

**Анатичук Л.І.** *акад. НАН України*<sup>1,2</sup>  
**Лисько В.В.** *канд. фіз.-мат. наук*<sup>1,2</sup>



*Анатичук Л.І.*

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

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича,  
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна



*Лисько В.В.*

## **ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕДПУСКОВИХ НАГРІВАЧІВ ВЕЛИКИХ ПОТУЖНОСТЕЙ**

*Проаналізовано основні причини ускладненого запуску транспортних засобів за понижених температур навколишнього середовища. Визначено переваги та недоліки в застосуванні передпускового підігріву для покращення запуску двигуна автомобілів. Наведено принцип роботи та особливості конструкції передпускових нагрівачів загального використання та передпускових нагрівачів для бронетехніки. Обґрунтовано раціональність використання термоелектричних генераторів для роботи такого обладнання. Наведено результати досліджень термодинамічних особливостей систем передпускового розігріву двигуна внутрішнього згорання, в яких джерелами електричної енергії є термоелектричні генератори. Розглянуто фізичні схеми систем «передпусковий нагрівник – термогенератор» та проведено оцінку їхніх енергетичних характеристик. Визначено найефективніші варіанти застосування термоелектричних джерел електрики для передпускової підготовки двигунів транспортних засобів до експлуатації. Бібл. 31, рис. 7, табл. 1.*

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

### **Вступ**

Для подолання труднощів, пов'язаних із експлуатацією автомобілів при понижених температурах, все ширше використовуються різноманітні засоби теплової передпускової підготовки двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) [1, 2]. Найефективнішими серед таких засобів є передпускові нагрівники – полум'яні джерела тепла, що працюють від палива автомобілів та здійснюють розігрів охолоджуючої рідини двигунів. Крім надійного запуску ДВЗ використання передпускових нагрівників створює умови для економії в середньому біля 90-150 л палива за сезон, зменшує до 5 разів токсичність вихлопних газів під час розігріву двигуна та дозволяє збільшити моторесурс двигуна на 200-300 км за один пуск при розігріві від температури (-20 ÷ -30) °С [3, 4].

Важливим є передпусковий прогрів двигуна і для великогабаритної техніки, зокрема військового призначення. Основними причинами, які обумовлюють ускладнений запуск бронетанкової техніки за понижених температур навколишнього середовища є:

1. Збільшення в'язкості моторного масла на деталях шатунно-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

2. Підвищення в'язкості змазки в агрегатах трансмісії.
3. Застигання палива в паливопроводах, паливному фільтрі та інших частинах паливної системи.
4. Погіршення умов займання палива в циліндрах двигуна, що зв'язано із пониженням його випаровуваності та низькими температурами повітря, що надходить до циліндрів ДВЗ з навколишнього середовища.
5. Замерзання охолоджуючої рідини в системі охолодження двигуна.
6. Зменшення потужності стартер-генератора внаслідок зниження ємності акумуляторних батарей.
7. Перевитрата палива при холодному запуску ДВЗ, яке у місцях бойових дій не завжди є в наявності.

Вплив наведених факторів за понижених температур проявляється одночасно, що призводить до скорочення ресурсу роботи двигуна та передчасного виходу з ладу боездатних одиниць бронетанкової техніки. При цьому суттєво збільшується ймовірність виникнення раптових порушень та відмов в роботі техніки.

Визначальним фактором, що обмежує можливість масового використання передпускових нагрівників є розряд акумуляторної батареї під час роботи передпускового обладнання [5].

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 [6 – 12]. Ця ідея покладена в основу досліджень, що проводились в Інституті термоелектрики, спрямованих на створення термоелектричних передпускових джерел тепла для двигунів легкового автотранспорту [13 – 16]. 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 [17].

*Метою даної роботи є аналіз можливостей використання термоелектричних генераторів для транспортних передпускових нагрівачів великих потужностей, зокрема для бронетанкової техніки та вибір найбільш ефективної фізичної схеми для створення таких генераторів.*

### **Короткий опис нагрівачів великих потужностей**

Сучасні передпускові нагрівники тепловою потужністю від 15 кВт для дизельних двигунів наведено в таблиці 1. Провідними компаніями з цього напрямку є німецькі компанії Webasto та Eberspächer, російські – Теплостар та Шадринський автоагрегатний завод, канадська – PROHEAT [18-31].

Компанією Webasto (Німеччина) випускаються передпускові нагрівники тепловою потужністю до 35 кВт [18, 19]. Споживана електрична потужність таких підігрівачів складає 90-170 Вт без врахування потужності циркуляційного насоса. При цьому електрична потужність рекомендованих циркуляційних насосів типу U 4814 складає 104 Вт, типу U 4851 – 209 Вт. Таким чином, загальне енергоспоживання передпускових нагрівників компанії Webasto тепловою потужністю 16 - 35 кВт складає від 194 до 379 Вт.

