

УДК 62-69

Анатичук Л.І.^{1,2}, **Михайловський В.Я.¹**, Максимук М.В.¹, Андрусак І.С.^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна;

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ПЕРЕДПУСКОВОГО НАГРІВАЧА НА ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ

Наведено результати експериментальних досліджень енергетичних характеристик термоелектричного автомобільного нагрівача на дизельному паливі вихідною електричною потужністю 75 – 90 Вт для передпускового підігріву двигуна в умовах понижених температур навколишнього середовища.

Ключові слова: передпусковий нагрівач, термоелектричний генератор.

The results of experimental research on the energy characteristics of 75 – 90 W thermoelectric automobile heater operated with diesel fuel for start heating of engine under low ambient temperatures are presented.

Key words: starting pre-heater, thermoelectric generator.

Вступ

На сьогоднішній день проблема запуску двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) транспортних засобів в умовах понижених температур навколишнього середовища вирішується використанням передпускових нагрівачів, які серійно виробляються рядом фірм – Eberspacher, Webasto, Truma (Німеччина), Ateso (Чехія), Теплостар (Росія), Mikuni (Японія). Такі нагрівачі працюють на різних видах палива і використовуються в легкових, вантажних автомобілях, автобусах, яхтах і катерах.

Багаторічний досвід експлуатації транспортних засобів показує, що передпусковий підігрів не лише забезпечує надійний запуск двигуна, але й дозволяє збільшити його моторесурс на 50 – 60 тис.км. за рік та зменшити викиди токсичних речовин в 5 раз, економлячи при цьому 90 – 150 л палива за один зимовий сезон. Крім того комфортні умови, які забезпечуються передпусковим підігрівом повністю виключають можливість виникнення аварій через вплив холоду на водія [1].

Проте, незважаючи на широкі можливості, передпускові нагрівачі все ще не знайшли масового використання. Однією з основних причин цього є необхідність у електричній енергії для живлення компонентів обігрівача: паливного насосу, вентилятора для подачі повітря у камеру згорання, циркуляційного насосу для прокачування рідкого теплоносія. Попередні дослідження показали, що при роботі рідинного обігрівача тепловою потужністю 4 кВт і споживаною електричною потужністю 40 Вт, акумулятор ємністю 60 А·год за 4.5 години втрачає

50 % ємності. Це призводить до розрядки акумулятора і створює суттєві труднощі при запуску двигуна. Щоб уникнути розрядки акумуляторної батареї під час передпускового підігріву, як джерело електрики для таких нагрівачів раціонально використовувати термоелектричний генератор [2 – 4].

В роботі [5] проведено аналіз технічних характеристик передпускових нагрівачів для різних видів транспортних засобів та визначено електричні параметри термогенераторів, необхідні для автономної роботи таких нагрівачів та додаткового живлення іншого автомобільного обладнання, в тому числі і підзарядки акумулятора.

На основі проведених в [6] комп'ютерних розрахунків в Інституті термоелектрики, Україна створено зразок термоелектричного нагрівача на дизельному паливі вихідною електричною потужністю 70 – 90 Вт для передпускового підігріву транспортних засобів з об'ємом двигуна до 4 л.

Метою даної роботи є дослідження теплових та електричних характеристик розробленої конструкції нагрівача та перевірка його роботи на автомобілі.

Будова та принцип роботи термоелектричного передпускового нагрівача

На рис. 1 наведено схему та зовнішній вигляд передпускового автомобільного нагрівача з термоелектричним джерелом живлення.

