелектричний генератор у такій системі працює наступним чином. Теплова енергія, отримана внаслідок згоряння палива нагріває гарячий теплообмінник, проходить через термоелектричну батарею і відводиться через рідинні теплообмінники, у яких циркулює теплоносії до загального з передпусковим нагрівником гідравлічного контуру. Внаслідок різниці температур між гарячою і холодною сторонами термобатареї генерується електричний струм, що використовується для живлення передпускового нагрівника, а також і всіх електричних елементів самого генератора.

Таким чином, розглянута система забезпечує передпусковий нагрівник необхідною електричною енергією, незначно використовуючи акумулятор. Разом з тим така система може виконувати і додаткові функції, зокрема термогенератор може застосовуватись як додаткове джерело електричної енергії на транспортному засобі.

Результати розрахунків енергетичних характеристик термоелектричного генератора для автономної системи передпускового розігріву великої потужності

Коефіцієнт корисної дії (ККД) η для системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор» можна ввести 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 приймемо рівною сумарній тепловій енергії пальників передпускового нагрівника та термоелектричного генератора (ТЕГ):

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

де Q_1 і Q_2 – теплові енергії пальників 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 η_{A1} , η_{A2} – ККД пальників передпускового нагрівника і ТЕГ; A – теплотворна здатність

палива, яке використовується для роботи системи; m_1 , m_2 – витрати палива передпускового нагрівника і термогенератора відповідно.

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, частина тепла Q_5 від пальника 7 через термоелектричні батареї 9 переноситься у рідинні радіатори 10 і відводиться в загальний контур розігріву циркуляційної рідини Q_7 . Інша частина тепла Q_6 відводиться з термогенератора продуктами згорання.

Тому вираз (1) для ККД системи переписеться у наступному вигляді:

$$\eta = \frac{Q_3 + Q_7 + W}{Q_1 + Q_2}, \quad (5)$$

де корисне тепло Q_7 можна знайти з рівняння теплового балансу:

$$Q_2 = W + Q_7 + Q_6 \quad (6)$$

Для оцінки ККД системи, наведеної на рис. 1, були використані характеристики серійних передпускових нагрівників різних компаній, наведені на їх сайтах та в інструкціях з експлуатації [14 – 27].

Наприклад, передпусковий нагрівник DBW 350 компанії Webasto (дизельний варіант, $A = 43$ МДж/кг) має теплову потужність $Q_3 = 35$ кВт та витрату палива $m_1 = 4.4$ л/год [15]

Вихідна електрична потужність термогенератора дорівнює $W = 394$ Вт: 170 Вт – для живлення компонент передпускового нагрівника, 209 Вт – для живлення циркуляційного насоса та 15 Вт для енергозабезпечення компонент ТЕГ.

Величину теплової енергії Q_2 можна оцінити за наступним співвідношенням:

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

де η_{TEG} – коефіцієнт корисної дії термоелектричного генератора.

Оскільки тепла енергія Q_2 йде на розігрів циркуляційної рідини у загальному гідравлічному контурі, то ККД системи не буде залежати від ККД термоелектричного генератора, а, отже, від ККД використаних у генераторі термоелектричних модулів. Це відкриває можливість до здешевлення генератора шляхом використання дешевших модулів з нижчим ККД, що є важливою відмінністю термоелектричного генератора для транспортного передпускового нагрівача від генераторів для інших застосувань.

Для оцінки ККД системи можна врахувати, що ефективність сучасних ТЕГ, де застосовано однокаскадні модулі на основі телуриду вісмуту становить $\sim 3.5\%$ [28]. Отже, для забезпечення заданої вихідної електричної потужності необхідно затратити приблизно $Q_2 = 11.3$ кВт тепла. Врахувавши, що кількість тепла Q_6 , яке втрачається з продуктами згорання в конструкціях термоелектричних генераторів, становить в середньому 25 % від теплової потужності Q_2 [29], знаходимо величину теплової енергії Q_7 ($Q_7 = 8.4$ кВт), що затрачається для нагріву теплоносія та орієнтовний ККД даної системи ($\eta \sim 80\%$). Результати розрахунків для цього та інших варіантів передпускових нагрівників наведено у табл. 1.