Таблиця 1

## Передпускові нагрівники тепловою потужністю від 15 кВт для дизельних двигунів

Виробник	Модель	Вихідна теплова потужність, кВт	Споживана електрична потужність, Вт	Витрата палива, л/год.
Webasto (Німеччина)	DBW 160	16	90*	2.3
	DBW 230	23.3	110*	3.0
	DBW 300	30	130*	4.0
	DBW 350	35	170*	4.4
	* - без циркуляційного насоса (споживана електрична потужність рекомендованих циркуляційних насосів типу U 4814 – 104 Вт, U 4851 – 209 Вт)			
Eberspächer (Німеччина)	Hydronic L 16	16	60**	2
	Hydronic L 24	24	80**	2.9
	Hydronic L 30	30	105**	3.7
	Hydronic L 35	35	120**	4.2
	** - без циркуляційного насоса (споживана електрична потужність рекомендованих циркуляційних насосів типу Flowtronic 5000 – 104 Вт, Flowtronic 6000 SC – 210 Вт)			
Теплостар (РФ)	14 ТС-10	15	132	2
	20 ТС-Д38	20	200	2.5
	АПЖ – 30Д-24	30	336	3.7
АО «Шадринский автоагрегатный завод» (РФ)	ПЖД24Б	24	170	3.8
	ПЖД30	30	340	5
	ПЖД30Г	30	340	5
	ПЖД30Е	30	340	5
	ПЖД30Л	30	340	5
	ПЖД30М	30	340	5
	ОЖД30.8106010	30	140	3.8
	ПЖД44Ш	37	340	8.5
	ПЖД600	58	490	11.4
PROHEAT (Канада)	M50 12V	15	114***	1.8
	M50 24V	15	125***	1.8
	M80 12V	23	102***	3
	M80 24V	23	125***	3
	M90 24V	26	125***	3.1
	M105 24V	31	228***	4
	M125 24V	37	228***	4.2
	*** - без циркуляційного насоса			

Компанією Eberspächer (Німеччина) випускаються передпускові нагрівники L-серії тепловою потужністю від 16 до 35 кВт [20, 21]. Споживана електрична потужність таких підігрівачів складає 60-120 Вт без врахування потужності циркуляційного насоса.

Нагрівники Hydronic серії L – найпотужніші рідинні опалювачі від Eberspächer. Призначені для установки на транспорт з великим об'ємом двигуна і великим салоном. Hydronic L 30 / 35кВт пропонуються як з рознесеною, так і з компактною версією з вбудованими компонентами: водяним насосом, паливним фільтром, що економить час на установці. Підігрівач здатний працювати як на дизельному паливі, так і на мазуті.

Електрична потужність рекомендованих циркуляційних насосів: типу Flowtronic 5000 – 104 Вт, Flowtronic 6000 SC – 210 Вт. Таким чином, загальне енергоспоживання передпускових нагрівників Hydronic серії L від Eberspächer складає від 164 до 330 Вт.

Російська компанія Теплостар випускає три моделі передпускових нагрівників тепловою потужністю від 15 до 30 кВт – 14ТС-10, 20 ТС-Д38, АПЖ – 30Д-24 [22 – 24]. Споживана електрична потужність таких нагрівників – 132-336 Вт.

Шадринський автоагрегатний завод (РФ) випускає передпускові нагрівники тепловою потужністю до 58 кВт [25-29]. Споживана електрична потужність нагрівників тепловою потужністю від 24 до 58 кВт складає 170-490 Вт.

Компанією PROHEAT (Канада) випускаються передпускові нагрівники М-серії тепловою потужністю від 15 до 37 кВт [30]. Споживана електрична потужність таких підігрівачів складає 114-128 Вт без врахування потужності циркуляційного насоса.

Таким чином для експлуатації передпускових нагрівників, наведених в таблиці 1, необхідно до 500 Вт електричної енергії.

Передпусковий нагрівник в бронетанковій техніці використовується для розігріву охолоджувальної рідини в системі охолодження і масла в циркуляційному бачку перед запуском двигуна [31]. Він встановлений в бойовому відділенні танка і складається з котла і механізмів, що забезпечують подачу і спалювання палива (паливного насоса, вентилятора, форсунки, свічки розжарювання), водяного насоса і редуктора з ручним і електричним приводами.

Котел нагрівника циліндричної форми, суцільнозварної конструкції з нержавіючої сталі, що складається з корпусу, жарової труби і коробки змієвика.

Корпус котла і жарова труба мають подвійні циліндричні стінки, між якими утворюються внутрішні порожнини, які заповнюються охолоджувальною рідиною (водяний простір котла). Внутрішні порожнини корпусу і жарової труби з'єднуються між собою чотирма трубками.

