

**Анатычук Л.И.,** *акад. НАН Украины*,<sup>1,2</sup>  
**Максимук Н.В.**<sup>1</sup>



*Анатычук Л.И.*

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,  
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина;  
*e-mail: anatyuch@gmail.com*

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им. Юрия  
Федьковича, ул. Коцюбинского, 2, Черновцы,  
58012, Украина



*Максимук Н.В.*

## **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. Библ. 15, рис. 3.*

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

### **Введение**

Для преодоления трудностей, связанных с эксплуатацией автомобилей при пониженных температурах, все шире используются разнообразные средства тепловой предпусковой подготовки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1, 2]. Самыми эффективными из таких средств являются предпусковые нагреватели – пламенные источники тепла, которые работают от топлива автомобилей и осуществляют разогрев охлаждающей жидкости двигателей. Кроме надежного запуска ДВС использование предпусковых нагревателей создает условия для экономии в среднем около 90-150 л топлива за сезон, уменьшает до 5 раз токсичность выхлопных газов во время разогрева двигателя и позволяет увеличить моторесурс двигателя на 200-300 км за один пуск даже при разогреве от температуры -30 °С [3, 4].

Определяющим фактором, ограничивающим возможность массового использования предпусковых нагревателей, является разряд аккумуляторной батареи во время работы предпускового оборудования [5].

Одним из перспективных методов решения проблемы разряда аккумуляторов при тепловой подготовке двигателей транспортных средств к запуску является использование термоэлектрических генераторов в качестве источников электрической энергии для предпусковых нагревателей [6 – 11].

Создание такой системы предпускового разогрева двигателей выдвигает ряд задач, которые заключаются в поиске наиболее рациональной схемы использования предпусковых нагревателей с

термоэлектрическими источниками питания как по энергетическим характеристикам, так и с учетом ее стоимостных показателей.

Целью данной работы является анализ моделей предпусковых нагревателей с термоэлектрическими источниками электричества и определение наиболее эффективного варианта использования термоэлектрических генераторов в системах предпускового разогрева двигателей транспортных средств.

### **Физические модели и термодинамические особенности предпусковых нагревателей с термоэлектрическими источниками электричества**

Предварительно введем коэффициент полезного действия (КПД) для системы "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" как отношение полученной полезной энергии к затраченной тепловой энергии  $Q$ . Полезной энергией будем считать сумму полученной тепловой энергии  $Q'$ , непосредственно используемой для предпускового разогрева двигателя, и электрической энергии  $W$ , необходимой для функционирования системы:

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

где  $W_i$  – мощности потребителей электрической энергии системы.

Тратящую тепловую энергию системы примем равной суммарной тепловой энергии горелок предпускового нагревателя и термоэлектрического генератора (ТЭГ):

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

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – тепловые энергии горелок предпускового нагревателя и термогенератора, которые можно выразить следующими соотношениями:

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

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

где  $\eta_{A1}$ ,  $\eta_{A2}$  – КПД горелок предпускового нагревателя и ТЭГ;  $A$  – теплотворная способность топлива, которое используется для работы системы;  $m_1$ ,  $m_2$  – расходы топлива предпускового нагревателя и термогенератора, соответственно.

Варианты использования термоэлектрических генераторов для предпускового разогрева двигателей можно свести к трем основным физическим моделям, которые приведены ниже.

### **Физическая модель системы "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" с индивидуальными источниками тепла**

На рис. 1 приведена физическая модель системы предпускового разогрева двигателей, которая содержит жидкостный предпусковой нагреватель и термоэлектрический генератор, подвод тепла к которым осуществляется индивидуально, с использованием отдельных источников тепла.

