



Максимук М.В.

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

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕДПУСКОВОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ

Наведено результати досліджень термоелектричного передпускового джерела тепла на автомобілі в умовах понижених температур навколишнього середовища. Описано схему підключення нагрівника до системи охолодження автомобіля та розташування його функціональних компонент на транспортному засобі. Розглянуто теплові режими двигуна внутрішнього згорання та режими роботи акумуляторної батареї автомобіля, які забезпечуються передпусковим термоелектричним нагрівником. Представлено результати досліджень раціональності використання термоелектричних передпускових джерел тепла під час експлуатації транспортних засобів в кліматичних зонах з пониженими температурами повітря. Бібл. 15, рис. 12.

Ключові слова: передпусковий нагрівник, термоелектричний генератор.

Вступ

Одним із перспективних методів вирішення проблеми розрядки акумуляторів під час теплової підготовки двигунів транспортних засобів до запуску є використання термоелектричних генераторів в якості джерел електричної енергії для передпускових нагрівників [1 – 6]. Ця ідея покладена в основу досліджень, що проводились в Інституті термоелектрики, спрямованих на створення термоелектричних передпускових джерел тепла для двигунів легкового автотранспорту [7 – 11]. В результаті проведених досліджень розроблено експериментальний зразок термоелектричного передпускового нагрівника на дизельному паливі тепловою потужністю 3 кВт для попереднього розігріву двигунів внутрішнього згорання об'ємом до 4 л. Нагрівник містить термоелектричний генератор електричною потужністю 80 – 100 Вт, який працює від тепла передпускового нагрівника та забезпечує живлення його компонент. Крім того надлишок електричної енергії термогенератора може використовуватись для підзарядки акумуляторної батареї автомобіля, що було підтверджено експериментальними випробуваннями нагрівника в стендових умовах [12]. Однак, в ході стендових досліджень неможливо врахувати ряд ключових факторів, які неодмінно будуть мати місце при експлуатації нагрівника на транспортному засобі: вплив понижених температур на конструктивні елементи та функціональні можливості нагрівника, тепловідвід від двигуна, втрати тепла на елементах гідравлічної системи. Тому для підтвердження працездатності термоелектричного нагрівника в реальних умовах експлуатації актуальними стають натурні випробування.

Метою даної роботи є дослідження теплових та електричних характеристик термоелектричного передпускового джерела тепла на автомобілі в умовах понижених температур навколишнього середовища.

Схема підключення та методика вимірювання

Дослідження роботи термоелектричного передпускового нагрівника проводили на автомобілі «Mercedes» об'ємом двигуна 2.8 л. Схему підключення термоелектричного передпускового нагрівника до автомобіля наведено на рис. 1.

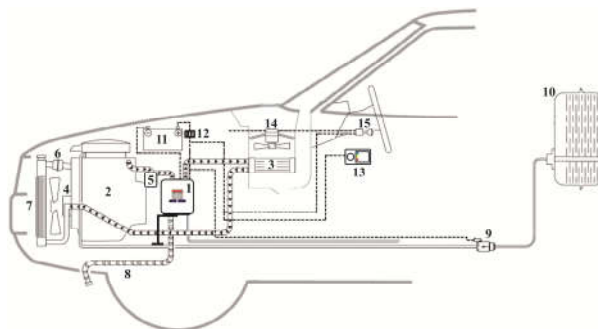


Рис.1. Схема підключення термоелектричного передпускового нагрівника до автомобіля:
 1 – термоелектричний передпусковий нагрівник; 2 – двигун; 3 – радіатор системи опалення;
 4 – штатний рідинний насос автомобіля; 5 – циркуляційна рідинна помпа нагрівника;
 6 – термостат охолоджуючої рідини; 7 – радіатор; 8 – колектор вихлопних газів нагрівника;
 9 – паливний насос нагрівника; 10 – ємність з паливом; 11 – акумуляторна батарея;
 12 – блок запобіжників; 13 – панель керування нагрівником;
 14 – вентилятор системи опалення; 15 – вимикач вентилятора системи опалення.