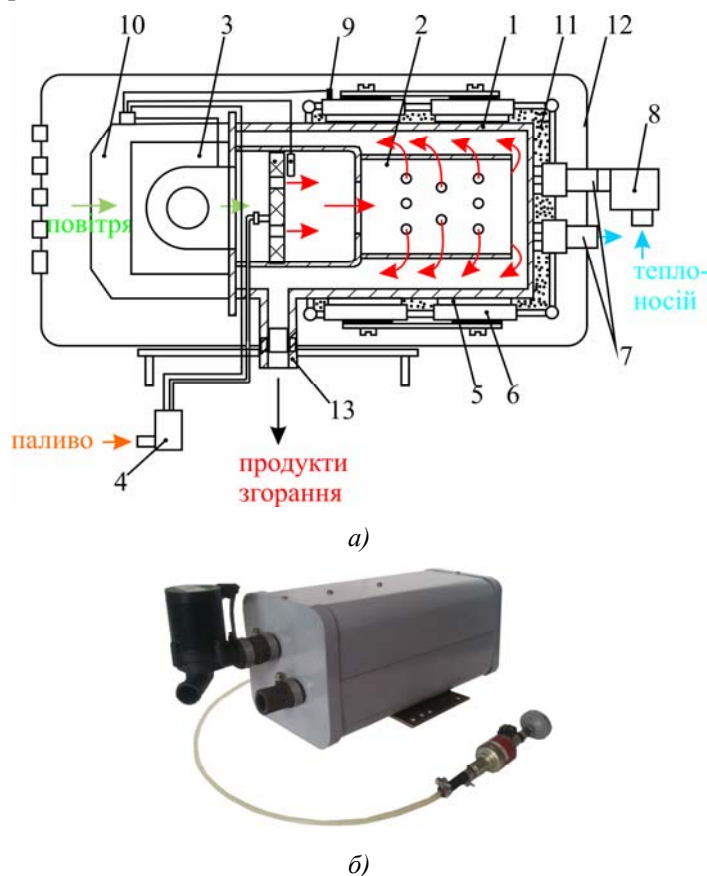


Рис. 1. Схема (а) та зовнішній вигляд (б) автомобільного передпускового нагрівача з термоелектричним джерелом живлення: 1 – гарячий теплообмінник; 2 – джерело тепла; 3 – вентилятор; 4 – паливний насос; 5 – термоелектрична батарея; 6 – холодний теплообмінник; 7 – вхідний і вихідний штуцера; 8 – циркуляційний насос; 9 – датчик перегріву; 10 – електронний блок; 11 – теплова ізоляція; 12 – корпус; 13 – вихлопна труба.

Термоелектричний нагрівач складається з гарячого теплообмінника **1**, у внутрішньому об'ємі якого розташовано джерело тепла **2**. Подача палива та повітря до джерела тепла здійснюється вентилятором **3** і паливним насосом **4**. На зовнішній поверхні гарячого теплообмінника знаходяться термоелектрична батарея **5**, тепло від якої відводиться теплообмінниками **6**.

Холодні теплообмінники об'єднані в один гідравлічний контур з системою охолодження двигуна штуцерами **7**. Циркуляція рідкого теплоносія в контурі «нагрівач-двигун» здійснюється насосом **8**. Для контролю температури теплоносія на одному з холодних теплообмінників розташовано датчик перегріву **9**.

Запуск та керування роботою всіх пристроїв нагрівача (вентилятора, паливного та циркуляційного насосів) здійснюється електронним блоком **10**.

Вільний об'єм між гарячим та холодними теплообмінниками заповнено тепловою ізоляцією **11**.

Автомобільний нагрівач з вентилятором, електронним блоком, теплообмінниками, і термоелектричною батареєю поміщений у корпус **12**. Продукти згоряння палива відводяться у навколишнє середовище вихлопною трубою **13**.

Термоелектрична батарея складається з 12 генераторних стандартних модулів «АЛТЕК-1061» [7], електрично з'єднаних між собою послідовно-паралельно. Комутація модулів підбиралась таким чином, щоб вихідна напруга нагрівача відповідала напрузі на акумуляторі автомобіля.

В конструкції нагрівача за джерело тепла використано дизельний пальник марки Ersatzbrenner D TT-C MB, в якості паливного та циркуляційного насосів – імпульсний насос BTL.DP30.02.12V DAEMPFLER E-TEIL та рідинну помпу 12V U4847 TT C/E передпускового обігрівача «Thermo Top Evo 4» (Webasto) [8].

Нагрівач працює наступним чином. Теплова енергія отримана внаслідок згоряння палива нагріває гарячий теплообмінник, проходить через термоелектричний перетворювач і відводиться рідким теплоносієм, який циркулює у теплообмінниках нагрівача і системі охолодження двигуна. Внаслідок різниці температур між гарячою і холодною сторонами термоперетворювач генерує електричний струм. Таким чином, відведена від термоперетворювача тепла енергія використовується для прогріву двигуна і опалення салону автомобіля, а електрична – для живлення компонентів обігрівача і підзарядки акумулятора автомобіля.

Експериментальні стенди для досліджень термоелектричного нагрівача

Дослідження енергетичних характеристик розробленого термоелектричного дизельного нагрівача проводились на експериментальних стендах, схематичне зображення яких наведено на рис. 2 та 3.