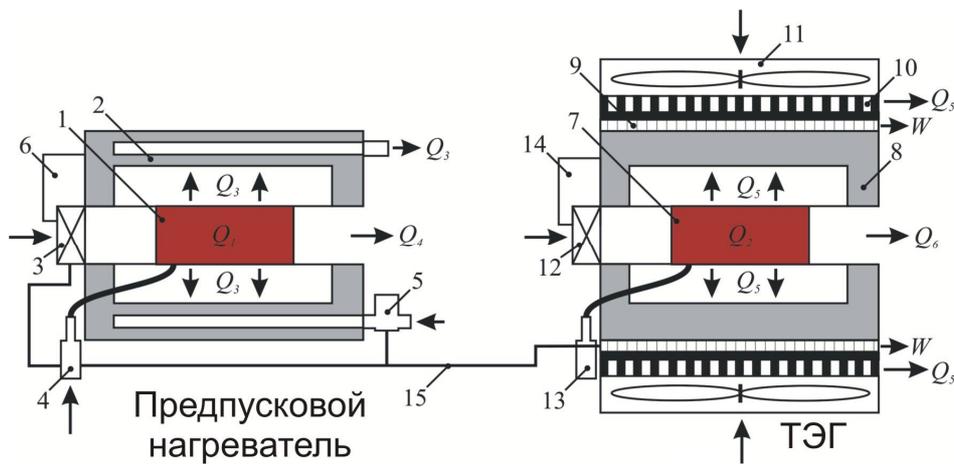


Рис. 1. Физическая модель системы "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" с индивидуальными источниками тепла: 1 – горелка предпускового нагревателя; 2 – теплообменник; 3 – воздушный вентилятор предпускового нагревателя; 4 – топливный насос предпускового нагревателя; 5 – циркуляционная помпа; 6 – электронный блок предпускового нагревателя; 7 – горелка термогенератора; 8 – горячий теплообменник; 9 – термоэлектрическая батарея; 10 – воздушный радиатор; 11 – вентилятор для отвода тепла; 12 – воздушный вентилятор термогенератора; 13 – топливный насос термогенератора; 14 – электронный блок термогенератора; 15 – средства электрической коммутации.

Жидкостный предпусковой нагреватель состоит из источника тепла 1, находящегося во внутреннем объеме теплообменника 2. В качестве источника тепла использована пламенная горелка, воздух и топливо к которой подводятся вентилятором 3 и насосом 4. В теплообменнике нагревателя выполнены каналы, в которых теплоноситель нагревается, после чего, путем прокачки циркуляционной помпой 5, поступает к двигателю автомобиля. Запуск и управление работой компонент предпускового нагревателя (воздушного вентилятора, топливного насоса, циркуляционной помпы) осуществляется электронным блоком 6.

Термоэлектрический генератор содержит индивидуальную пламенную горелку 7, горячий теплообменник 8 для подвода тепла к термоэлектрической батарее 9 и систему отвода тепла, состоящую из воздушных радиаторов 10 и вентиляторов 11. Подача топлива и воздуха к источнику тепла термогенератора осуществляется вентилятором 12 и топливным насосом 13. Для стабилизации исходного напряжения термогенератора и управления его работой в модели ТЭГ предусмотрен электронный блок 14.

Работает термоэлектрический генератор следующим образом. Тепловая энергия, полученная в результате сгорания топлива, нагревает горячий теплообменник, проходит через термоэлектрическую батарею и отводится в окружающую среду. Вследствие возникающей разности температур между горячей и холодной сторонами термобатареи генерируется электрический ток, который используется для питания предпускового нагревателя.

Таким образом, рассмотренная система обеспечивает предпусковой нагреватель необходимой электрической энергией практически без применения аккумулятора. Вместе с тем такая система может выполнять и дополнительные функции, в частности термогенератор может применяться как дополнительный источник электрической энергии на автомобиле. Эта энергия может быть направлена при необходимости для зарядки аккумулятора или других потребностей энергообеспечения, например для питания разнообразных дополнительных электрических

устройств – противоугонных средств долговременной работы, ноутбуков, телевизоров, систем связи, холодильника для хранения продуктов и пр. при неработающем двигателе.

Рассмотрим энергетические показатели такой системы. Тепловая энергия  $Q_1$  и  $Q_2$ , которая производится для ее работы, обеспечивается горелкой предпускового нагревателя и горелкой термоэлектрического генератора. Часть  $Q_3$  тепла  $Q_1$  используется для нагрева циркуляционной жидкости, другая часть  $Q_4$  выносится продуктами сгорания в окружающее пространство. Аналогичное распределение тепла имеет место и в термоэлектрическом генераторе, а именно – тепло  $Q_5$  от горелки 7 через термоэлектрические батареи 9 переносится в воздушные радиаторы 10 и вентиляторами 11 отводится в окружающую среду. Другая часть тепла  $Q_6$  отводится из термогенератора продуктами сгорания.