Термоелектричний нагрівник встановлювали в моторному відсіку між колісною нішею та переднім бампером за допомогою опорного кронштейна, який закріплювався до каркасу автомобіля.



Рис.2. Термоелектричний передпусковий нагрівник на автомобілі «Mercedes»:
 1 – термоелектричний передпусковий нагрівник; 2 – двигун;
 3 – верхня панель радіатора системи опалення; 4 – штатний рідинний насос автомобіля;
 5 – циркуляційна рідинна помпа нагрівника;
 6 – комутаційні шланги; 7 – акумуляторна батарея.

В гідравлічному контурі автомобіля нагрівник розташовували між двигуном та системою опалення салону таким чином, щоб рідкий теплоносій, рухаючись по малому контуру охолодження («двигун-радіатор опалення-штатний насос») з виходу нагрівника попадав на вхід в двигун (рис. 2). При цьому циркуляційний насос підключали стороною нагнітання до входу в двигун. Комутація нагрівника до гідравлічної системи здійснювалась бензомаслостійкими шлангами.

Дизельне паливо в нагрівник подавалося з окремої ємності, яку разом з паливним насосом розміщували в багажному відділенні автомобіля (рис.3а). За допомогою електро- та паливопроводів паливний насос підключався до встановленого під капотом автомобіля нагрівника (рис. 3б).

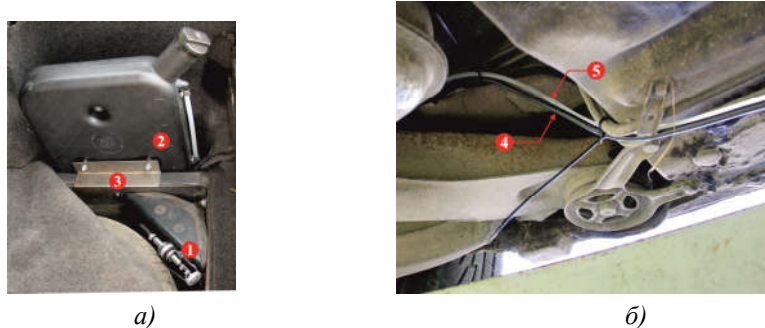


Рис. 3. Розміщення паливної ємності та паливного насосу (а), електро- та паливопроводів (б): 1 – паливний насос нагрівника; 2 – паливна ємність; 3 – кронштейн кріплення; 4 – електропровід; 5 – паливопровід.

Панель керування нагрівником розміщували в салоні автомобіля під бортовою панеллю управління (рис. 4). Панель керування підключалась до нагрівника електричним шлейфом, протягнутим від моторного відсіку, з місця, де встановлювався нагрівник, до салону, повз бічну внутрішню сторону каркасу автомобіля.

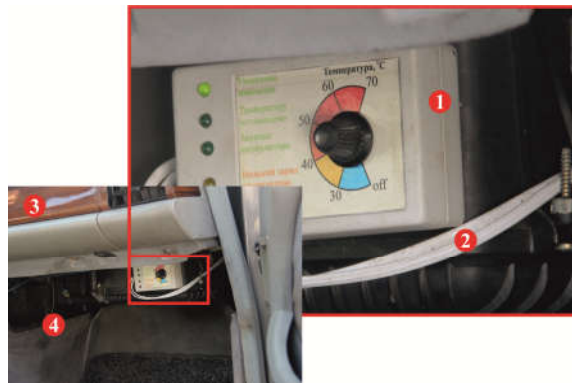


Рис. 4. Розміщення панелі керування: 1 – панель керування нагрівником; 2 – електричний шлейф-комутатор; 3 – бортова панель управління; 4 – салон автомобіля.

Термоелектричний нагрівник підключався до акумуляторної батареї автомобіля через блок запобіжників. Відпрацьовані гази нагрівника відводились за межі транспортного засобу колектором вихлопних газів.