Таблиця 1

*Результати розрахунків енергетичних характеристик системи
«термоелектричний генератор – передпусковий нагрівник»*

Технічні характеристики серійних передпускових нагрівників великої потужності [13-26]				Результати розрахунків		
Модель передпускового нагрівника	Вихідна теплова потужність нагрівника, кВт	Споживана електрична потужність нагрівника, Вт	Витрата палива нагрівника, л/год.	Вихідна теплова потужність ТЕГ, кВт	Загальна теплова потужність системи «ТЕГ-нагрівник, кВт	ККД системи «ТЕГ-нагрівник, %
Webasto (Німеччина) DBW 160	16	194*	2.3	4.5	20.5	71.9
Webasto (Німеччина) DBW 230	23.3	214*	3.0	4.9	28.2	78.4
Webasto (Німеччина) DBW 300	30	339**	4.0	7.6	37.6	76.2
Webasto (Німеччина) DBW 350	35	379**	4.4	8.4	43.4	79.9
Eberspächer (Німеччина) Hydronic L 16	16	164***	2	3.8	19.8	80.2
Eberspächer (Німеччина) Hydronic L 24	24	184***	2.9	4.3	28.3	82.7
Eberspächer (Німеччина) Hydronic L 30	30	315****	3.7	7.1	37.1	81.1
Eberspächer (Німеччина) Hydronic L 35	35	330****	4.2	7.4	42.4	83.0
Теплостар (РФ) 14 ТС-10	15	132	2	3.2	18.2	76.1
Теплостар (РФ) 20 ТС-Д38	20	200	2.5	4.6	24.6	80.3
Теплостар (РФ) АПЖ – 30Д-24	30	336	3.7	7.5	37.5	81.1
ШААЗ (РФ) ПЖД24Б	24	170	3.8	4.0	28.0	65.5
ШААЗ (РФ) ПЖД30	30	340	5	7.6	37.6	63.6
ШААЗ (РФ)	30	340	5	7.6	37.6	63.6

Технічні характеристики серійних передпускових нагрівників великої потужності [13-26]				Результати розрахунків		
Модель передпускового нагрівника	Вихідна теплова потужність нагрівника, кВт	Споживана електрична потужність нагрівника, Вт	Витрата палива нагрівника, л/год.	Вихідна теплова потужність ТЕГ, кВт	Загальна теплова потужність системи «ТЕГ-нагрівник, кВт	ККД системи «ТЕГ-нагрівник, %
ПЖД30Г						
ШАА3 (РФ) ПЖД30Е	30	340	5	7.6	37.6	63.6
ШАА3 (РФ) ПЖД30Л	30	340	5	7.6	37.6	63.6
ШАА3 (РФ) ПЖД30М	30	340	5	7.6	37.6	63.6
ШАА3 (РФ) ОЖД30.8106010	30	140	3.8	3.3	33.3	79.5
ШАА3 (РФ) ПЖД44Ш	37	340	8.5	7.6	44.6	47.6
ШАА3 (РФ) ПЖД600	58	490	11.4	10.8	68.8	54.4
PROHEAT (Канада) M50 12V	15	218*	1.8	5.0	20.0	82.5
PROHEAT (Канада) M50 24V	15	229*	1.8	5.2	20.2	82.5
PROHEAT (Канада) M80 12V	23	206*	3	4.7	27.7	77.5
PROHEAT (Канада) M80 24V	23	229 ¹	3	5.2	28.2	77.6
PROHEAT (Канада) M90 24V	26	229*	3.1	5.2	31.2	83.5
PROHEAT (Канада) M105 24V	31	437**	4	9.7	40.7	78.3
PROHEAT (Канада) M125 24V	37	437**	4.2	9.7	46.7	86.4