Внутрішня передня частина корпусу котла разом з конусної кришкою утворює топку котла, а задня частина – газову камеру. Знизу до корпусу котла приварений випускний патрубок, що відводить продукти згорання через отвір в днищі танка назовні. Зверху до корпусу приварена коробка, в якій міститься змійовик для підігріву палива. Підігріта рідина надходить з корпусу котла в коробку змійовика через отвір, розташований у верхній частині корпусу.

Насосний вузол підігрівача включає в себе водяний насос; вентилятор, паливний насос і шестерний редуктор з ручним і електричним приводами. Весь цей вузол змонтований в загальному картері.

Водяний насос центробіжного типу служить для примусової циркуляції охолоджуючої рідини в системі підігріву. Вентилятор центробіжного типу подає повітря, необхідне для згорання палива в топці котла. Паливний насос плунжерного типу подає паливо до форсунки підігрівача. Керування насосним вузлом може здійснюватись механічно з використанням ручного приводу та електрично, від електродвигуна.

Центробіжна форсунка підігрівача призначена для розпилення палива в топці котла, яке розпалює свічка розжарення. Живлення свічки здійснюється від акумуляторної батареї напругою

24 В. У разі несправності свічки розжарення паливо можна запалювати факелом через верхнє праве отвір конуса, що закривається пробкою.

Для відключення підігрівача від системи охолодження (на літній період експлуатації танка) встановлюється кран відключення підігрівача.

При роботі нагрівника охолоджуюча рідина під дією водяного насоса підігрівача подається по трубопроводу і розгалужується на чотири паралельні потоки.

Перший потік проходить через двигун, розігріваче головки і блоки циліндрів і через водяний насос повертається в котел підігрівача.

Другий потік проходить по трубопроводу в змієвик циркуляційного масляного бачка, розігріваче масло в циркуляційному бачку і по кожусі забірною масляного трубопроводу повертається в котел підігрівача.

Третій потік проходить через водяний радіатор через водяний насос двигуна і по трубопроводу повертається в котел підігрівача.

Четвертий потік проходить з нагнітального трубопроводу підігрівача по трубці в порожнину маслозакачуючого насосу. З насосу рідина надходить в кожух забірною трубопроводу насосу і далі в котел підігрівача. В котлі рідина підігріваче і знову циркулює по зазначеним вище потокам.

Таким чином, в порівнянні із передпусковим нагрівником для традиційних транспортних засобів форсуночний танковий передпусковий нагрівник володіє рядом конструктивних та функціональних відмінностей, що робить його надійнішим та ефективнішим.

Такі та вдосконалені форсуночні передпускові нагрівники тепловою потужністю 30-70 кВт встановлено на багатьох танках розробки колишнього СРСР – Т-55, Т-64, Т-64А, Т-72 та ін. [32].

У сучасних бронетранспортерах встановлюються передпускові нагрівники, які використовуються і для іншої, цивільної, техніки – вантажних автомобілів, автобусів та спецтехніки з рідинною системою охолодження.

Оскільки для живлення основних функціональних компонент передпускових рідинних нагрівників необхідна електрична енергія, її джерелом є акумуляторна батарея бронетанкового транспортного засобу. При понижених температурах ( $-20 \div -40$  °С) ємність акумулятора знижується в 2 - 3 рази, що створює проблеми в забезпеченні електричною енергією як передпускових нагрівників, так і іншої апаратури, яка має працювати при непрацюючому двигуні. Така ситуація зумовлює ризики при запуску бронетанкової техніки, тому на практиці часто виникає необхідність в розігріві двигунів без використання передпускових нагрівників – паяльними лампами, гарячою водою, танковими пічками та ін. В бойових умовах це створює суттєві проблеми при експлуатації бронетанкової техніки. Тому, незважаючи на переваги в застосуванні рідинних передпускових нагрівників, що полягають, зокрема, в збільшенні моторесурсу двигуна та економії палива при його запуску, використання нагрівників, досі залишається проблематичним у зв'язку з їхньою неавтономною роботою.

Вирішити проблему неавтономної роботи передпускових нагрівників деякий час намагалися шляхом використання газотурбінного двигуна внутрішнього згорання в поєднанні з динамомашиною, якою здійснюється живлення акумуляторної батареї під час передпускового підігріву. Проте основним недоліком такої системи є підвищений рівень шуму та високі температури продуктів згорання, що є демаскуючими фактором в умовах бойових дій.

Для подолання цієї проблеми перспективним є використання термоелектричних джерела тепла та електрики, які окрім передпускового розігріву, здійснюють живлення функціональних компонент нагрівників. Тому для їхнього живлення електрична енергія акумуляторів не потрібна.

