



Максимук Н. В.

**Максимук Н. В.**

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

## **СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕДПУСКОВОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

---

*Приведены результаты стендовых исследований энергетических характеристик термоэлектрического источника тепла для предпускового подогрева двигателей автотранспортных средств в условиях пониженных температур окружающей среды. Показано, что использование термоэлектрического преобразователя в качестве источника электрической энергии обеспечивает автономную работу компонентов предпусковых нагревателей и позволяет решить проблему разрядки аккумуляторной батареи автомобиля во время эксплуатации предпускового оборудования. Библ. 17, рис. 10, табл. 1.*

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

### **Введение**

На сегодняшний день проблема запуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС) транспортных средств в условиях пониженных температур окружающей среды решается путем использования предпусковых нагревателей, которые серийно производятся рядом фирм – Eberspecher, Webasto, Truma (Германия), Ateso (Чехия), Теплостар (Россия), Mikuni (Япония). Такие нагреватели работают на разных видах топлива и используются в легковых и грузовых автомобилях, автобусах, яхтах и катерах.

Многолетний опыт эксплуатации транспортных средств показывает, что предпусковой подогрев не только обеспечивает надежный запуск двигателя, но и позволяет увеличить его моторесурс в 1.5 – 2 раза за год [1] и уменьшить выбросы токсичных веществ выхлопных газов до 5 раз [2], экономя при этом до 300 л топлива за один зимний сезон [3]. Кроме того, комфортные условия, которые обеспечиваются предпусковым подогревом, полностью исключают возможность возникновения аварий, обусловленных влиянием холода на водителя.

Однако, несмотря на широкие возможности, предпусковые нагреватели все еще не нашли массового использования. Основной причиной, нивелирующей преимущества предпускового подогрева, является необходимость в электрической энергии для питания компонентов нагревателей. Эта энергия отбирается от аккумуляторов, что приводит к их разрядке и создает существенные трудности при запуске двигателя. Во избежание разрядки аккумуляторной батареи во время предпускового подогрева, в качестве источника электричества для таких нагревателей рационально использовать термоэлектрический генератор [4].

В Институте термоэлектричества создан термоэлектрический генератор электрической мощностью 70 – 90 Вт, который работает от тепла предпускового нагревателя и обеспечивает питание его компонентов [5 – 7]. Кроме того, излишек электрической энергии термогенератора может использоваться для подзарядки аккумуляторной батареи.

Экспериментальные испытания термоэлектрического нагревателя в стендовых условиях доказали работоспособность конструкции и подтвердили результаты проведенных в работе [8] компьютерных расчетов. Однако исследования образца в условиях пониженных температур показали, что тепловой мощности нагревателя недостаточно для нагрева двигателя до оптимальной температуры запуска, равной 70°C [9].

Для увеличения количества тепла, используемого для нагрева охлаждающей жидкости ДВС, в конструкции нагревателя рационально применить разработанный в [10] модифицированный вариант термоэлектрических модулей «Алтек-1061». Идея такой модификации в том, чтобы за счет уменьшенной высоты ветвей термоэлементов снизить тепловое сопротивление модулей и увеличить суммарный тепловой поток через термобатарею (ТЭБ).

В связи с использованием термоэлектрического преобразователя, оптимизированного на новый уровень тепловой мощности, методами компьютерного проектирования найдены основные конструктивные и энергетические характеристики нового варианта термоэлектрического предпускового источника тепла на дизельном топливе для предварительного подогрева легковых транспортных средств с объемом двигателя до 4 л. Расчеты показали, что в случае использования модулей новой модификации можно ожидать повышения тепловой мощности нагревателя в 1.5 – 2 раза, до уровня 2.5 – 3 кВт, при электрической мощности 85 – 110 Вт. Такие значения тепловой и электрической мощностей позволят обеспечить оптимальную для запуска температуру двигателя, автономную работу функциональных компонентов нагревателя, а также подзарядку аккумулятора во время предпускового подогрева [11].

Целью данной работы является исследование тепловых и электрических параметров разработанного нагревателя в стендовых условиях для подтверждения его соответствия проектным характеристикам.

## **Устройство и принцип работы термоэлектрического предпускового источника тепла**

Схема и внешний вид термоэлектрического предпускового источника тепла и электричества приведены на рис. 1.

Термоэлектрический нагреватель состоит из горячего теплообменника 1, во внутреннем объеме которого расположен источник тепла 2. Подача топлива и воздуха к источнику тепла осуществляется вентилятором 3 и топливным насосом 4. На внешней поверхности горячего теплообменника находится термоэлектрическая батарея 5, тепло от которой отводится теплообменниками 6.

Холодные теплообменники объединены в один гидравлический контур с системой охлаждения двигателя штуцерами 7. Циркуляция жидкого теплоносителя в контуре «нагреватель-двигатель» осуществляется насосом 8. Для контроля температуры теплоносителя на одном из холодных теплообменников расположен датчик перегрева 9. Тепловой контакт между термоэлектрической батареей и теплообменниками обеспечивается прижимным

устройством 10. Свободный объем между горячим и холодными теплообменниками заполнен тепловой изоляцией 11. Автомобильный нагреватель с вентилятором, электронным блоком, теплообменниками, термоэлектрической батареей и прижимным устройством помещен в корпус 12. Продукты сгорания топлива отводятся в окружающую среду выхлопной трубой 13. С помощью системы крепления 14 нагреватель устанавливается на каркас транспортного средства. Запуск и управление работой всех устройств нагревателя осуществляется электронным блоком 15 с панели управления 16.