Для підбору оптимальних режимів роботи нагрівача та відпрацювання алгоритму його запуску і виходу в режим максимальної потужності, живлення компонент (вентилятора **1**, електроду запалювання дизельного пальника **2**, паливного насосу **3**, циркуляційної помпи **4**) здійснювалось від окремого джерела електричної енергії **5**. Витрату палива змінювали за допомогою регулятора імпульсів **6**, фіксуючи осцилографом **7** період імпульсу. При цьому диференційними термометрами **8** вимірювали температури на гарячому та холодному теплообмінниках, а також температуру газів на виході з вихлопної труби. Зовнішнє навантаження задавали реостатом **13**, знімаючи струм та напругу з термоелектричних модулів.

Дослідження роботи термоелектричного нагрівача в парі з автомобільним акумулятором проводилось на експериментальному стенді № 2 (рис. 3). В цьому випадку керування роботою компонент здійснювалося не вручну, від блоків живлення, а електронним блоком 5.

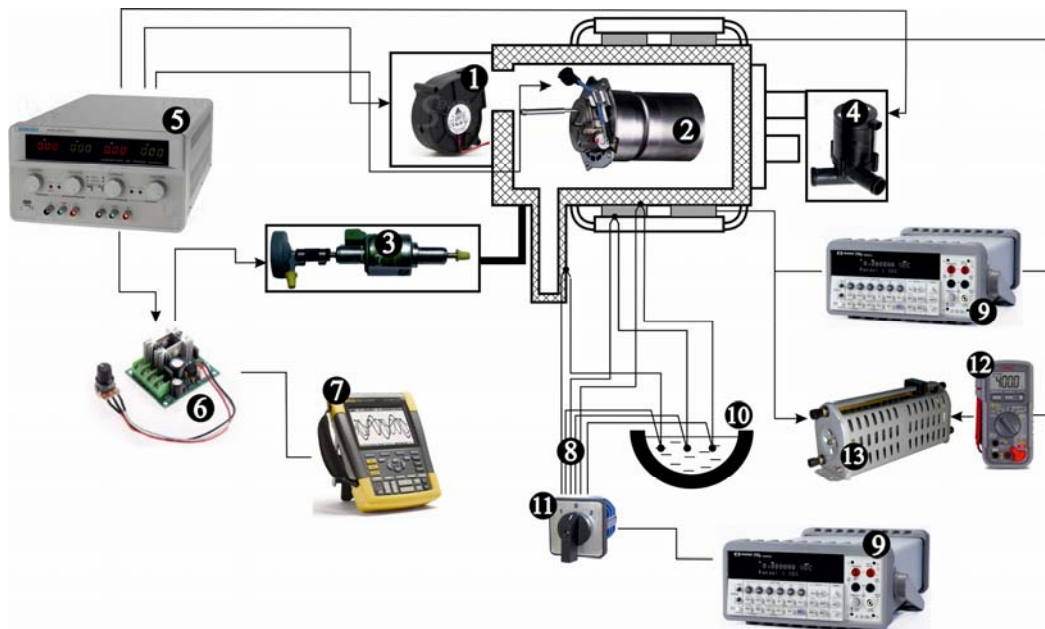


Рис. 2. Схема експериментального стенду №1: 1 – повітряний вентилятор; 2 – дизельний пальник; 3 – паливний насос; 4 – циркуляційна помпа; 5 – блок живлення; 6 – регулятор імпульсів; 7 – осцилограф; 8 – термовари; 9 – мультиметр; 10 – дюар з льодом; 11 – галетний перемикач; 12 – цифровий амперметр; 13 – реостат.

