

## ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПУСКУ ХОЛОДНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

*Трифонов Д.М.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [voin1@i.ua](mailto:voin1@i.ua), [orcid.org/0000-0001-8744-8657](https://orcid.org/0000-0001-8744-8657)

*Сирота О.В.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [cirshu@gmail.com](mailto:cirshu@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-8715-7307](https://orcid.org/0000-0001-8715-7307)

*Шуба С.В.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [shuba90@i.ua](mailto:shuba90@i.ua), [orcid.org/0000-0003-2036-8024](https://orcid.org/0000-0003-2036-8024)

*Мержисєвська Л.П.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [lpm.dvz@gmail.com](mailto:lpm.dvz@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-9674-6517](https://orcid.org/0000-0001-9674-6517)

## POWER SUPPLY FOR STARTING A COLD INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING A THERMOELECTRIC GENERATOR

*Trifonov D.N.*, Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [voin1@i.ua](mailto:voin1@i.ua), [orcid.org/0000-0001-8744-8657](https://orcid.org/0000-0001-8744-8657)

*Syrota O.V.*, Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [cirshu@gmail.com](mailto:cirshu@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-8715-7307](https://orcid.org/0000-0001-8715-7307)

*Shuba Y.V.*, Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [shuba90@i.ua](mailto:shuba90@i.ua), [orcid.org/0000-0003-2036-8024](https://orcid.org/0000-0003-2036-8024)

*Merzhievskaya L.P.*, Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [lpm.dvz@gmail.com](mailto:lpm.dvz@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-9674-6517](https://orcid.org/0000-0001-9674-6517)

### Вступ

Енергетична безпека держави значно залежить від широкого використання нетрадиційних джерел енергії. У наш час існує нагальна потреба в економії неповновловальних ресурсів. Тому пошук та застосування нових видів і джерел енергії є ключовим питанням сучасної науки.

Автомобільний транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного і економічного розвитку, який споживає значну кількість паливо-енергетичних ресурсів (ПЕР) і чинить вагомий вплив на довкілля.

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам щодо паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування умов, в яких відбувається його експлуатація. Значний вплив на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля чинять природно-кліматичні фактори. Основною проблемою експлуатації транспортного засобу в умовах низьких температур оточуючого повітря є забезпечення надійного і безаварійного пуску холодного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

Двигун внутрішнього згорання є одним з найбільш ефективних та універсальних джерел механічної енергії автомобілів, об'єктів будівельної та сільськогосподарської техніки, стаціонарних енергетичних установок і т.ін. Як ПЕР для транспортних засобів використовують непоновловані джерела енергії.

Економію ПЕР можна забезпечити утилізацією частини вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), які виникають у великих обсягах під час роботи ДВЗ. Потенціал енергозбереження у разі використання ВЕР дуже великий і може становити до 40 % від витрати первинних ПЕР.

Одним з таких видів ПЕР є відпрацьовані гази (ВГ) ДВЗ. З ВГ втрачається до 40% теплової енергії, отриманої від згорання палива, температура яких може становити близько +350...700°C.

Багато дослідників визнають, що рекуперація частини теплової енергії ВГ двигуна є найбільш ефективним заходом, що дозволяє зменшити загальну питому витрату палива, забезпечуючи, разом з тим, збільшення загальної потужності енергетичної установки і зменшення негативного впливу транспортного засобу на довкілля. Проведені дослідження [1], показали, що перетворення 6% теплової енергії ВГ в електричну дозволяє скоротити споживання палива до 10%.

Завдяки останнім технологічним досягненням системи рекуперації ВЕР стали більш економічно ефективними, а посилення екологічних та паливно-економічних вимог до транспортних

засобів зробили їх необхідними, через те, що дозволяють підвищити ефективність використання ПЕР транспортним засобом, зважаючи на його призначення і умови експлуатації.

У зв'язку з цим, підвищення енергоефективності енергетичної установки транспортного засобу, перш за все, в результаті зменшення втрат ВЕР, є актуальною задачею і одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень в цій галузі.

#### Постановка задачі

Задачею дослідження є визначення ефективності застосування термоелектричної системи, яка в процесі функціонування дозволяє підтримувати оптимальну температуру акумуляторної батареї під час утримування автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря, що створює необхідні умови для поліпшення пуску холодного ДВЗ. Як джерело теплоти в запропонованій системі застосовано тепловий акумулятор фазового переходу (ТАФП), що надає можливість генерації електричної енергії на досить тривалий час після закінчення циклу функціонування ДВЗ (властивості ТАФП визначають теплофізичні характеристики теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ), його кількість і умови теплообміну з оточуючим повітрям).