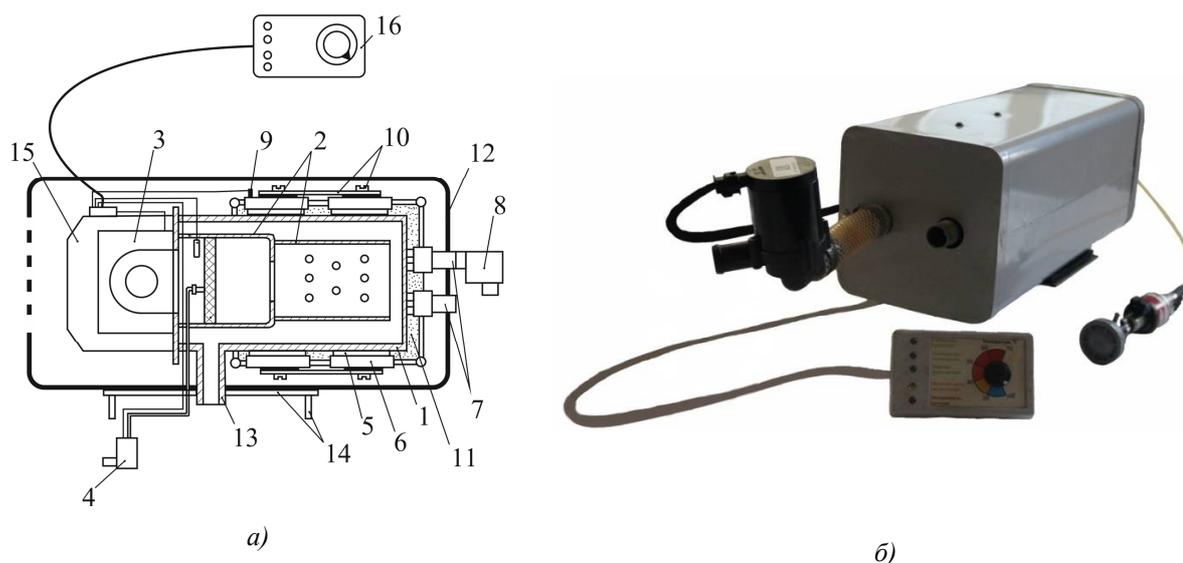


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) термоэлектрического предпускового источника тепла:

- 1 – горячий теплообменник; 2 – источник тепла; 3 – вентилятор; 4 – топливный насос;  
 5 – термоэлектрическая батарея; 6 – холодный теплообменник; 7 – входной и выходной штуцера;  
 8 – циркуляционный насос; 9 – датчик перегрева; 10 – прижимной механизм;  
 11 – тепловая изоляция; 12 – корпус; 13 – выхлопная труба; 14 – система крепления;  
 15 – электронный блок; 16 – панель управления.

Термоэлектрическая батарея состоит из 12 генераторных модулей «Алтек-1061», оптимизированных для использования в предпусковых источниках тепла, и электрически соединенных между собой параллельно. Коммутация модулей подбиралась таким образом, чтобы выходное напряжение нагревателя отвечало напряжению на аккумуляторе автомобиля.

В конструкции нагревателя в качестве источника тепла использована дизельная горелка марки Ersatzbrenner D TT-C MB, в качестве топливного и циркуляционного насосов – импульсный насос BTL.DP30.02.12V DAEMPFLER E-TEIL и жидкостная помпа 12V U4847 TT C/E предпускового обогревателя «Thermo Top Evo 4» (Webasto) [12], в качестве вентилятора – воздушный вентилятор «Delta» [13].

Нагреватель работает следующим образом. Тепловая энергия, полученная вследствие сгорания топлива, нагревает горячий теплообменник, проходит через термоэлектрические модули и отводится жидким теплоносителем, который циркулирует в теплообменниках нагревателя и системе охлаждения двигателя. Таким образом, отведенная от термобатареи тепловая энергия используется для прогрева двигателя, а электрическая – для питания компонентов нагревателя, а также при необходимости для подзарядки аккумулятора автомобиля.

## Результаты стендовых исследований

Исследование энергетических характеристик разработанного термоэлектрического дизельного нагревателя осуществляли на экспериментальном стенде, схема которого приведена на рис. 2.