В ході натурних досліджень вимірювались температура двигуна та напруга і струм акумуляторної батареї автомобіля. Схеми вимірювання цих величин наведено на рис. 5 – 6.

Температура двигуна вимірювалась хромель-алюмелевими термопарами (ТХА3), які закріплювались під блок головок циліндрів. Для визначення теплових втрат на елементах гідравлічної системи додатково визначалися температури теплоносія на виході з нагрівника (термопара ТХА1) і на вході в двигун автомобіля (термопара ТХА2). Вимірювання теплових характеристик проводили за температур навколишнього середовища $T_0 = (0; -5; -10) \text{ } ^\circ\text{C}$.

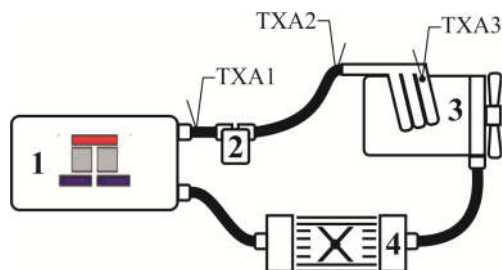


Рис. 5. Схема вимірювання теплових характеристик: 1 – термоелектричний нагрівник; 2 – циркуляційна рідинна помпа; 3 – двигун внутрішнього згорання; 4 – радіатор системи опалення.

Режими (зарядка/розрядка) акумуляторної батареї при роботі термоелектричного передпускового нагрівника оцінювали за вихідною електричною напругою акумулятора, яка знімалась безпосередньо з його клем та силою струму в колі "нагрівник-акумулятор". Момент включення режиму зарядки акумуляторної батареї фіксували за зміною напрямку струму в колі та відповідним сигналом світлодіодної індикації на панелі керування нагрівником.

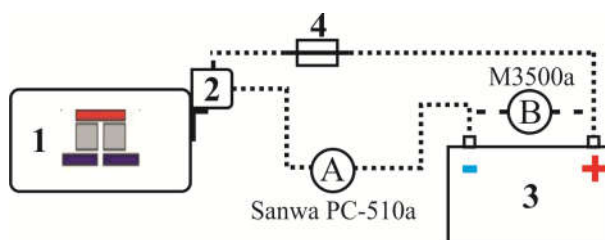


Рис. 6. Схема вимірювання електричних характеристик: 1 – термоелектричний нагрівник; 2 – електронний блок нагрівника; 3 – акумулятор; 4 – блок запобіжників.

З метою визначення економії палива, яка забезпечується передпусковим розігрівом двигуна, проводились дослідження витрати палива при прогріві транспортного засобу на холостому ході.

Результати дослідження

На рис. 7 наведено експериментально встановлені залежності температури розігріву двигуна T_d від часу роботи термоелектричного передпускового нагрівника t при температурах навколишнього середовища $T_0 = (-10; -5; 0) ^\circ\text{C}$.

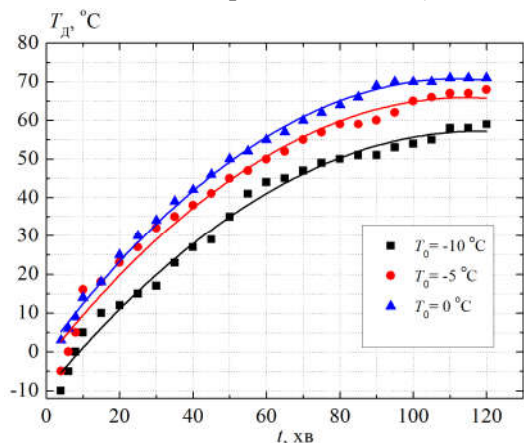


Рис. 7. Залежність температури розігріву двигуна T_d автомобіля від часу роботи t термоелектричного передпускового нагрівника при різних температурах навколишнього середовища T_0 .