Для використання таких джерел тепла та електрики з метою покращення експлуатаційних можливостей бронетанкової військової техніки необхідною є електрична потужність термогенератора близько 300-500 Вт. Такі термоелектричні пристрої мають високий ресурс роботи, є надійними та стійкими до механічних навантажень і відповідають вимогам їх використання у військовій техніці.

У 1958-1969 рр. у ВНДІ-100 були проведені роботи зі створення танкового підігрівача з термоелектричним генератором [32]. Робота проводилася спільно з Інститутом напівпровідників АН СРСР і ЛПІ ім. М.І. Калініна. Передбачалося, що ТЕГ дозволить отримати електричну потужність приблизно 500 Вт, що дозволило б екіпажу танка підтримувати машину в стані боєготовності, обігрівати жилий відсік, розігрівати акумуляторні батареї і витратити частину електроенергії на підзарядку акумуляторів або для забезпечення роботи радіостанції в зимовий період, без пуску основного двигуна. Підігрівач мав теплову потужність близько 72 кВт, а електричну потужність – 340 Вт. Роботи по вдосконаленню ТЕГ у СРСР тривали до середини 1980-х рр., не були доведені до промислового зразка.

### Фізичні схеми передпускових нагрівачів та їх аналіз

На рис. 1 наведено фізичну модель системи передпускового розігріву двигунів, що містить рідинний передпусковий нагрівник та термоелектричний генератор, підведення тепла до яких здійснюється індивідуально, з використанням окремих джерел тепла.

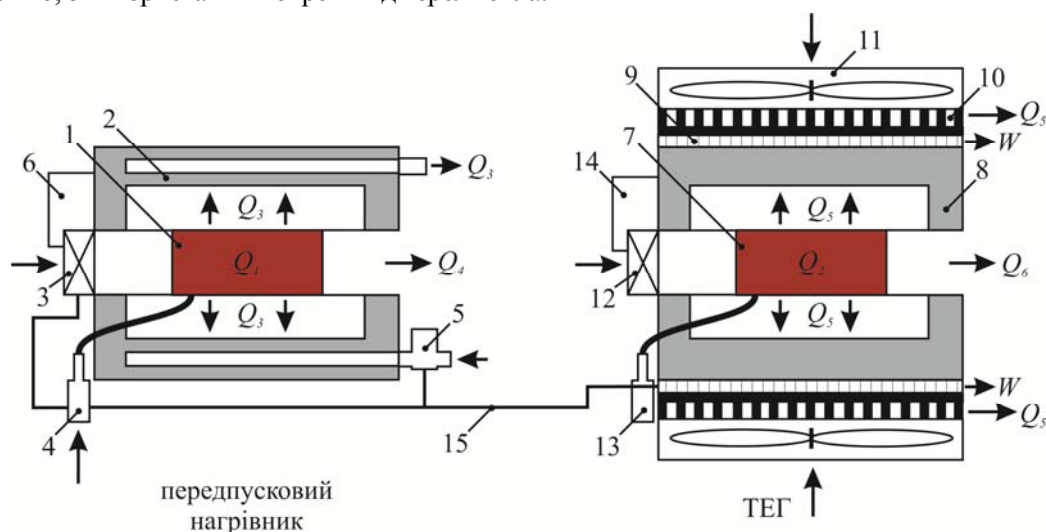


Рис. 1. Фізична модель системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор» з індивідуальними джерелами тепла: 1 – паливник передпускового нагрівника; 2 – теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника; 4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – циркуляційна помпа; 6 – електронний блок передпускового нагрівника; 7 – паливник термогенератора; 8 – гарячий теплообмінник; 9 – термоелектрична батарея; 10 – повітряний радіатор; 11 – вентилятор для відведення тепла; 12 – повітряний вентилятор термогенератора; 13 – паливний насос термогенератора; 14 – електронний блок термогенератора; 15 – засоби електричної комутації.

Рідинний передпусковий нагрівник складається з джерела тепла 1, що знаходиться у внутрішньому об'ємі теплообмінника 2. В якості джерела тепла використано полум'яний паливник, повітря та паливо до якого підводяться вентилятором 3 і насосом 4. В теплообміннику нагрівника виконано канали, в яких теплоносії нагрівається, після чого, шляхом прокачування циркуляційною помпою 5, надходить до двигуна автомобіля. Запуск та керування роботою компонент передпускового нагрівника (повітряного вентилятора, паливного насосу, циркуляційної помпи) здійснюється електронним блоком 6.

Термоелектричний генератор містить індивідуальний полум'яний пальник 7, гарячий теплообмінник 8 для підведення тепла до термоелектричної батареї 9 та систему відведення тепла, яка складається з повітряних радіаторів 10 і вентиляторів 11. Подача палива та повітря до джерела тепла термогенератора здійснюється вентилятором 12 та паливним насосом 13. Для стабілізації вихідної напруги термогенератора і керування його роботою в моделі ТЕГ передбачено електронний блок 14.