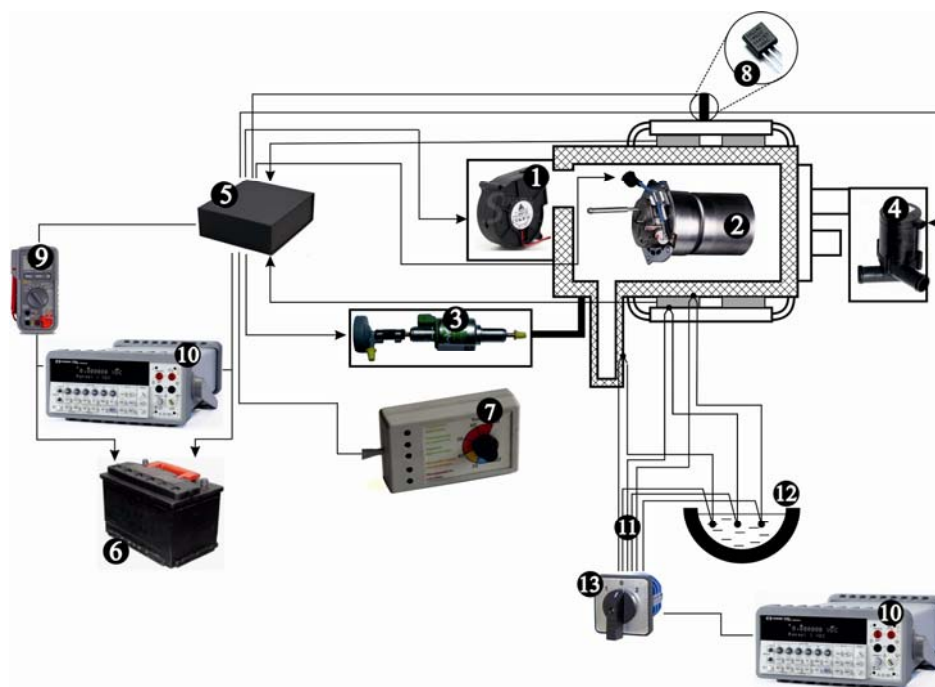


Рис. 3. Схема експериментального стенду №2: 1 – повітряний вентилятор; 2 – дизельний пальник; 3 – паливний насос; 4 – циркуляційна помпа; 5 – електронний блок керування; 6 – акумуляторна батарея; 7 – панель керування; 8 – датчик перегріву; 9 – цифровий амперметр; 10 – мультиметр; 11 – термовари; 12 – дюар з льодом; 13 – перемикач.

Ступінь підзарядки акумуляторної батареї (АКБ) оцінювали шляхом визначення струму в колі «акумулятор - генератор» та напруги на акумуляторі. Температура теплоносія задавалась з панелі керування 7, контроль за встановленою температурою здійснюється датчиком 8.

Для оцінки швидкості прогріву теплоносія систему тепловідводу нагрівача об'єднували в один гідравлічний контур з термостатом.

Результати стендових досліджень

Результати дослідження характеристик передпускового автомобільного нагрівача з термоелектричним генератором наведено на рис. 4.

З наведених даних видно, що за дві години роботи нагрівача холодний теплоносій, в даному випадку вода, прогривається до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температуру теплоносія вважали рівною температурі холодного теплообмінника $T_{хол}$). При цьому вже на 20 хв. роботи температури гарячого теплообмінника $T_{гар}$ та вихідних абгазів $T_{газ}$ знаходяться на рівні $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і в подальшому не змінюються – генератор виходить в стаціонарний режим. В таких умовах електрична напруга U термоелектричного перетворювача в режимі максимальної потужності знаходиться в межах $13 - 12\text{ В}$ при $T_{хол} = 30 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Стаціонарний режим роботи нагрівача (режим IV) забезпечується при тепловій потужності джерела тепла Q на рівні 2.3 кВт та витраті холодного теплоносія $g_T = 0.3\text{ м}^3/\text{год}$. Проте для надійного запуску та стабільної роботи обігрівача в електронному блоці керування реалізовано схему плавного виходу на режим, при якому теплова потужність пальника та витрата паливо-повітряної суміші збільшуються поступово (таблиці).

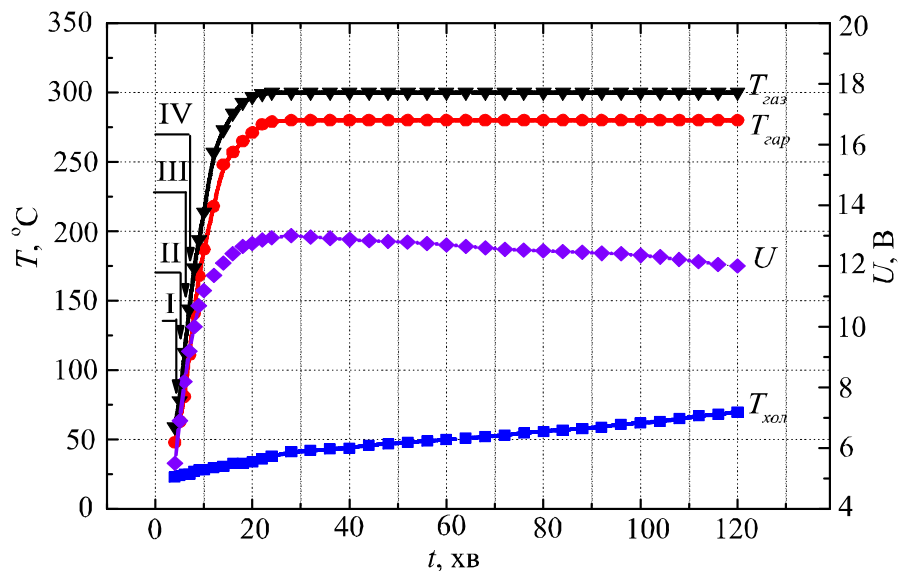


Рис. 4. Залежність температур холодного $T_{хол}$, гарячого теплообмінників $T_{гар}$, температури продуктів згорання $T_{газ}$ та вихідної електричної напруги U нагрівача від часу роботи.