З наведених даних видно, що термоелектричний нагрівник забезпечує передпусковий підігрів двигуна автомобіля до оптимальної для його запуску температури $T_d \approx 70 ^\circ\text{C}$ при температурах навколишнього

середовища $T_0 \geq -5$ °C за 100 - 110 хвилин своєї роботи. Втрати температури на ділянці контуру "нагрівник-двигун" гідравлічної системи складають ~ 5 °C (рис.8).

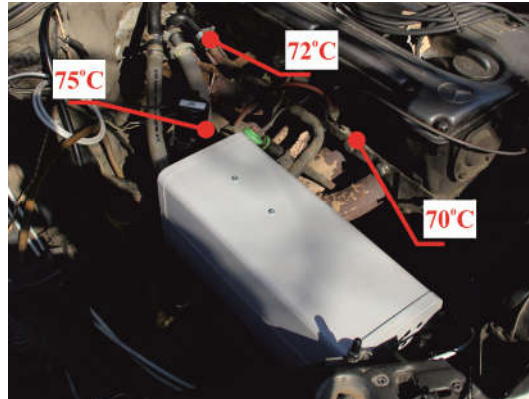


Рис. 8. Розподіл температур на ділянці контуру "нагрівник-двигун". $T_0 = -5$ °C.

На рис. 9 наведено режими роботи акумуляторної батареї автомобіля, які забезпечуються термоелектричним нагрівником в передпусковий період.

Як видно з рис. 9 після запуску нагрівника, живлення його компонент здійснюється від акумулятора. Режим розрядки акумуляторної батареї триває до моменту, коли вихідна потужність генератора не буде рівною споживаній потужності компонент. Після цього електронний блок керування відключає живлення компонент від акумулятора – нагрівник переходить в автономний режим роботи. По мірі збільшення вихідної електричної потужності генератора електронний блок спрямовує надлишок електричної енергії на підзарядку акумулятора [13, 14].

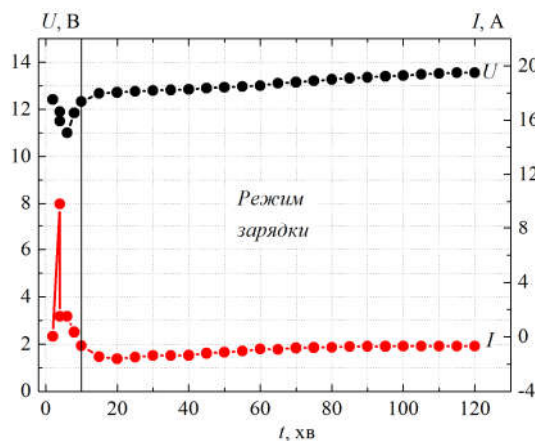


Рис. 9. Залежність напруги U на акумуляторі та струму I в колі "нагрівник акумулятор"

від часу роботи t термоелектричного передпускового нагрівника. $T_0 = -5$ °C.

Режим зарядки акумуляторної батареї вмикається на десятій хвилині роботи нагрівника, причому вже на двадцятій хвилині струм зарядки I досягає свого максимуму $I = \sim 2$ А. Рівень напруги на акумуляторній батареї автомобіля в момент включення зарядки складає 12 В і по мірі виходу нагрівника в стаціонарний режим роботи підвищується до 14 В. Отже, максимальна потужність, яка використовується для зарядки акумулятора в даному випадку становить 30 Вт. В подальшому рівень електричної потужності термогенератора, який споживається акумулятором знижується до 10 Вт, що зв'язано як з прогрівом охолоджуючої

рідини двигуна, так і з підвищенням рівня зарядженості самого акумулятора. Слід зауважити, що для кожного конкретного застосування, величина електричної потужності, яка використовується для підзарядки буде різною, оскільки визначатиметься індивідуальним ступенем зарядженості акумулятора (рис. 10) [15].