Працює термоелектричний генератор наступним чином. Теплова енергія, отримана внаслідок згоряння палива нагріває гарячий теплообмінник, проходить через термоелектричну батарею і відводиться в навколишнє середовище. Внаслідок різниці температур між гарячою і холодною сторонами термобатареї генерується електричний струм, що використовується для живлення передпускового нагрівника.

Таким чином, розглянута система забезпечує передпусковий нагрівник необхідною електричною енергією, практично не використовуючи акумулятор. Разом з тим така система може виконувати і додаткові функції, зокрема термогенератор може застосовуватись як додаткове джерело електричної енергії. Ця енергія може бути направлена при необхідності для зарядки акумулятора або інших потреб енергозабезпечення, наприклад для живлення різноманітних додаткових електричних пристроїв.

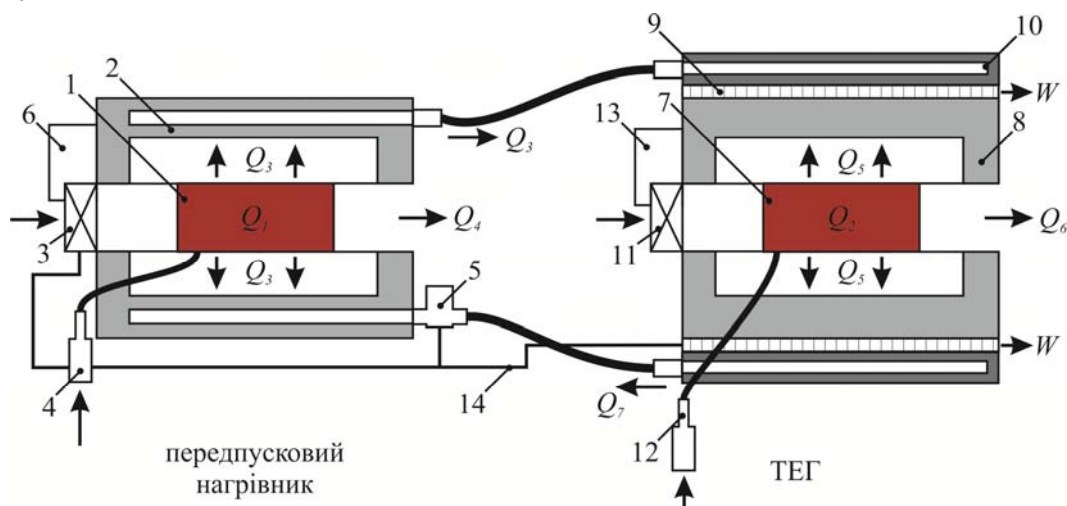


Рис. 2. Фізична модель системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор», з індивідуальними джерелами тепла та сумісним гідравлічним контуром:

- 1 – пальник передпускового нагрівника; 2 – теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника; 4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – циркуляційна помпа; 6 – електронний блок передпускового нагрівника; 7 – пальник термогенератора; 8 – гарячий теплообмінник; 9 – термоелектрична батарея; 10 – холодний рідинний теплообмінник; 11 – повітряний вентилятор термогенератора; 12 – паливний насос термогенератора; 13 – електронний блок термогенератора; 14 – засоби електричної комутації.

На рис. 2 наведена схема системи «передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор», яка об'єднує передпусковий нагрівник і термоелектричний генератор єдиним гідравлічним контуром. У зв'язку з цим в системі охолодження термогенератора повітряні радіатори та вентилятори для відведення тепла від термобатареї замінено рідинними теплообмінниками 10, в яких циркулює теплоносія.

Оскільки тепловий потік  $Q_7$ , що відводиться від термобатареї, затрачається для нагріву теплоносія, дана система дозволяє здійснювати попередній розігрів двигуна як передпусковим нагрівником, так і з використанням термоелектричного генератора.

Фізична модель системи (рис. 3) з сумісним джерелом тепла містить гарячий теплообмінник 1, у внутрішньому об'ємі якого розташовано пальник 2. Подача палива та повітря до пальника здійснюється вентилятором 3 та паливним насосом 4. На зовнішній поверхні гарячого теплообмінника знаходиться термоелектрична батарея 5, тепло від якої відводиться опалювальною рідиною, що циркулює в холодних теплообмінниках 6 шляхом прокачування рідиною помпою 7. Запуск та керування роботою нагрівника здійснюється електронним блоком 8.