Таким образом, общая тепловая энергия системы  $Q$  равняется:

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

Электрическая энергия  $W$ , выработанная термоэлектрическим генератором, используется для питания насосов 4, 5, 13 и вентиляторов 3, 11, 12. Тогда соотношение (1) для данной системы запишется в виде:

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

Проведем оценку КПД для приведенной системы на примере жидкостного предпускового нагревателя Webasto Thermo Top EVO (бензиновый вариант,  $A = 44$  МДж/кг) тепловой мощностью  $Q_3 = 4$  кВт и затратой топлива  $m_1 = 0.56$  л/ч [12].

Исходную электрическую мощность термогенератора примем равной  $W = 50$  Вт: 35 Вт – для питания компонент предпускового нагревателя [12] и 15 Вт для энергообеспечения насосов и вентиляторов ТЭГ [13].

Величину тепловой энергии  $Q_2$  можно оценить из следующего соотношения:

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

где  $\eta_{TEG}$  – коэффициент полезного действия термоэлектрического генератора.

Если учесть, что максимальная эффективность современных ТЭГ, где применяются однокаскадные модули на основе теллурида висмута, составляет 3.5 % [14], для обеспечения заданной исходной электрической мощности необходимо затратить приблизительно  $Q_2 = 1.4$  кВт тепла.

Таким образом, подставив рассчитанные значения тепловых и электрических мощностей в соотношение (6), получим, что КПД системы "предпусковой нагреватель - термоэлектрический генератор" с индивидуальными источниками тепла равняется ~ 60 %.

### **Физическая модель системы "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" с индивидуальными источниками тепла и общим гидравлическим контуром**

По сравнению с предыдущей системой, данная система объединяет предпусковой нагреватель и термоэлектрический генератор единым гидравлическим контуром (рис. 2). В связи с этим в системе охлаждения термогенератора воздушные радиаторы и вентиляторы для отвода тепла от термобатареи заменены жидкостными теплообменниками 10, в которых циркулирует теплоноситель.

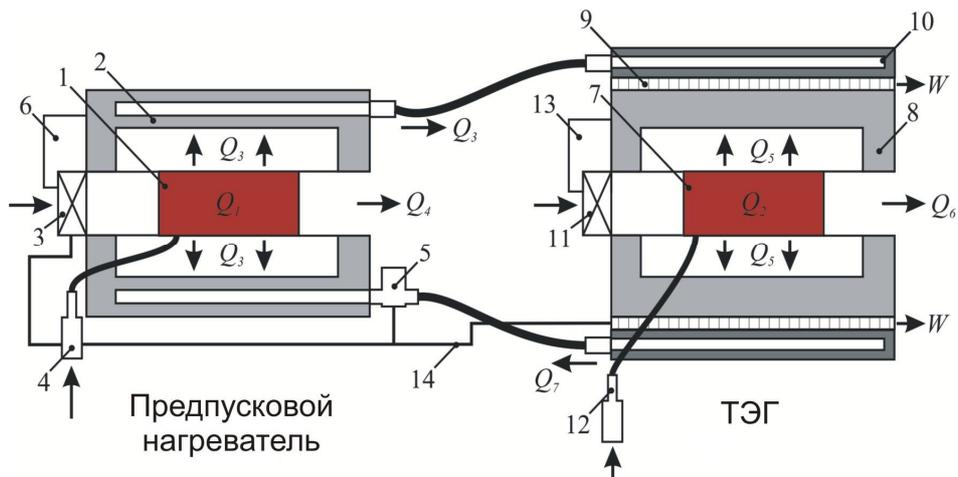


Рис. 2. Физическая модель системы "предпусковой нагреватель-термоэлектрический генератор" с индивидуальными источниками тепла и совместным гидравлическим контуром:

- 1 – горелка предпускового нагревателя; 2 – теплообменник; 3 – воздушный вентилятор предпускового нагревателя; 4 – топливный насос предпускового нагревателя; 5 – циркуляционная помпа;
- 6 – электронный блок предпускового нагревателя; 7 – горелка термогенератора;
- 8 – горячий теплообменник; 9 – термоэлектрическая батарея; 10 – холодный жидкостный теплообменник;
- 11 – воздушный вентилятор термогенератора; 12 – топливный насос термогенератора;
- 13 – электронный блок термогенератора; 14 – средства электрической коммутации.