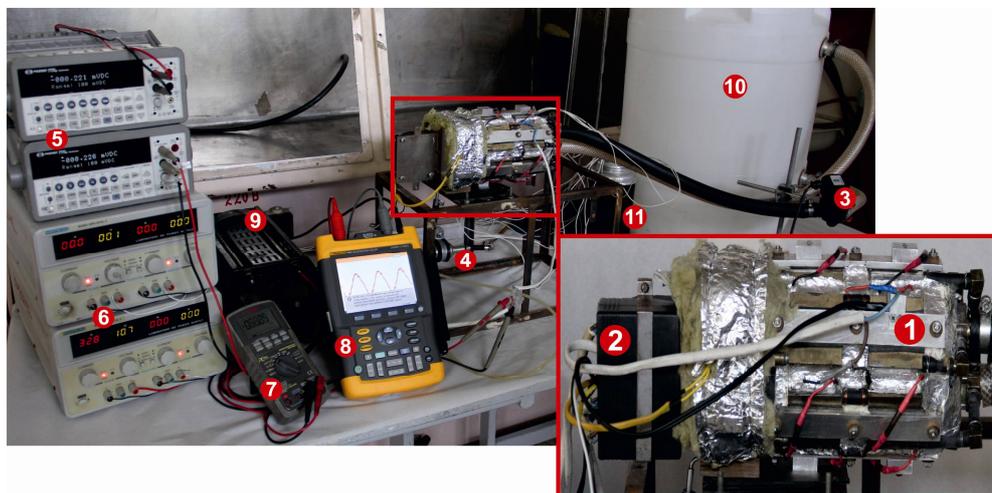


Рис. 2. Схема экспериментального стенда для исследования энергетических характеристик термоэлектрического предпускового источника тепла: 1 – термоэлектрический нагреватель без внешнего корпуса; 2 – электронный блок; 3 – циркуляционная помпа; 4 – топливный насос; 5 – вольтметр; 6 – блок питания; 7 – цифровой амперметр; 8 – осциллограф; 9 – реостат; 10 – термостат; 11 – сосуд Дьюара со льдом и термопарами [9].

Исследования проводились в два этапа:

– на первом этапе осуществлялась отработка режимов работы нагревателя, алгоритмов его запуска и выхода в режим максимальной мощности;

– на втором этапе проводились исследования энергетических характеристик нагревателя в паре с автомобильным аккумулятором. В этом случае управление работой компонентов осуществлялось электронным блоком.

Результаты исследования характеристик термоэлектрического предпускового автомобильного нагревателя приведены на рис. 3 и в таблице.

Таблица

*Режимы работы предпускового термоэлектрического нагревателя*

Режим работы	Время после запуска, мин.	Тепловая мощность источника тепла, Вт	Расход топлива, г/ч	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /ч
I	1	950	80	4.20	0.3
II	2	1250	105	4.80	
III	3	1540	130	5.50	
IV	4	2310	195	7.49	
V	5	2965	250	7.99	
VI	6	3560	300	8.19	

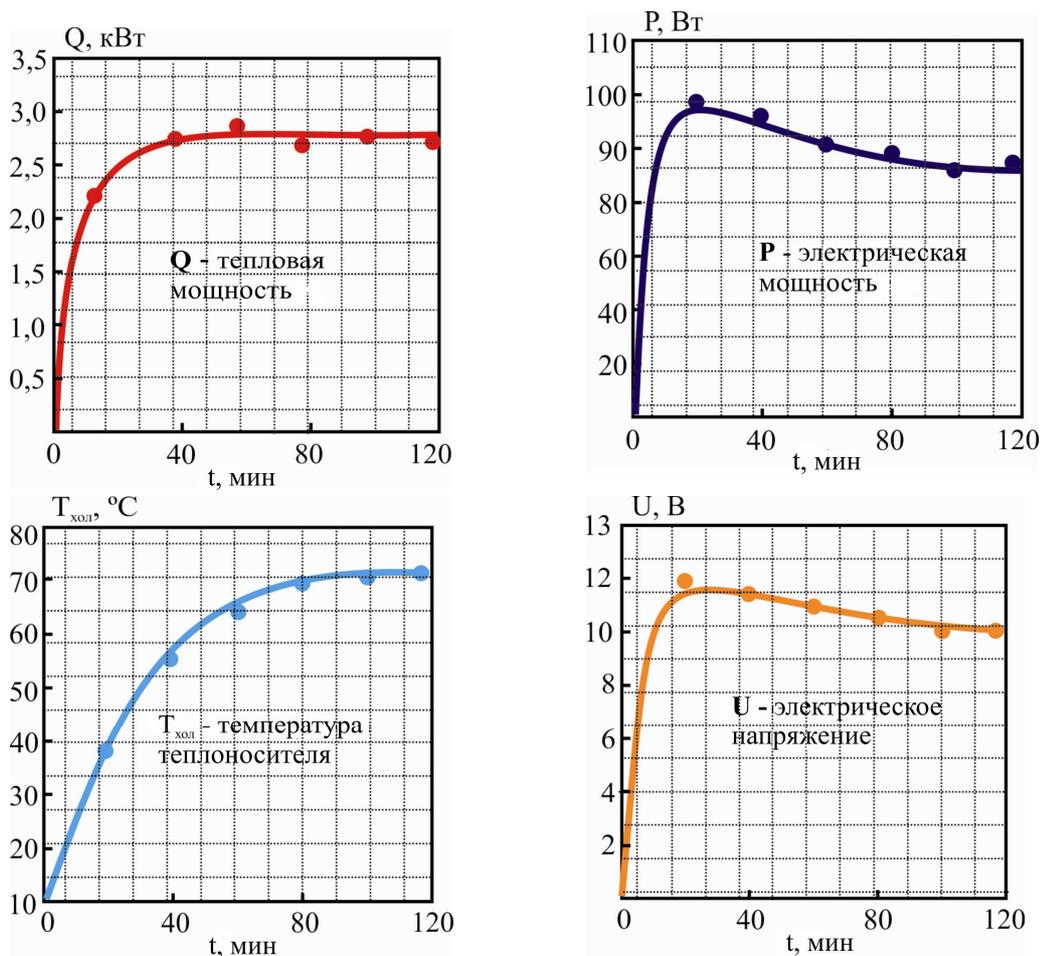


Рис. 3. Зависимость энергетических характеристик термоэлектрического предпускового автомобильного нагревателя от времени работы  $t$ .