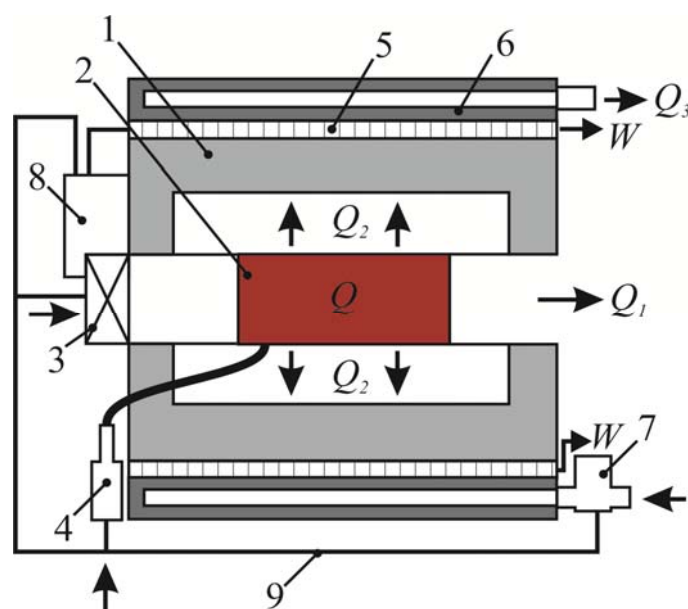


Рис. 3. Фізична модель системи "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла: 1 – пальник передпускового нагрівника; 2 – гарячий теплообмінник; 3 – повітряний вентилятор передпускового нагрівника; 4 – паливний насос передпускового нагрівника; 5 – термоелектрична батарея; 6 – холодний рідинний теплообмінник; 7 – циркуляційна помпа передпускового нагрівника; 8 – електронний блок; 9 – засоби електричної комутації.

Таким чином, в наведеній системі термоелектричний генератор і передпусковий нагрівник об'єднані в єдину конструкцію, що дає можливість отримувати електричну енергію та здійснювати розігрів двигуна одним тепловим потоком  $Q$ . При цьому частина тепла  $Q_1$  виноситься продуктами згорання в навколишнє середовище, а тепло  $Q_2$ , у вигляді теплової  $Q_3$ , та електричної  $W$  потужності, використовується для прогріву двигуна та живлення компонент нагрівника, а також, за необхідності, для підзарядки акумулятора під час передпускового підігріву.

Найвищими значеннями ККД характеризується система «термоелектричний генератор-передпусковий нагрівник» з сумісним джерелом тепла та система, в якій передпусковий нагрівник і ТЕГ об'єднані гідравлічним контуром. Очевидно, що система з сумісним джерелом тепла є дешевшою, що робить її використання більш ефективним. В той же час система з єдиним гідравлічним контуром може бути більш універсальною. У якості термоелектричного генератора для такого випадку може бути використано окремий термоелектричний передпусковий нагрівник нижчої теплової потужності, електричної вихідної потужності якого вистачить для живлення основного передпускового нагрівника. Такий нагрівник може бути встановлений окремо, у доступному місці бронетанкового транспортного засобу, що робить простішим його впровадження.



## Висновки

1. Розглянуто особливості конструкції передпускових нагрівачів загального використання та передпускових нагрівачів підвищених потужностей. Обґрунтовано можливість використання термоелектричних генераторів для роботи такого обладнання. Визначено необхідні електричні потужності таких генераторів – до 500 Вт.
2. Розглянуто фізичні схеми передпускових нагрівників з термоелектричними джерелами електрики. Найраціональнішими для передпускового розігріву двигунів внутрішнього згорання є система "передпусковий нагрівник-термоелектричний генератор" з сумісним джерелом тепла та система, що об'єднує передпусковий нагрівник і термогенератор одним гідравлічним контуром.

## Література

1. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - М.: Наука, 2001, 535 с.
2. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
3. Матюхин Л.М. Теплотехнические устройства автомобилей: учеб. пособие / Л.М. Матюхин, – М.: МАДИ, 2009. – с.89.
4. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. – В.С. Найман // Москва: АСТ, 2007. – с. 213.
5. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Режими роботи автомобілів при понижених температурах. Необхідність використання нагрівачів та раціональність застосування термо-генераторів для їх роботи // Термоелектрика. – 2014.- №3.- С. 20-31.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
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. – Опубл. 20.01.2006, бюл. №02, Заявка 2005101942/06 от 27.01.2005.
12. Михайловський В.Я., Максимук М.В. Раціональні потужності термогенераторів для передпускових нагрівачів транспортних засобів // Термоелектрика. – №4.– 2015. – С.65-74.
13. Максимук М.В. Про оптимізацію термоелектричних модулів автомобільного передпускового нагрівника // Термоелектрика. – 2017. – №1. – С.57–67.
14. Максимук М.В. Проектування автомобільного передпускового джерела тепла з термоелектричним генератором. Дизельний варіант // Термоелектрика. – 2017. – С.32-43.