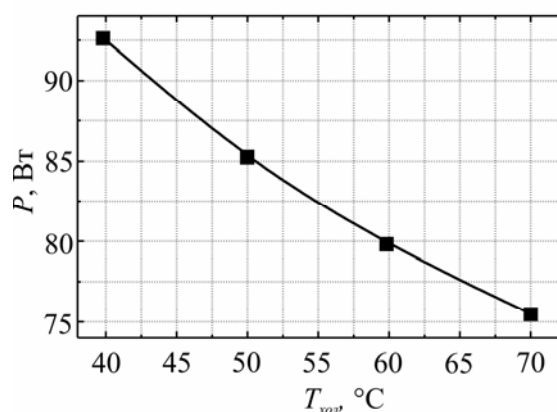
Слід зазначити, що подальше нарощування теплової потужності пальника веде до перегріву гарячої сторони модулів ($T_{гар} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$) і тому такі режими в роботі нагрівача не використовуються.

На рис. 5 наведено залежності максимальної електричної потужності P і ККД η нагрівача від температури холодного теплоносія.

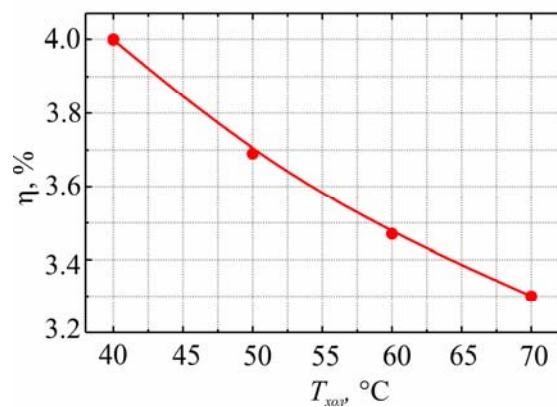
Таблиця

Режими роботи передпускового термоелектричного нагрівача

Режим	Теплова потужність Q , Вт	Витрата палива g_n , г/год	Витрата повітря $g_{лов}$, м ³ /год	Витрата теплоносія g_T , м ³ /год
I	935	79	3.26	0.3
II	1190	100	3.5	
III	1570	132	3.65	
IV	2330	195	4.57	



а)



б)

Рис. 5. Залежність максимальної електричної потужності P (а) та ККД $η$ (б) від температури холодного теплоносія.

З рис. 5 випливає, що вихідна електрична потужність термоелектричного передпускового нагрівача становить 90 – 75 Вт в інтервалі температур циркулюючого теплоносія 40 – 70 °С. ККД термоелектричного перетворення складає 4 % при $T_{хол} = 40$ °С і по мірі прогріву теплоносія зменшується до 3.3 % при $T_{хол} = 70$ °С.

Результати досліджень роботи термоелектричного передпускового нагрівача в парі з автомобільним акумулятором наведено на рис. 6.

Як видно з рис. 6 після запуску нагрівача живлення його компонент здійснюється від

акумулятора (0 – 7 хв). Причому на циркуляційну помпу, паливний насос та вентилятор в залежності від режиму роботи витрачається 15 – 25 Вт електрики, на живлення електроду розжарення пальника – 60 – 70 Вт. 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 (7 – 120 хв). Наведені на рис. 6 дані показують, що максимальна потужність, яка використовується для зарядки становить 50 Вт і в подальшому дещо знижується, до рівня 45 Вт, внаслідок прогріву холодного теплоносія.