* – з врахуванням споживаної електричної потужності (104 Вт) циркуляційного насосу U 4814;

** – з врахуванням споживаної електричної потужності (209 Вт) циркуляційного насосу U 4851;

*** – з врахуванням споживаної електричної потужності (104 Вт) циркуляційного насосу Flowtronic 5000;

**** – з врахуванням споживаної електричної потужності (210 Вт) циркуляційного насосу Flowtronic 6000 SC.

Як видно з таблиці 1, ККД системи «термоелектричний генератор – передпусковий нагрівник» для більшості варіантів нагрівників знаходиться на рівні 75-80 %. При цьому, з врахуванням теплової потужності, що виробляється термогенератором, більш потужні модифікації нагрівників можуть бути замінені автономною системою, яка складається з менш потужного нагрівника та термоелектричного генератора, що забезпечує всю систему електричною енергією. Наприклад, замість передпускового нагрівника Hydronic L 35 тепловою потужністю 35 кВт може бути використана автономна система, яка складається з нагрівника Hydronic L 30 тепловою потужністю 30 кВт та термоелектричного генератора тепловою потужністю 7 кВт та електричною – близько 350 Вт, чого достатньо для живлення такої системи. Для найбільш потужного серед наведених у таблиці передпускового нагрівника ПЖД600 тепловою потужністю 58кВт термоелектричний генератор повинен мати корисну теплову потужність 11 кВт та електричну – 0.5 кВт (при ККД термоелектричного генератора ~ 3.5 %). Загальна тепла потужність такої системи буде складати близько 70 кВт, що є достатнім для використання у бронетанковій техніці.

Наведені оцінки енергетичних характеристик термоелектричних генераторів є основою для проектування конструкції такого генератора для конкретного варіанту передпускового нагрівника.

Висновки

1. Проведено оцінку енергетичних характеристик термоелектричних генераторів для автономних систем передпускового розігріву транспортних засобів великої потужності. Визначено очікувані значення ККД та загальної теплової потужності систем «термоелектричних генератор – передпусковий нагрівник» для серійних нагрівників тепловою потужністю понад 15 кВт.
2. Встановлено, що ККД системи «термоелектричний генератор – передпусковий нагрівник» для більшості варіантів нагрівників знаходиться на рівні 75-80 %. При цьому, з врахуванням теплової потужності, що виробляється термогенератором, більш потужні модифікації нагрівників можуть бути замінені автономною системою, яка складається з менш потужного нагрівника та термоелектричного генератора, що забезпечує всю систему електричною енергією.
3. Отримано, що для забезпечення транспортного засобу тепловою енергією потужністю до 70 кВт може бути використаний передпусковий нагрівник тепловою потужністю 58кВт (наприклад, типу ПЖД600), об'єднаний в один гідравлічний контур з термоелектричним генератором тепловою потужністю 11кВт. При цьому, споживана системою електрична енергія (0.5 кВт) буде повністю забезпечуватись термогенератором.