Из приведенных данных видно, что максимальная тепловая мощность нагревателя достигает уровня 3 кВт, что позволяет обеспечить разогрев охлаждающей жидкости на 80-й минуте от момента его запуска, в то время, как первый вариант предпускового нагревателя обеспечивал аналогичный тепловой режим за два часа работы [9]. Таким образом, использование в конструкции обогревателя модифицированных термоэлектрических модулей "Алтек-1061" дает возможность повысить теплопроизводительность нагревателя ~ в 1.5 – 2 раза и сократить время прогрева охлаждающей жидкости двигателя.

Стационарный режим работы нагревателя устанавливается на 30-й минуте работы при температуре горячего теплообменника 280 °С и температуре выхлопных абгазов ~300 °С. При этом электрическая мощность нагревателя составляет в среднем 90 Вт, напряжение находится в пределах 10 – 12 В.

Стационарный режим работы нагревателя (режим VI) обеспечивается при тепловой мощности источника тепла на уровне 3.6 кВт и расходе холодного теплоносителя равном 0.3 м<sup>3</sup>/ч. Однако для надежного запуска и стабильной работы обогревателя реализована схема плавного выхода на режим, при котором тепловая мощность горелки и расход топливовоздушной смеси увеличиваются постепенно (таблица).

На рис. 4 приведены зависимости максимальной электрической мощности  $P$  и КПД  $\eta$  нагревателя от температуры холодного теплоносителя  $T_{хол}$ .

Таким образом, исходная электрическая мощность термоэлектрического предпускового нагревателя составляет 80-100 Вт в интервале температур циркулирующего теплоносителя 30-70 °С. Итоговый КПД, включающий КПД как тепловой, так и электрической частей нагревателя, составляет 76.6% при  $T_{хол} = 30$  °С и по мере прогрева теплоносителя уменьшается до 76.2 % при  $T_{хол} = 70$  °С. Именно такое определение КПД в данном случае корректно, поскольку, наряду с получением электрической энергии, важно обеспечение необходимого уровня тепловой мощности, используемой для обогрева двигателя.

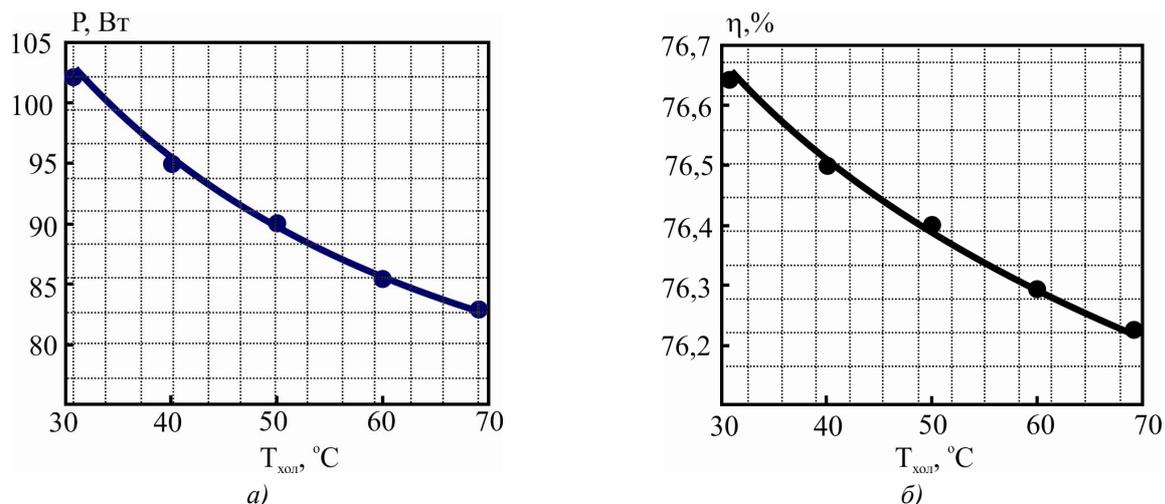


Рис. 4. Зависимость максимальной электрической мощности  $P$  (а) и КПД  $\eta$  (б) от температуры холодного теплоносителя.

Распределение электрической мощности по компонентам нагревателя показано на рис. 5.

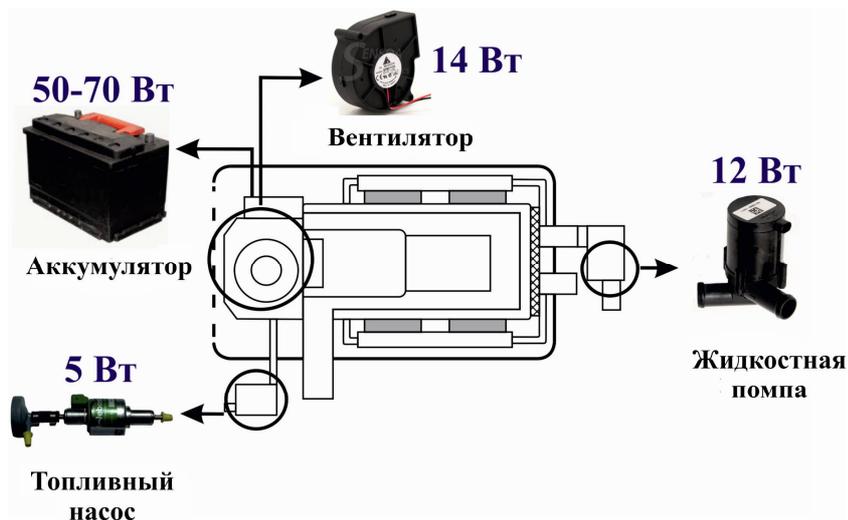


Рис. 5. Распределение электрической мощности по компонентам нагревателя [14].