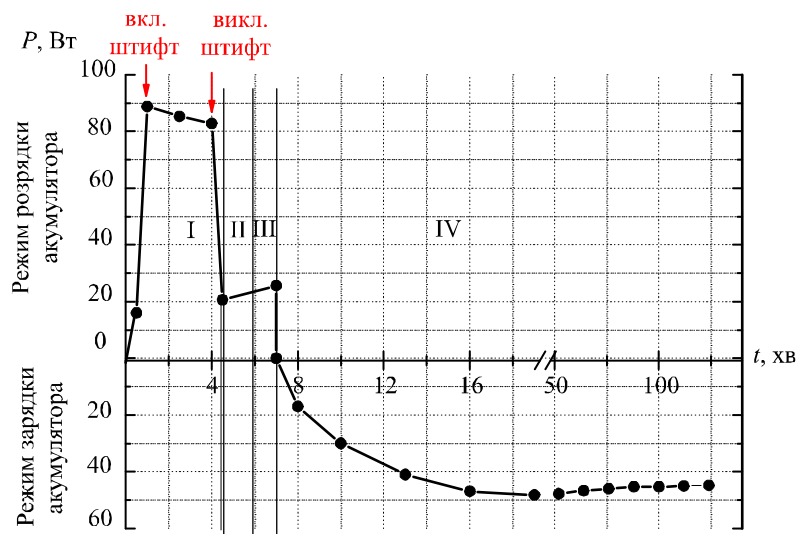


Рис. 6. Залежність потужності зарядки і розрядки акумулятора від часу роботи термоелектричного нагрівника. Латинськими цифрами позначено режими роботи нагрівника (таблиця).

Результати досліджень на автомобілі

Схему підключення нагрівника до гідравлічного контуру автомобіля наведено на рис. 7.

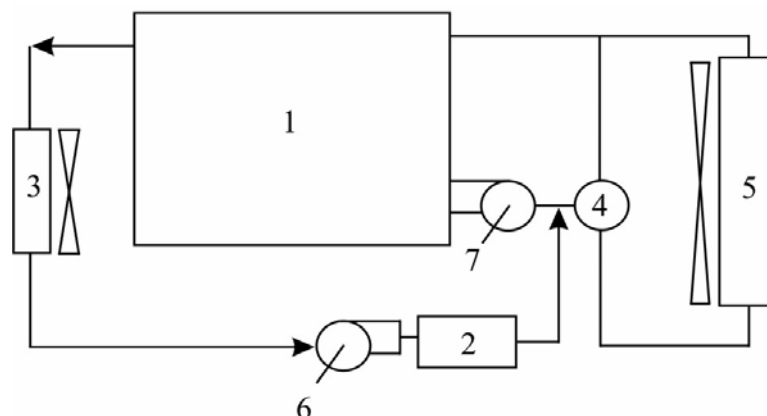


Рис. 7. Схема підключення нагрівника до гідравлічного контуру автомобіля: 1 – двигун; 2 – термоелектричний нагрівник; 3 – пічка; 4 – термостат; 5 – радіатор; 6 – циркуляційна помпа нагрівника; 7 – штатний насос автомобіля.

В гідравлічному контурі автомобіля термоелектричний нагрівник 2 доцільно розташовувати між двигуном 1 та пічкою 3 таким чином, щоб рідкий теплоносій, який рухається по малому контуру охолодження («двигун-пічка-штатний насос») з виходу нагрівника попадав на вхід в двигун.

Дослідження роботи термоелектричного передпускового нагрівача проводились на автомобілі «Mercedes» об'ємом двигуна 2.8 л (рис. 8).



Рис. 8. Термоелектричний передпусковий нагрівник на автомобілі «Mercedes».

Дизельне паливо в нагрівач подавалося з окремої ємності, яку разом з паливним насосом розміщували в багажному відділенні автомобіля (рис. 9а). За допомогою електро- та паливо проводів паливний насос підключався до встановленого під капотом автомобіля нагрівника (рис. 9б).



Рис. 9. Розміщення паливної ємності та паливного насосу (а), електро- та паливо проводів (б).

Результати експериментальних досліджень передпускового нагрівника на автомобілі наведено на рис. 10.

Як слідує з наведених даних, за час своєї роботи термоелектричний нагрівник забезпечує передпусковий прогрів двигуна до 50 °С (рис. 10а), що є хоч і не оптимальною, проте достатньою температурою для запуску автомобіля. Включення штатної системи опалення призводить до зниження температури двигуна T_d на рівень 30 °С, при цьому температура в салоні $T_{сал}$ піднімається до 10 °С (рис. 10б). В цих умовах кількість затраченого нагрівником дизельного палива $m_{нал}$, як в першому, так і в другому випадку становить ~ 400 г.