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. 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.
4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. 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.
 9. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Рациональні потужності термогенераторів для передпускових нагрівачів транспортних засобів // Термоелектрика. – №4. – 2015. – С.65-74.
 10. Максимук М.В. Про оптимізацію термоелектричних модулів автомобільного передпускового нагрівника // Термоелектрика. – 2017. – №1. – С.57-67.
 11. Максимук М.В. Проектування автомобільного передпускового джерела тепла з термоелектричним генератором. Дизельний варіант // Термоелектрика. – 2017. – С.32-43.
 12. Максимук М.В. Стендові дослідження термоелектричного передпускового джерела тепла для автомобілів // Термоелектрика. – 2018. – №1.
 13. Анатичук Л.І., Лисько В.В. Про можливість використання термоелектричних генераторів для транспортних передпускових нагрівачів великих потужностей // Термоелектрика. – 2019. – №3.
 14. Webasto. Веб-сайт: <https://www.webasto.com>.
 15. Жидкостный подогреватель DBW 160/230/300/350. Инструкция по монтажу.
 16. Eberspächer. Веб-сайт: <https://www.eberspacher.com>.
 17. Автономные отопительные приборы HYDRONIC L-II. Техническое описание, руководство по монтажу, эксплуатации и техобслуживанию.
 18. ООО «Теплостар». Веб-сайт: <https://teplostar.inni.info>.
 19. Подогреватель предпусковой дизельный 14ТС – 10 – М5. Руководство по эксплуатации АДВР.036.00.00.000 РЭ.
 20. Подогреватель предпусковой дизельный 20ТС-Д38. Руководство по эксплуатации АДВР.038.00.00.000 РЭ.
 21. Подогреватель автоматизированный жидкостный АПЖ – 30Д-24. Руководство по эксплуатации АДВР.056.00.00.000 РЭ.
 22. АО "Шадринский автоагрегатный завод". Веб-сайт: <http://shaaz.biz>.
 23. Подогреватели жидкостные дизельные ПЖД24Б. Руководство по эксплуатации ПЖД24Б - 1015006 - 30 РЭ.
 24. Подогреватель жидкостный дизельный ПЖД30. Руководство по эксплуатации ПЖД30-

1015006 РЭ.

25. Отопитель независимый жидкостный ОЖД30.8106010. Руководство по эксплуатации ОЖД30.8106010 РЭ.
26. Подогреватель жидкостный типа ПЖД600, ПЖД44Ш. Руководство по эксплуатации ПЖД600-1015008 РЭ.
27. PROHEAT. Веб-сайт: <http://www.proheat.com>.
28. Анатичук Л.І. Двохсекційний термоелектричний генератор на газовому паливі / Л.І. Анатичук, В.Я. Михайловський // Термоелектрика.-2008.-№1.-С.76-86.
29. 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 09.10.2019

Анатичук Л.І. *акад. НАН України*^{1,2}
Лысько В.В. *канд. физ.-мат. наук*^{1,2}
Кравцов С.А.¹

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

²Черновицький національний університет
ім. Юрія Федьковича, ул. Коцюбинського, 2,
Черновці, 58012, Україна

О ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕДПУСКОВОГО НАГРЕВАТЕЛЯ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Рассмотрена физическая модель автономной системы для предпускового разогрева транспортных средств, в которой предпусковой отопитель и термоэлектрический генератор, обеспечивающий систему электрической энергией, объединены одним гидравлическим контуром. Приведены результаты оценки энергетических характеристик термоэлектрических генераторов для таких систем и ожидаемые значения КПД и общей тепловой мощности систем для различных серийных нагревателей тепловой мощностью более 15 кВт. Библ. 29, рис. 1, табл. 1.

Ключевые слова: предпусковой отопитель, термоэлектрический генератор, физическая модель, эффективность.

Anatychuk L.I. acad NAS Ukraine^{1,2}

Lysko V.V. cand.Sc.(Phys.-Math)^{1,2}

Kravtsov S.O.¹

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

1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine,

e-mail: anatych@gmail.com;

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

2 Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

DESIGN OF THERMOELECTRIC GENERATOR FOR TRANSPORT HIGH-POWER STARTING PREHEATER

A physical model of an autonomous system for pre-start heating of vehicles is considered, in which a preheater and a thermoelectric generator providing the system with electric energy are combined by one hydraulic circuit. The results of evaluating the energy characteristics of thermoelectric generators for such systems and the expected values of the efficiency and total thermal power of systems for various serial heaters with a thermal power of more than 15 kW are given. Bibl. 29, Fig. 1, Table 1.

Key words: nstarting preheater, thermoelectric generator, physical model, efficiency.