Итак, если учесть, что суммарная потребляемая электрическая мощность компонент нагревателя равна ~ 30 Вт (топливный насос 5 Вт, вентилятор 14 Вт, жидкостная помпа 12 Вт), на подзарядку аккумулятора может использоваться 50 – 70 Вт электричества термогенератора.

Результаты исследований работы термоэлектрического предпускового источника тепла в паре с автомобильным аккумулятором приведены на рис. 6-10. Устройство и

запрограммированные алгоритмы электронного блока, управляющего режимами работы нагревателя, аналогичны его первому варианту [15]. Единственное отличие состоит в наличии двух дополнительных режимов работы (V и VI, таблица), которые реализуются путем постепенного уменьшения периода подачи топлива топливным насосом [16].

Из приведенных данных следует, что зависимости температур и электрических параметров нагревателя от времени его работы практически аналогичны. После включения прибора до момента достижения заданной температуры теплоносителя электронный блок постепенно увеличивает тепловую мощность источника тепла до максимальной. При этом, соответственно, наблюдается возрастание температур  $T_{хол}$ ,  $T_{гор}$ ,  $T_{газ}$  и переход из режима питания компонент от аккумулятора в режим питания от термогенератора. По мере увеличения выходной электрической мощности генератора электронный блок направляет излишек электрической энергии на подзарядку аккумуляторной батареи.

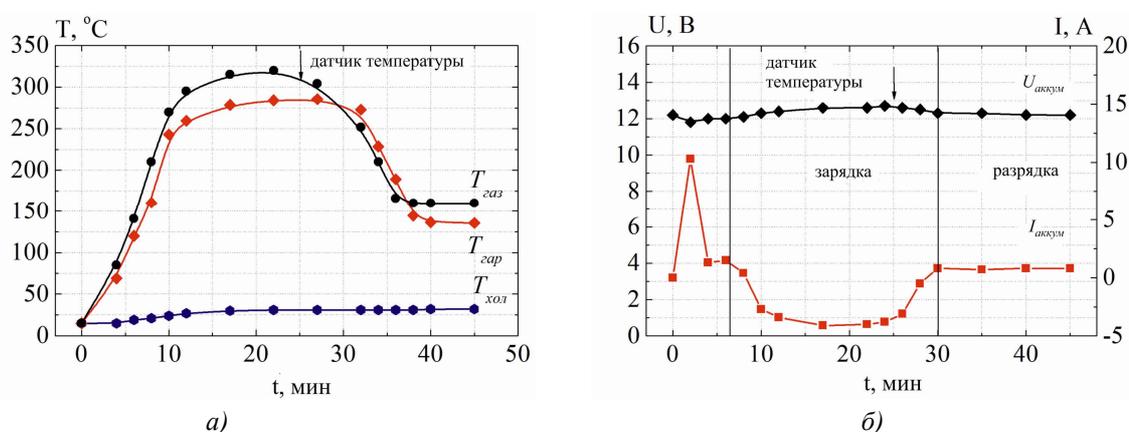


Рис. 6. Результаты исследований работы термоэлектрического автомобильного нагревателя с электронным блоком управления:  $T_{газ}$  – температура исходных газов;  $T_{гор}$  – температура горячего теплообменника;  $T_{хол}$  – температура холодного теплообменника;  $U_{аккумулятор}$  – напряжение аккумулятора;  $I_{аккумулятор}$  – ток в цепи «нагреватель – аккумулятор». Установившаяся температура теплоносителя  $30^{\circ}\text{C}$ .

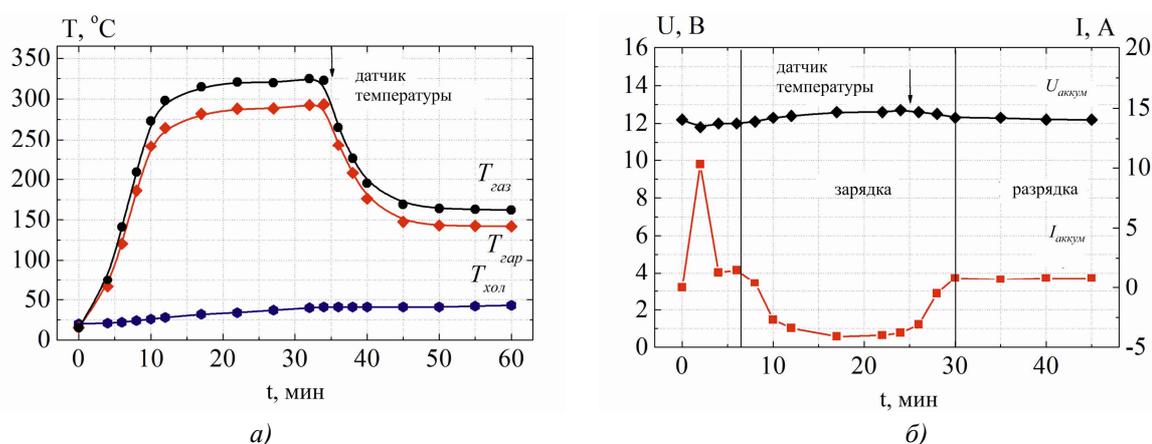


Рис. 7. Результаты исследований работы термоэлектрического автомобильного нагревателя с электронным блоком управления. Установившаяся температура теплоносителя  $40^{\circ}\text{C}$ . Обозначения аналогичные использованным на рис. 6.