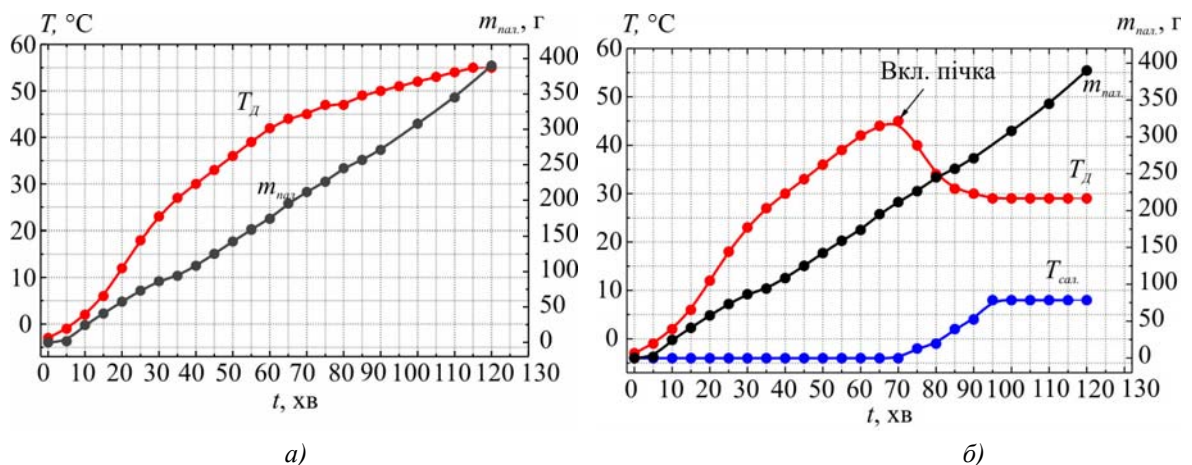


Рис. 10. Результати експериментальних досліджень термоелектричного нагрівника на автомобілі: а) прогрів двигуна; б) прогрів двигуна і опалення салону. Температура навколишнього середовища $T_o = -5$ °С.

Режим зарядки акумуляторної батареї (рис. 11) вмикався на 7 хв. роботи нагрівника, причому на 20 хв. струм зарядки I досягнув свого максимуму 1.9 А і в подальшому практично не змінювався. При цьому напруга на акумуляторі $U_{акум}$ від моменту виходу нагрівника в автономний режим роботи до включення вентилятора штатної системи опалення знаходилась на рівні 13 В, потім різко просідала до 12 В.

Таким чином, за період роботи нагрівника на автомобілі надлишок електричної потужності генератора, який використовується для зарядки акумулятора складає 20 – 25 Вт.

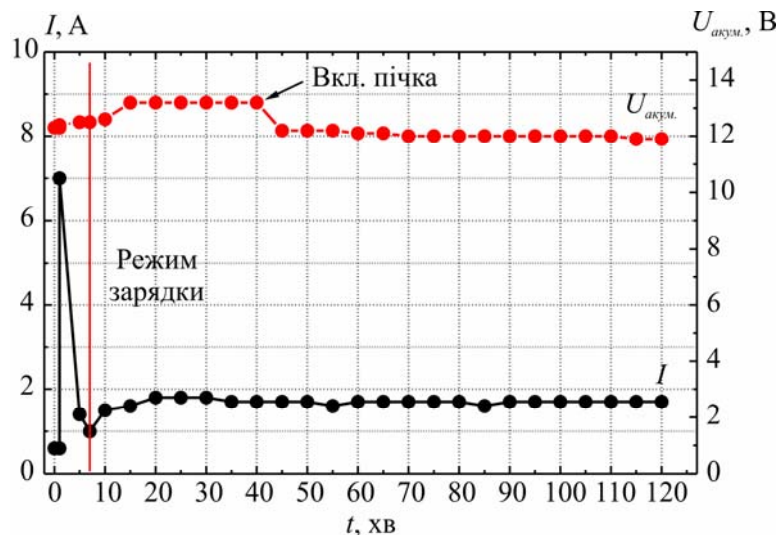


Рис. 11. Залежність напруги на акумуляторі та струму в режимі зарядки від часу роботи нагрівника.

Слід зауважити, що така розбіжність результатів вимірювань на автомобілі з стендовими дослідженнями (рис. 6) пов'язана з тим, що в обох випадках акумуляторні батареї були заряджені по різному. Тому струм зарядки для кожного конкретного випадку визначатиметься насамперед ступенем зарядки акумулятора автомобіля [9].

Аналогічні дослідження з метою визначення витрати пального та температур на двигуні і в салоні автомобіля проводилися при прогріві двигуна на «холостому ході». Результати вимірювань подано на рис. 12.