Поскольку тепловой поток  $Q_7$ , отводящийся от термобатареи, тратится для нагрева теплоносителя, данная система позволяет осуществлять предварительный разогрев двигателя как предпусковым нагревателем, так и с использованием термоэлектрического генератора. Поэтому выражение (1) для КПД системы переписывается в следующем виде:

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

где полезное тепло  $Q_7$  можно найти из равенства тепловых потоков ТЭГ:

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

Используя ранее найденные значения электрической мощности  $W$  и тепловой мощности  $Q_2$ , и учтя, что количество тепла  $Q_6$ , теряемое с продуктами сгорания в конструкциях термоэлектрических генераторов, составляет в среднем 25 % от тепловой мощности  $Q_2$  [15], находим величину тепловой энергии  $Q_7$  ( $Q_7 = 1$  кВт), затрачиваемой на нагрев теплоносителя и ориентировочный КПД данной системы ( $\eta \sim 75$  %).

### Физическая модель системы "термоэлектрический генератор-предпусковой нагреватель" с совместным источником тепла.

Физическая модель системы (рис. 3) с совместным источником тепла содержит горячий теплообменник 1, во внутреннем объеме которого расположена горелка 2. Подача топлива и воздуха к горелке осуществляется вентилятором 3 и топливным насосом 4. На внешней поверхности горячего теплообменника находится термоэлектрическая батарея 5, тепло от которой отводится отапливающей жидкостью, которая циркулирует в холодных теплообменниках 6 путем

прокачки жидкостной помпой 7. Запуск и управление работой нагревателя осуществляется электронным блоком 8.

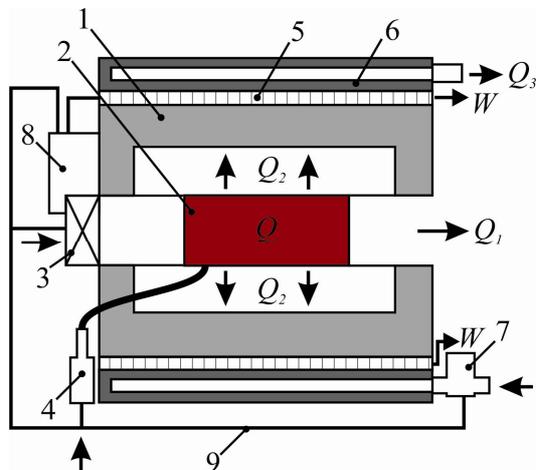


Рис. 3. Физическая модель системы "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" с совместным источником тепла: 1 – горелка предпускового нагревателя; 2 – горячий теплообменник; 3 – воздушный вентилятор предпускового нагревателя; 4 – топливный насос предпускового нагревателя; 5 – термоэлектрическая батарея; 6 – холодный жидкостный теплообменник; 7 – циркуляционная помпа предпускового нагревателя; 8 – электронный блок; 9 – средства электрической коммутации.

Таким образом, в приведенной системе термоэлектрический генератор и предпусковой нагреватель объединены в единую конструкцию, которая дает возможность получать электрическую энергию и осуществлять разогрев двигателя одним тепловым потоком  $Q$ . При этом часть тепла  $Q_1$  выносится продуктами сгорания в окружающую среду, а тепло  $Q_2$ , в виде тепловой  $Q_3$  и электрической  $W$  мощности, используется для прогрева двигателя и питания компонент нагревателя, а также, при необходимости, для подзарядки аккумулятора во время предпускового подогрева:

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

Поэтому КПД системы "термоэлектрический генератор – предпусковой нагреватель" с совместным источником тепла можно оценить из следующего соотношения:

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

Воспользовавшись известными значениями электрических и тепловых характеристик предпускового нагревателя Webasto Thermo Top EVO ( $Q = 5.3$  кВт,  $W = 50$  Вт), с учетом приближенной оценки величины  $Q_1$  ( $Q_1 = 0.25Q = 1.3$  кВт), определяем, что КПД данной системы предпускового разогрева двигателя составляет 75 %.