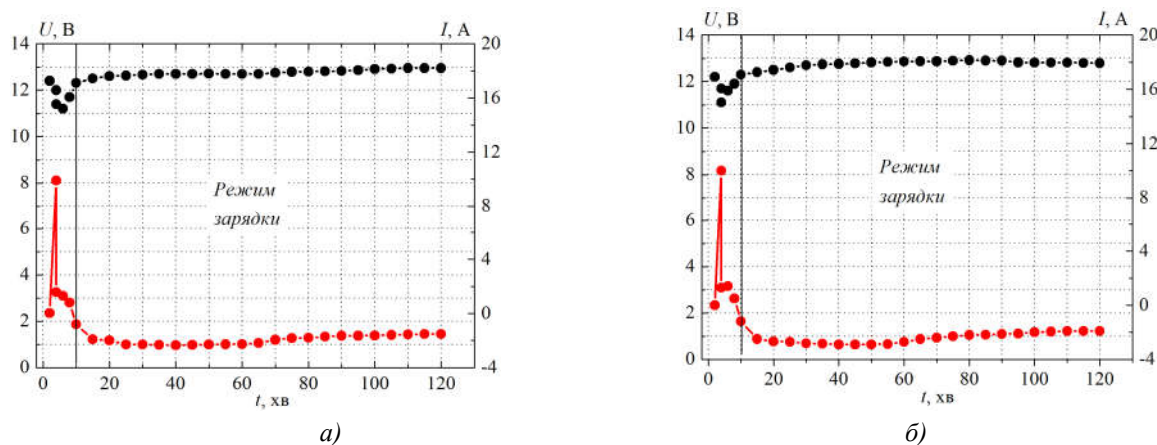


Рис. 10. Залежність напруги U на акумуляторі та струму I в колі "нагрівник акумулятор" від часу роботи t термоелектричного передпускового нагрівника. а) $T_0 = -0$ °C; б) $T_0 = -10$ °C.

В ході натурних випробувань нагрівника досліджувались теплові режими двигуна та режими роботи акумулятора при встановленні з панелі керування нижчих температур охолоджуючої рідини двигуна – $(30 \div 60)$ °C. В таких випадках спрацьовував температурний датчик перегріву і нагрівник починав працювати в режимі підтримки заданої температури теплоносія. При цьому поведінка температурних та електричних характеристик є аналогічною до результатів стендових досліджень описаних в [12], з врахуванням різниці температур в тепловому розподілі гідравлічного контуру двигуна, яка практично не змінювалася.

Порівняльні залежності витрати палива при прогріві автомобіля на "холостому" ході та у випадку використання термоелектричного нагрівника наведено на рис. 11 – 12.

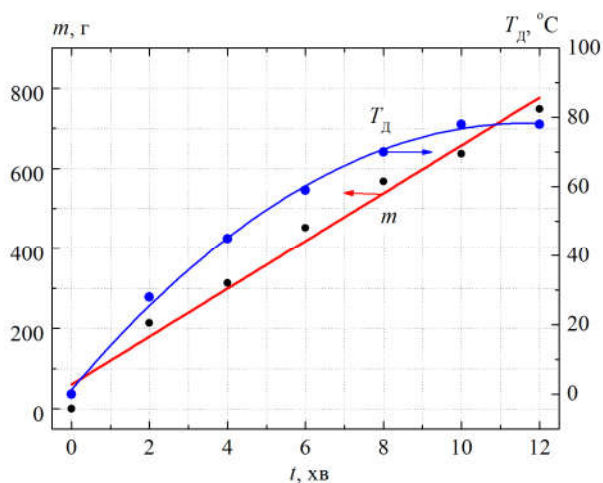


Рис. 11. Залежність кількості затраченого палива m та температури розігріву двигуна T_d від часу прогріву t автомобіля на "холостому ході". $T_0 = 0$ °C.