References

1. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M., et al. (2001). *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilei. Uchebnik dlia vuzov. 4 izdaniie, pererabotannoie i dopolnennoie* [Technical operation of cars. College textbook. 4th ed., revised and enlarged]. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Reznik L.G., Romalis G.M., Charkov S.T. (1989). *Effektivnost ispolzovaniia avtomobilei v razlichnykh usloviakh ekspluatatsii* [Efficiency of using cars in various operating conditions]. Moscow: Transport [in Russian].
3. *Patent of Ukraine № 102303* (2013). Anatychuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
4. *Patent of Ukraine №72304* (2012). Anatychuk L.I., Mykhaolovsky V.Ya. Automobile heater with a thermoelectric power supply [in Ukrainian].
5. *Patent of Ukraine №124999* (2018). Maksimuk M.V. Automobile heater with a thermoelectric power supply [in Ukrainian].
6. *Pat. US6527548B1* (2003). Kushch Aleksandr S., Allen Daniel. Self-powered electric generating space heater.
7. *Pat. US2010/0115968A1*. Budde John, Baade Jeans, Stelter Michael. Heating apparatus comprising a thermoelectric device.
8. *Patent (RU) 2268393C1* (2006). Prilepo Yu.P. Device for facilitating internal combustion engine start [in Russian].
9. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Rational powers of thermal generators for starting pre-heaters of vehicles. *J.Thermoelectricity*, 4, 65-74.

10. Maksimuk M.V. (2017). On the optimization of thermoelectric modules of automobile starting pre-heater. *J.Thermoelectricity*, 1, 57–67.
11. Maksimuk M.V. (2017). Design of automobile starting pre-heater with a thermoelectric generator. Diesel version. *J.Thermoelectricity*, 2, 32-43.
12. Maksimuk M.V. (2018). Bench tests of thermoelectric starting pre-heater for cars. *J.Thermoelectricity*,
13. Anatyshuk L.I., Lysko V.V. (2019). On the possibility of using thermoelectric generators for high-power transport starting pre-heaters. *J.Thermoelectricity*, 3.
14. Webasto. WEB-site: <https://www.webasto.com>.
15. Liquid heater DBW 160/230/300/350. Assembly instruction.
16. Eberspächer. WEB-site: <https://www.eberspacher.com>.
17. Autonomous heating devices HYDRONIC L-II. Technical description, assembly, operation and maintenance instruction.
18. “TEPLOSTAR” Ltd. WEB-site: <https://teplostar.inni.info>.
19. Diesel starting pre-heater 14TC – 10 – M5. Operation instruction АДВР.036.00.00.000 РЭ.
20. Diesel starting pre-heater 20TC-Д38. Operation instruction АДВР.038.00.00.000 РЭ.
21. Automated liquid pre-heater АПЖ – 30Д-24. Operation instruction АДВР.056.00.00.000 РЭ.
22. JSC “Shadrinsk Automotive Components Factory”. WEB-site: <http://shaaz.biz>.
23. Diesel pre-heaters ПЖД24Б. Operation instruction ПЖД24Б - 1015006 - 30 РЭ.
24. Diesel liquid pre-heater ПЖД30. Operation instruction ПЖД30-1015006 РЭ.
25. Autonomous liquid heater ОЖД30.8106010. Operation instruction ОЖД30.8106010 РЭ.
26. Liquid pre-heater of the type ПЖД600, ПЖД44Ш. Operation instruction ПЖД600-1015008 РЭ
27. PROHEAT. WEB-site: <http://www.proheat.com>.
28. Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. (2008). Gas-fueled two-sectional thermoelectric generator. *J.Thermoelectricity*, 1, 76-86.
29. Mykhailovsky V.Ya. (2007). Термоелектричний генератор на органічному паливі [Thermoelectric generators on organic fuel]. *DSc' Thesis (Phys-Math)*. Chernivtsi [in Ukrainian].

Submitted 09.10.2019