При достижении заданной температуры теплоносителя электронный блок в соответствии с исходным сигналом цифрового термодатчика увеличивает период подачи топлива к горелке – нагреватель начинает работать в режиме поддержки заданной температуры. При этом температуры горячего теплообменника и температура абгазов падают, а температура на холодных теплообменниках стабилизируется. Следует отметить, что в таком режиме работы генерированной термоэлектрическими модулями мощности недостаточно для подзарядки аккумулятора, поэтому электронный блок путем изменения направления тока в цепи «нагреватель – аккумулятор» переключает питание компонент от модулей обратно к аккумулятору. При этом ток разрядки аккумулятора составляет всего ~ 0.5 А, что в сравнении с его емкостью является, безусловно, весьма незначительной величиной (для примера, ток разрядки при работе жидкостного предпускового нагревателя «Webasto Thermo Top Evo 4» на порядок больше – 3-5 А). Поэтому можно утверждать, что в режиме поддержания температуры теплоносителя нагреватель фактически работает без использования энергии аккумулятора.

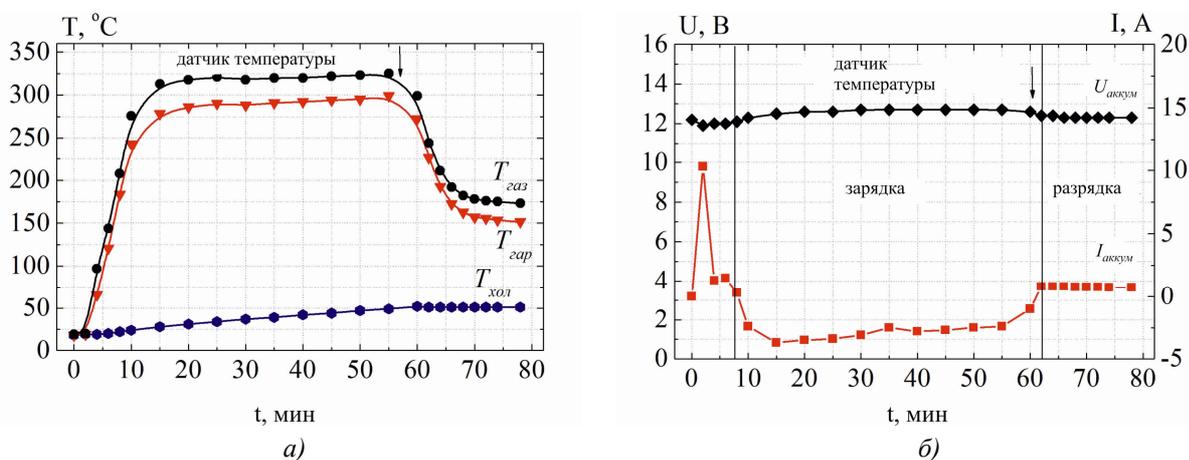


Рис. 8. Результаты исследований работы термоэлектрического автомобильного нагревателя с электронным блоком управления. Установившаяся температура теплоносителя равна 50°C. Обозначения аналогичны использованным на рис. 6.

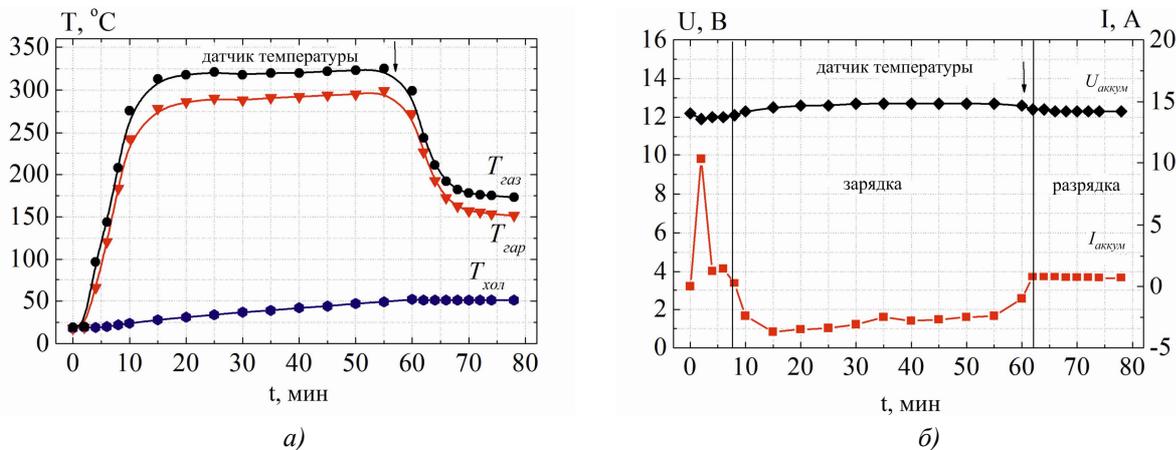


Рис. 9. Результаты исследований работы термоэлектрического автомобильного нагревателя с электронным блоком управления. Установившаяся температура теплоносителя равна 60°C. Обозначения аналогичны использованным на рис. 6.