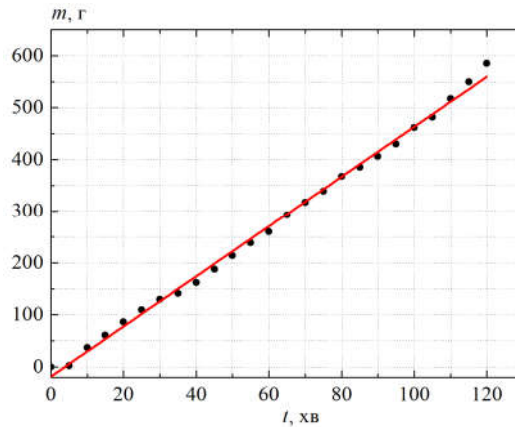


Рис. 12. Залежність кількості затраченого палива m від часу роботи t термоелектричного передпускового нагрівника. $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

В порівнянні з прогрівом за допомогою термоелектричного нагрівника, «холостий хід» вже на 10 хв. забезпечує оптимальну для старту автомобіля температуру на двигуні $T_{\text{д}} = 80^\circ\text{C}$. Проте, в цьому випадку, маса спаленого палива m складає 700 г, що майже в 2.5 рази перевищує кількість затраченого палива при передпусковому підігріві. Суттєво зменшити витрату пального на "холостих обертах" ($m = 200$ г) дозволяє розігрів двигуна до мінімально допустимих для його запуску температур ($T_{\text{д}} = 20^\circ\text{C}$). Однак і тоді переваги передпускового підігріву є очевидними, оскільки для забезпечення таких теплових режимів необхідно затратити в 3 рази менше палива ($m = 65$ г, рис. 7, рис. 12).

Таким чином, використання нагрівника лише при одному запуску двигуна дозволяє зекономити $(0.2 \div 0.5)$ л палива. Якщо врахувати, що за один зимовий сезон (~ 100 днів) автомобіль здійснює в середньому 4 холодних пуски в день, то економія палива для автомобіля з двигуном об'ємом 2.8 л складатиме 120 – 150 л.

Висновки

1. Підтверджено, що використання термоелектричного генератора в конструкції передпускових нагрівників вирішує проблему розрядки акумуляторної батареї при роботі передпускового обладнання.
2. Встановлено, що використання термоелектричного нагрівника забезпечує передпусковий підігрів двигуна автомобіля до оптимальних для його запуску температур.
3. Показано, що живлення компонент нагрівника від термоелектричного генератора здійснюється на 10 хвилині з моменту його включення. По мірі збільшення вихідної електричної потужності термогенератора електронний блок спрямовує надлишок електричної енергії на підзарядку акумуляторної батареї автомобіля. При цьому величина електричної потужності, яка використовується для підзарядки буде визначатися ступенем зарядженості акумулятора.
4. Встановлено, що застосування термоелектричного передпускового джерела тепла в автомобілях з об'ємом двигуна 2.8 л забезпечує економію $(0.2 \div 0.5)$ л палива в порівнянні з одним "холодним запуском".

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

Література

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Раціональні потужності термогенераторів для передпускових нагрівачів транспортних засобів // Термоелектрика. – №4.– 2015. – С.65-74.
9. Максимук М.В. Про оптимізацію термоелектричних модулів автомобільного передпускового нагрівника // Термоелектрика. – 2017. – №1. – С.57–67.
10. Максимук М.В. Проектування автомобільного передпускового джерела тепла з термоелектричним генератором. Дизельний варіант // Термоелектрика. – 2017. – С.32-43.
11. Максимук М.В. Проектування автомобільного передпускового джерела тепла з термоелектричним генератором // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2017. – Вип. 54(2) – С.53-60.
12. Максимук М.В. Стендові дослідження термоелектричного передпускового джерела тепла для автомобілів // Термоелектрика. – 2018. – №1.
13. Максимук М.В., Андрусак І.С. Електронний блок керування термоелектричним передпусковим автомобільним нагрівником // Термоелектрика. – №5.– 2016– С.65-74.
14. Патент (UA) № 90764 МПК F02N 19/00 Система керування передпусковим рідинним нагрівачем для двигунів внутрішнього згорання / Михайловський В.Я., Звоздецький П.В., Максимук М.В. – Опубл. 10.06.2014, бюл. № 11, Заявка u2013 15422 від 30.12.2013.
15. Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. – Справочник. – Санкт-Петербург: Химиздат. – 2005.