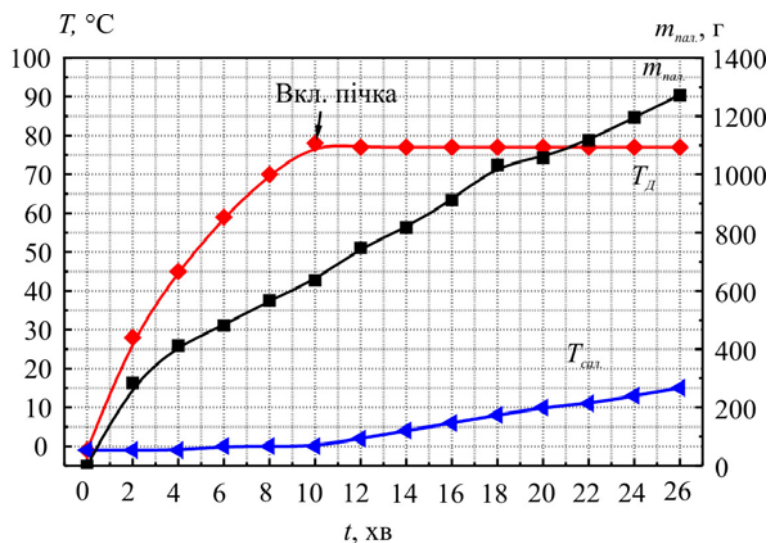


Рис. 12. Результати експериментальних досліджень прогріву автомобіля на «холостому ході». Температура навколишнього середовища $T_o = -5$ °C.

В порівнянні з прогрівом за допомогою термоелектричного нагрівача, «холостий хід» вже на 10 хв. забезпечує оптимальну для старту автомобіля температуру на двигуні 80 °C та дозволяє підняти температуру в салоні до 15 °C. Проте, в цьому випадку, маса спаленого палива $m_{пал}$ на момент включення штатної системи опалення складає 700 г, що майже в 2 рази перевищує кількість затраченого палива при передпусковому підігріві.

Таким чином, якщо врахувати, що за один зимовий сезон (90 – 110 днів) автомобіль здійснює в середньому 4 холодних пуски в день, то економія дизельного палива для автомобіля з двигуном об'ємом 2.8 л складатиме 120 – 150 л (~ 40 %).

Висновки

1. Встановлено, що вихідна електрична потужність розробленого термоелектричного передпускового нагрівача становить 75 – 90 Вт при температурі гарячого теплообмінника 280 °C та температурі холодного теплоносія в межах 70 – 40 °C. За цих умов максимальний ККД генератора складає 4 %.
2. Визначено, що режим максимальної потужності нагрівача досягається при тепловій потужності джерела тепла на рівні 2.3 кВт, витраті палива 195 г/год та повітря 4.57 м³/год. При цьому витрата холодного теплоносія становить 0.3 м³/год.
3. Встановлено, що на живлення компонент нагрівача витрачається близько 90 Вт електричної енергії акумулятора. При виході нагрівача в автономний режим роботи електронний блок керування відключає живлення компонент від акумулятора і по мірі збільшення вихідної електричної потужності генератора спрямовує надлишок електричної енергії на підзарядку акумулятора. При цьому струм зарядки визначається індивідуальним ступенем зарядки акумулятора.
4. Встановлено, що за дві години роботи термоелектричний нагрівач забезпечує попередній прогрів двигуна автомобіля до температури 50 °C. Включення штатної системи опалення автомобіля призводить до зниження температури двигуна на рівень 30 °C, при цьому температура в салоні піднімається до 10 °C.

5. Показано, що використання термоелектричного передпускового нагрівача для автомобілів з об'ємом двигуна 2.8 л дозволяє за один зимовий сезон зекономити ~ 40 % палива в порівнянні з прогрівом на «холостому ході».

Література

1. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. Москва: АСТ, 2007. 213 с.
2. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Режими роботи автомобілів при понижених температурах. Необхідність використання нагрівачів та раціональність застосування термогенераторів для їх роботи. *Термоелектрика*. 2015. №3. С. 20 – 31.
3. Автомобільний обігрівач з термоелектричним джерелом живлення: пат. 02055 Україна: МПК F01N 5/00, H01L35/00. № 72304; заявл. 23.02.12; опубл. 10.08.12, бюл. № 15.
4. Термоелектричне джерело живлення для автомобіля: пат. 13957 Україна: МПК F01N 5/00 H01L 35/00. № 102303; заявл. 28.11.11; опубл. 25.06.13, бюл. № 12.
5. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Раціональні потужності термогенераторів для передпускових нагрівачів транспортних засобів. *Термоелектрика*. 2015. №4. С. 65 – 74.
6. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Комп'ютерне проектування термоелектричного автомобільного передпускового нагрівача на дизельному паливі. *Термоелектрика*. 2016. №1. С. 52 – 66.
7. <http://www.inst.cv.ua>
8. <http://www.webasto.com.ua>
9. Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. Справочник. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ. 2005. 264 с.

Надійшла до редакції 16.08.2016