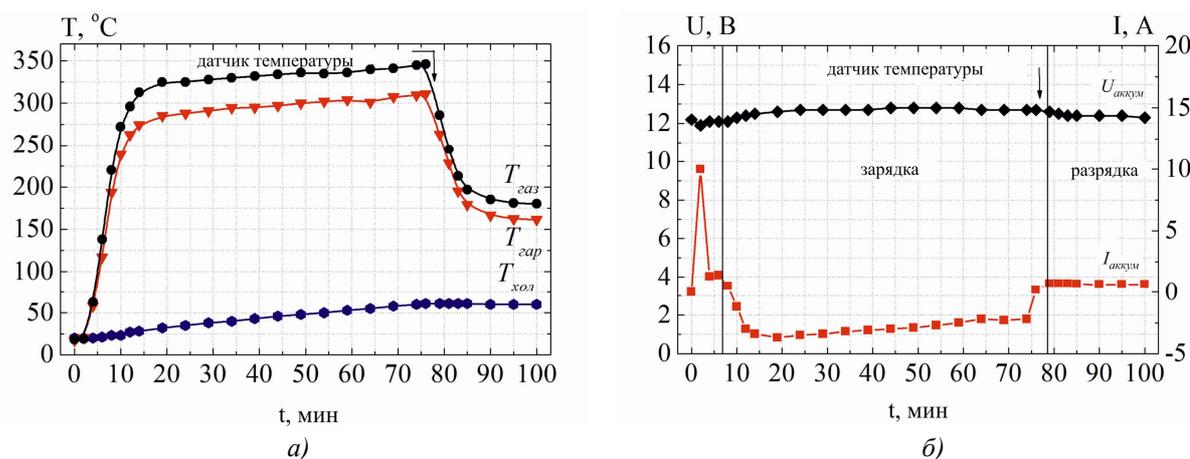


Рис. 10. Результаты исследований работы термоэлектрического автомобильного нагревателя с электронным блоком управления. Установившаяся температура теплоносителя равна 70°C. Обозначения аналогичны использованным на рис. 6.

Таким образом, за время работы нагревателя излишек электрической энергии генератора, используемый для зарядки аккумулятора, составляет 30 – 40 Вт. В резерве остается около 20 – 30 Вт электрической мощности, которая дополнительно может использоваться для питания другого автомобильного оборудования во время предпускового подогрева. Однако эта величина будет непостоянной и будет определяться степенью заряженности аккумуляторной батареи автомобиля [17].

Нужно также заметить, что в ходе исследований искусственно создавалась аварийная ситуация при работе нагревателя путем поочередного отключения от питания топливного насоса, вентилятора, циркуляционной помпы. Результаты подтверждают рациональность избранного алгоритма для защиты системы от перегревов и других опасных ситуаций: электронный блок инициализирует ошибку в работе нагревателя (исчезновение пламени в камере сгорания, перегрев холодной стороны модулей и др.) и останавливает его работу – нагреватель переходит в режим «продувки». При этом на панели управления отображается сигнал о соответствующем типе ошибки.

## Выводы

1. Доказано соответствие тепловых и электрических параметров термоэлектрического предпускового источника тепла его проектным характеристикам.
2. Установлено, что использование модифицированных термоэлектрических модулей "Алтек-1061" позволяет повысить теплопроизводительность термоэлектрического предпускового нагревателя в 1.5 – 2 раза, до уровня 3 кВт, в сравнении с его первоначальным вариантом.
3. Показано, что выходная электрическая мощность разработанного термоэлектрического предпускового источника тепла находится в пределах 80 – 100 Вт при температуре горячего теплообменника 280 °C и температурах холодного теплоносителя 30 – 70 °C. Максимальный итоговый КПД нагревателя 76.6 %.
4. Определено, что режим максимальной мощности нагревателя достигается при тепловой мощности источника тепла 3.6 кВт, расходах топлива 300 г/ч и воздуха 8.19 м<sup>3</sup>/ч. При этом расход холодного теплоносителя составляет 0.3 м<sup>3</sup>/ч.

5. Показан алгоритм работы электронного блока управления компонентами термоэлектрического нагревателя. При выходе нагревателя в автономный режим работы электронный блок отключает питание компонент от аккумулятора и по мере увеличения выходной электрической мощности генератора направляет излишек электрической энергии на подзарядку аккумулятора.
6. Установлено, что излишек электрической энергии, который может использоваться для подзарядки аккумулятора, составляет 50 – 70 Вт. Однако реальная величина тока зарядки будет определяться индивидуальной степенью заряженности аккумулятора.
7. Показано, что управление работой нагревателя осуществляется интеллектуальным алгоритмом контроля пламени, подачи воздуха и топлива и зарядки аккумулятора, который обеспечивает стабильную работу прибора и создает надежную систему защиты в случае возникновения аварийных ситуаций.