Надійшла до редакції 03.05.2018

Максимук Н.В.

Институт термоэлектричества, ул. Науки, 1, Черновцы,
58029, Украина; e-mail: anatykh@gmail.com

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ПРЕДПУСКОВОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

Приведены результаты исследований термоэлектрического предпускового источника тепла на автомобиле в условиях пониженных температур окружающей среды. Описана схема подключения нагревателя к системе охлаждения автомобиля и размещение его функциональных компонент на транспортном средстве. Рассмотрены тепловые режимы двигателя внутреннего сгорания и режимы работы аккумуляторной батареи автомобиля, которые обеспечиваются предпусковым термоэлектрическим нагревателем. Представлены результаты исследований рациональности использования термоэлектрических предпусковых источников тепла во время эксплуатации транспортных средств в климатических зонах с пониженными температурами воздуха. Библ. 15, рис. 12.

Ключевые слова: предпусковой нагреватель, термоэлектрический генератор.

M.V. Maksimuk

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky Str., Chernivtsi, 58029, Ukraine

**FIELD RESEARCH ON A THERMOELECTRIC
STARTING PRE-HEATER FOR CARS**

The results of research on a thermoelectric starting pre-heater for a car under low ambient temperatures are presented. The diagram of connecting the heater to the car cooling system and the arrangement of its functional components on a vehicle are described. The thermal modes of internal combustion engine and the operating modes of car battery which are provided by a thermoelectric starting pre-heater are considered. The results of research on the rationality of using thermoelectric starting pre-heaters during operation of vehicles in climatic zones with low air temperatures are given. Bibl. 15, Fig. 12.

Key words: starting pre-heater, thermoelectric generator.

References

1. Patent of Ukraine № 102303 (2013). Anatykhuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
2. Patent of Ukraine №72304 (2012). Anatykhuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].

3. *Patent of Ukraine №124999* (2017). Maksimuk M.V. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
4. *Patent of US6527548B1* (2003). Aleksandr S. Kushch, Daniel Allen. Self powered electric generating space heater.
5. *Patent of US0115968A1* (2010). Jorn Budde, Jeans Baade, Michael Stelter. Heating apparatus comprising a thermoelectric device.
6. *Patent of Russia 2268393* (2006). Prilepo Yu.P. A device to facilitate the start of internal combustion engine [in Russian].
7. 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.
8. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Rational powers of thermal generators for starting pre-heaters of vehicles. *J. of Thermoelectricity*, 4, 65–74.
9. Maksimuk M.V. (2017). On the optimization of thermoelectric modules of automobile starting pre-heater. *J. Thermoelectricity*, 1, 57–67.
10. Maksimuk M.V. (2017). Design of automobile starting pre-heater with a thermoelectric generator. Diesel version. *J. Thermoelectricity*, 2, 32-43.
11. Maksimuk M.V. (2017). Design of automobile starting preheater with a thermoelectric generator. *Herald of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series INSTRUMENTATION*, 54(2), 53-60 [in Ukrainian].
12. Maksimuk M.V. (2018). Bench tests of a thermoelectric starting preheater for cars. *J. Thermoelectricity*, 1,
13. Maksimuk M.V., Andrusiak I.S. (2016). Electronic control unit for thermoelectric automobile starting pre-heater. *J. of Thermoelectricity*, 5, 65–74.
14. *Patent of Ukraine № 90764* (2014). Mykhailovsky V.Ya., Zvozdetsky P.V., Maksimuk M.V. System of control of starting liquid pre-heater for internal combustion engines [in Ukrainian].
15. Bubnov Yu.I., Orlov S.B. (2005). *Germetichnyie khimicheskiie istochniki toka: elementy i akkumuliatory. Oborudovaniie dlia ispytaniy i ekspluatatsii. – Spravochnik [Sealed chemical current sources: elements and batteries. Testing and operating equipment. - Handbook]*. Saint-Petersburg: Khimizdat [in Russian].

Submitted 03.05.2018