Таким образом, наивысшими значениями КПД характеризуется система "термоэлектрический генератор – предпусковой нагреватель" с совместным источником тепла и система, в которой предпусковой нагреватель и ТЭГ объединены гидравлическим контуром. Очевидно, что система с совместным источником тепла имеет меньшую стоимость, что делает ее использование эффективнее. Однако этот вопрос нуждается в отдельных исследованиях, которые будут представлены в последующих работах.

## **Выводы**

1. Рассмотрены три варианта физических моделей предпусковых нагревателей с термоэлектрическими источниками электричества. Установлено, что самой рациональной для предпускового разогрева двигателей внутреннего сгорания является система "предпусковой нагреватель – термоэлектрический генератор" с совместным источником тепла и система, которая объединяет предпусковой нагреватель и термогенератор одним гидравлическим контуром. Использование таких систем позволяет обеспечить наивысший суммарный тепловой и электрический КПД на уровне 75 %.
2. Показано, что КПД системы с индивидуальными источниками тепла составляет 60 %, поэтому ее применение является менее эффективным. Однако такая система имеет ряд преимуществ, которые заключаются в возможности использования термоэлектрического генератора в качестве резервного источника электрической энергии на автомобиле.

## **Литература**

1. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-ое 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: учебное пособие / Л.М. Матюхин, – М.: МАДИ, 2009. – 89 с.
4. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. – В.С. Найман // Москва: АСТ, 2007. – 213 с.
5. Михайловский В.Я., Максимук Н.В. Режимы работы автомобилей при сниженных температурах. Необходимость использования нагревателей и рациональность приложения термогенераторов для их работы // Термоэлектричество. – 2014.- №3.- С. 20-31.
6. Пат. (UA) № 102303. МПК: F01N 5/00; H01L 35/00. Термоэлектрический источник питания для автомобиля / Анатычук Л.И., Михайловский В.Я. – Оpubл. 25.06.2013, бюл. №12, Заявка u2011 13957 от 28.11.2011.
7. Пат. (UA) №72304. МПК: F01N 5/00; H01L35/00. Автомобильный обогреватель с термоэлектрическим источником питания / Анатычук Л.И., Михайловский В.Я. – Оpubл. 10.08.2012, бюл. №15, Заявка u2012 02055 от 23.02.2012.
8. Пат. (UA) №124999. МПК: F02N 19/10; H01L35/00. Автомобильный обогреватель с термоэлектрическим источником питания / Максимук Н.В. – Оpubл. 25.04.2018, бюл. №8, Заявка u2017 11819 от 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. – Оpubл. 20.01.2006, бюл. №02, Заявка 2005101942/06 от 27.01.2005.
12. Электронный ресурс <http://www.webasto.com/>

13. Патент (UA) №54900. МПК: H01L35/00. Портативный термоэлектрический генератор / Михайловский В.Я., Струтинская Л.Т., Гишук В.С.- Оpubл. 25.11.2010. Заявка u201006977 от 07.06.2010.
14. Анатычук Л.И. Двухсекционный термоэлектрический генератор на газовом топливе / Л.И. Анатычук, В.Я. Михайловский // Термоэлектричество. – 2008. – №1.-С.76-86.
15. Михайловский Вилиус Ярославович. Термоэлектрические генераторы на органическом топливе: дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.01 / НАН Украины. – Черновцы, – 2007. – 320 с.

Поступила в редакцию 20.06.18

**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,  
*e-mail: anatysh@gmail.com;*

<sup>2</sup>Yu. Fedkovych Chernivtsi National University, 2, Kotsyubinsky str.,  
Chernivtsi, 58012, Ukraine

## **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. Bibl.15, Fig.3.*

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

### **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: 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). *Teplotekhnicheskiiie 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). Anatyчук L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
7. *Patent of Ukraine №72304* (2012). Anatyчук 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. Anatyчук 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 20.06.18