15. Максимук М.В. Проектування автомобільного передпускового джерела тепла з термоелектричним генератором // Вісник НТУУ "КПІ". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2017. – Вип. 54(2) – С.53-60.
16. Максимук М.В. Стендові дослідження термоелектричного передпускового джерела тепла для автомобілів // Термоелектрика. – 2018. – №1.
17. Webasto. Веб-сайт: <https://www.webasto.com>.
18. Жидкостный подогреватель DBW 160/230/300/350. Инструкция по монтажу.
19. Eberspächer. Веб-сайт: <https://www.eberspacher.com>.
20. Автономные отопительные приборы HYDRONIC L-II. Техническое описание, руководство по монтажу, эксплуатации и техобслуживанию.
21. ООО «Теплостар». Веб-сайт: <https://teplostar.inni.info>.
22. Подогреватель предпусковой дизельный 14ТС – 10 – М5. Руководство по эксплуатации АДВР.036.00.00.000 РЭ.
23. Подогреватель предпусковой дизельный 20ТС-Д38. Руководство по эксплуатации АДВР.038.00.00.000 РЭ.
24. Подогреватель автоматизированный жидкостный АПЖ – 30Д-24. Руководство по эксплуатации АДВР.056.00.00.000 РЭ.
25. АО "Шадринский автоагрегатный завод". Веб-сайт: <http://shaaz.biz>.
26. Подогреватели жидкостные дизельные ПЖД24Б. Руководство по эксплуатации ПЖД24Б - 1015006 - 30 РЭ.
27. Подогреватель жидкостный дизельный ПЖД30. Руководство по эксплуатации ПЖД30-1015006 РЭ.
28. Отопитель независимый жидкостный ОЖД30.8106010. Руководство по эксплуатации ОЖД30.8106010 РЭ.
29. Подогреватель жидкостный типа ПЖД600, ПЖД44Ш. Руководство по эксплуатации ПЖД600-1015008 РЭ.
30. PROHEAT. Веб-сайт: <http://www.proheat.com>.
31. Руководство по материальной части и эксплуатации танка Т-54. – Военное издательство Министерства обороны СССР. – Москва. – 1969.
32. М.В. Павлов. Отечественные бронированные машины 1945–1965 гг. (XVII) // «Техника и вооружение. Вчера, сегодня, завтра...», №11, 2009 г.

Надійшла до редакції 05.06.2019

**Анатичук Л.І.** *акад. НАН України*<sup>1,2</sup>

**Лисько В.В.**, *канд. физ.-мат. наук*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Інститут термоелектричності НАН і МОН України,  
ул. Науки, 1, Черновці, 58029, Україна, *e-mail: anatyuch@gmail.com*;

<sup>2</sup>Черновицький національний університет ім. Ю.Федьковича,  
ул. Коцюбинського, 2, Черновці, 58012, Україна

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПУСКОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

*Проанализированы основные причины осложненного запуска транспортных средств при пониженных температурах окружающей среды. Определены преимущества и недостатки в применении предпускового подогрева для улучшения запуска двигателя автомобилей. Приведены принцип работы и особенности конструкции предпусковых нагревателей общего пользования и предпусковых нагревателей для бронетехники. Обоснована рациональность использования термоэлектрических генераторов для работы такого оборудования. Приведены результаты исследования термодинамических особенностей систем предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания, в которых источниками электроэнергии являются термоэлектрические генераторы. Рассмотрены физические схемы систем «предпусковой нагреватель - термогенератор» и проведена оценка их энергетических характеристик. Определены наиболее эффективные варианты применения термоэлектрических источников электричества для предпусковой подготовки двигателей транспортных средств к эксплуатации. Библиография: 32, рис. 3, табл. 1.*

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

**L.I. Anatyshuk** *acad. National Academy of Sciences of Ukraine*<sup>1,2</sup>,  
**V.V. Lysko**, *cand. phys.-math. sciences*<sup>1,2</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](mailto:anatysh@gmail.com);

<sup>2</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

## ON THE POSSIBILITY OF USING THERMOELECTRIC GENERATORS FOR HIGH-POWER TRANSPORT STARTING PRE-HEATERS

*The main reasons for the complicated start-up of vehicles at low ambient temperatures are analyzed. The advantages and disadvantages of using pre-heating to improve engine start-up are identified. The principle of operation and design features of general-purpose pre-heaters and pre-heaters for armored vehicles are given. The rationality of using thermoelectric generators for the operation of such equipment is substantiated. The results of studies on the thermodynamic features of preheating systems for an internal combustion engine, in which the sources of electricity are thermoelectric generators, are presented. The physical schemes of the “pre-heater-thermogenerator” systems are considered and their energy characteristics are evaluated. The most effective applications of thermoelectric sources of electricity for engine start training for operation are determined. Bibliography: 32, Fig. 3, table 1.*