## Литература

1. Корчуганова М.А., Сырбаков А.П. Предпусковой жидкостный подогреватель дизельных двигателей на базе пускового двигателя ПД-10У // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1.
2. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. – В.С. Найман // Москва: АСТ, 2007. – с. 213.
3. Электронный ресурс <http://www.webasto-surgut.ru>
4. Михайловский В.Я., Максимук Н.В. Режимы работы автомобилей при сниженных температурах. Необходимость использования нагревателей и рациональность применения термогенераторов для их работы // Термоэлектричество. – 2014.- № 3.- С. 20-31.
5. Патент (UA) на изобретение № 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.
6. Патент (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.
7. Патент (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.
8. Михайловский В.Я., Максимук Н.В. Компьютерное проектирование термоэлектрического автомобильного предпускового нагревателя на дизельном топливе // Термоэлектричество. – 2016. – № 1. -С.52-66.
9. Анатычук Л.И., Михайловский В.Я., Максимук Н.В., Андрусак И.С. Экспериментальные исследования термоэлектрического автомобильного предпускового нагревателя на дизельном топливе // Термоэлектричество. – 2016. – № 4. – С.84-94.
10. Максимук Н.В. Об оптимизации термоэлектрических модулей автомобильного предпускового нагревателя // Термоэлектричество. – 2017. – № 1. – С.57-67.
11. Максимук Н.В. Проектирование автомобильного предпускового источника тепла с термоэлектрическим генератором. Дизельный вариант // Термоэлектричество. – 2017 – С. 32-43.
12. Webasto. UK Product Catalogue.

13. Электронный ресурс <http://www.deltaww.com>
14. Михайловский В.Я., Максимук Н.В. Рациональные мощности термогенераторов для предпусковых нагревателей транспортных средств // Термоэлектричество. – 2015 – № 4. – С. 65 - 74.
15. Максимук Н.В., Андрусак И.С. Электронный блок управления термоэлектрическим предпусковым автомобильным нагревателем // Термоэлектричество. – 2016 – № 5 С.65-74.
16. Патент (UA) № 90764 МПК F02N 19/00 Система управления предпусковым жидкостным нагревателем для двигателей внутреннего сгорания / Михайловский В.Я., Звоздецкий П.В., Максимук Н.В. – Опубл. 10.06.2014, бюл. № 11, Заявка u2013 15422 от 30.12.2013.
17. Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. – Справочник. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ. – 2005.

Поступила в редакцию 29.02.2018

### M.V. Maksimuk

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

### BENCH TESTS OF THERMOELECTRIC STARTING PRE-HEATER FOR CARS

*The results of bench tests of the energy characteristics of thermoelectric heat source for start heating of vehicle engines at low ambient temperatures are presented. It is shown that the use of a thermoelectric converter as a source of electric power provides the autonomous operation of the pre-heater components and allows solving the problem of vehicle battery discharge during the operation of the start equipment. Bibl. 17, Fig. 10, Table. 1.*

**Key words:** starting pre-heater, thermoelectric generator.

### References

1. Korchuganova M.A., Syrbakov A.P. (2013). Predpuskovoi zhidkostnyi podogrevatel diselnykh dvigatelei na baze puskovogo dvigatelja PD-10U [Starting liquid pre-heater of diesel engines based on starting engine PD-10U]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniia – Modern Problems of Science and Education*, 1 [in Russian].
2. Naiman V.S. (2007). *Vse o predpuskovykh obogrevatelyakh i otopiteliakh [All about starting pre-heaters]*. Moscow: АСТ [in Russian].
3. Retrieved from <http://www.webasto-surgut.ru>
4. 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.
5. *Patent of Ukraine № 102303* (2013). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile. [in Ukrainian].

6. *Patent of Ukraine № 72304* (2012). Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
7. *Patent of Ukraine №124999* (2018). Maksimuk M.V. Automobile heater with thermoelectric power supply [in Ukrainian].
8. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2016). Computer design of thermoelectric automobile starting pre-heater operated with diesel fuel. *J. of Thermoelectricity*, 1, 52-65.
9. Anatyshuk L.I., Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V., Andrusiak I.S. (2016). Experimental research on thermoelectric automobile starting pre-heater operated with diesel fuel. *J. of Thermoelectricity*, 4, 84–94.
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. Webasto. UK Product Catalogue.
13. Retrieved from <http://www.deltaww.com>
14. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Rational powers of thermal generators for starting pre-heaters of vehicles. *J. of Thermoelectricity*, 4, 65-74.
15. Maksimuk M.V., Andrusiak I.S. (2016). Electronic control unit for thermoelectric automobile starting pre-heater. *J. of Thermoelectricity*, 5, 44-51.
16. *Patent of Ukraine № 90764* (2014). Mykhailovsky V.Ya., Zvozdetskyi P.V., Maksimuk M.V. Control system of starting liquid pre-heater for internal combustion engines [in Ukrainian].
17. Bubnov Yu.I., Orlov S.B. (2005). *Germetichnyie khimicheskiie istochniki toka: elementy i akkumulyatory. Oborudovaniie dlia ispytaniy i ekspluatatsii. – Spravochnik [Sealed chemical current sources: elements and batteries. Testing and operating equipment. - Handbook]*. Saint-Petersburg: Khimizdat [in Russian].

Submitted 29.02.2018