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

**References**

1. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M., et al. (2001). *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia avtomobilei. Uchebnik dlia vuzov. 4 izdaniie, pererabotannoie i dopolnennoie [Technical operation of cars. College textbook. 4<sup>th</sup> ed., revised and enlarged]*. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Reznik L.G., Romalis G.M., Charkov S.T. (1989). *Effektivnost ispolzovaniia avtomobilei v razlichnykh usloviakh ekspluatatsii [Efficiency of using cars in various operating conditions]*. Moscow: Transport [in Russian].
3. Matiukhin L.M. (2009). *Teplotekhnicheskiiie ustroistva avtomobilei: uchebnoie posobiie [Thermotechnical devices of cars: Manual]*. Moscow: MADI [in Russian].
4. Naiman V.S. (2007). Vse o predpuskovykh obogrevateliakh i opotiteliakh [All about starting pre-heaters]. Moscow: ACT [in Russian].
5. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Automobile operating conditions at low temperatures. The necessity of applying heaters and the rationality of using thermal generators for their work]. *J. of Thermoelectricity*, 3, 20–31.
6. *Patent of Ukraine № 102303* (2013). Anatyuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Thermoelectric power supply for automobile [in Ukrainian].
7. *Patent of Ukraine №72304* (2012). Anatyuk L.I., Mykhailovsky V.Ya. Automobile heater with a thermoelectric power supply [in Ukrainian].
8. *Patent of Ukraine №124999* (2018). Maksimuk M.V. Automobile heater with a thermoelectric power supply [in Ukrainian].
9. *Pat. US6527548B1* (2003). Kushch Aleksandr S., Allen Daniel. Self-powered electric generating space heater.
10. *Pat. US2010/0115968A1*. Budde John, Baade Jeans, Stelter Michael. Heating apparatus comprising a thermoelectric device.
11. *Patent (RU) 2268393C1* (2006). Prilepo Yu.P. Device for facilitating internal combustion engine start [in Russian].
12. Mykhailovsky V.Ya., Maksimuk M.V. (2015). Rational powers of thermal generators for starting pre-heaters of vehicles. *J. Thermoelectricity*, 4, 65-74.
13. Maksimuk M.V. (2017). On the optimization of thermoelectric modules of automobile starting pre-heater. *J. Thermoelectricity*, 1, 57–67.
14. Maksimuk M.V. (2017). Design of automobile starting pre-heater with a thermoelectric generator. Diesel version. *J. Thermoelectricity*, 2, 32-43.
15. Maksimuk M.V. (2017). Design of automobile starting pre-heater with a thermoelectric generator. *Visnyk NTUU KPI. Series INSTRUMENTATION*, 54(2), 53-60.
16. Maksimuk M.V. (2018). Bench tests of thermoelectric starting pre-heater for cars. *J. Thermoelectricity*, 1
17. Webasto.WEB-site: <https://www.webasto.com>.
18. Liquid heater DBW 160/230/300/350. Assembly instruction.
19. Eberspächer. WEB-site: <https://www.eberspacher.com>.
20. Autonomous heating devices HYDRONIC L-II. Technical description, assembly, operation and maintenance instruction.
21. “TEPLOSTAR” Ltd. WEB-site: <https://teplostar.inni.info>.
22. Diesel starting pre-heater 14TC – 10 – M5. Operation instruction АДВР.036.00.00.000 РЭ.
23. Diesel starting pre-heater 20TC-Д38. Operation instruction АДВР.038.00.00.000 РЭ.
24. Automated liquid pre-heater АПЖ – 30Д-24. Operation instruction АДВР.056.00.00.000 РЭ.
25. JSC “Shandrinsk Automotive Components Factory”. WEB-site: <http://shaaz.biz>.

26. Diesel pre-heaters ПЖД24Б. Operation instruction ПЖД24Б - 1015006 - 30 РЭ.
27. Diesel liquid pre-heater ПЖД30. Operation instruction ПЖД30-1015006 РЭ.
28. Autonomous liquid heater ОЖД30.8106010. Operation instruction ОЖД30.8106010 РЭ.
29. Liquid pre-heater of the type ПЖД600, ПЖД44Ш. Operation instruction ПЖД600-1015008 РЭ.
30. PROHEAT. WEB-site: <http://www.proheat.com>.
31. Rukovodstvo po materialnoi chasti i ekspluatatsii tanka T-54 [Guidance on the material part and operation of tank T-54 ]. Moscow: Military Publ. of the USSR Defense Ministry, 1969 (in Russian).
32. Pavlov M.V. (2009). *Otechestvennyie bronirovannyye mashiny 1945-1965 (XVII) [Home armoured machines 1945–1965 (XVII)]. Tekhnika i vooruzheniie. Vchera, segodnia, zavtra... - Equipment and Weapons. Yesterday, today, tomorrow... ” 11, 2009[in Russian].*

Submitted 05.06.019