#### Результати досліджень

Як було зазначено, рекуперацію теплової енергії ВГ двигуна вважають одним з найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності енергетичної установки і досягати її можна різними методами [2-7]. Зокрема, генерування електричної енергії утилізацією теплової енергії ВГ термоелектричними генераторами (ТЕГ).

Термоелектричні генератори є перспективними в розвитку енергоефективних технологій в галузі автомобільного транспорту, про що свідчить наявність великої кількості публікацій присвячених різним аспектам використання ТЕГ (рис. 1).

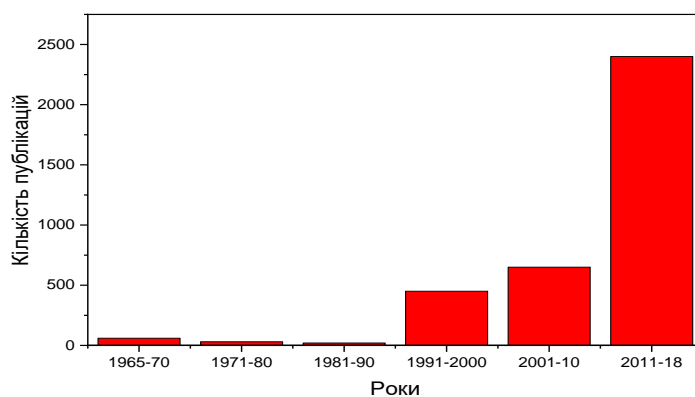


Рисунок 1 – Кількість робіт, опублікованих за окремі десятиліття, починаючи з 1965 року на тему «Термоелектричний генератор» [7]

Figure 1 – Number of papers published in individual decades since 1965 on the topic of «Thermoelectric Generator» [7]

Для ДВЗ, при безгаражному утримуванні автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря та з тривалими періодами простою, актуальним є питання безаварійного пуску холодного двигуна та зменшення часу на відновлення його теплового режиму.

За умови зниження температури оточуючого повітря різко погіршується функціонування електростартерної системи пуску. Це обумовлено погіршенням дієздатності стартерної акумуляторної батареї через зниження її температури [8-11].

Для надійного пуску двигуна частота обертання його колінчастого вала має бути не менша за мінімальну пускову частоту, яка здатна забезпечити необхідний процес підготовки робочої суміші до займання.

Мінімальна пускова частота обертання колінчастого ( $n_{min}$ ) вала залежить: від температури оточуючого повітря ( $t_0$ ) (рис. 2), наявності системи передпускової теплової підготовки холодного двигуна до пуску (або системи, що полегшує його пуск), його конструкції, технічного стану і т.ін [12,13].

Досягнення пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна великою мірою ускладнено внаслідок погіршення енергетичних можливостей акумуляторної батареї (рис. 3), яке відбувається, в першу чергу, через зміну її внутрішнього опору (в результаті зниження температури).

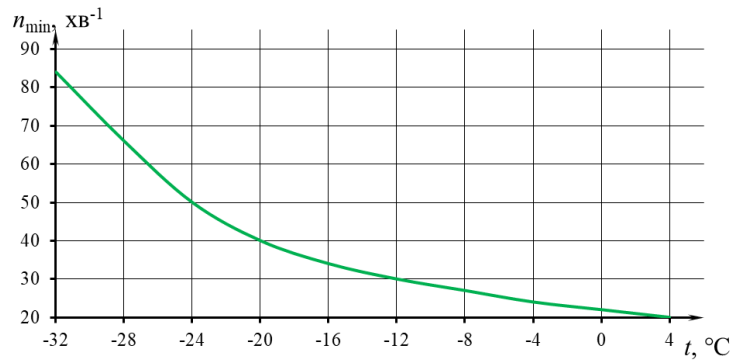


Рисунок 2 – Графік зміни мінімальної пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна від температури оточуючого повітря [12, 13]  
 Figure 2 – Graph of the change of the minimum starting frequency of the engine crankshaft from the ambient temperature [12, 13]

При зниженні температури сила розрядного струму і внутрішній опір акумуляторної батареї досить інтенсивно зростають. Опір пластин і перемичок практично не залежить від температури, а опір електроліту і внутрішній опір сепараторів з пониженням температури збільшуються.

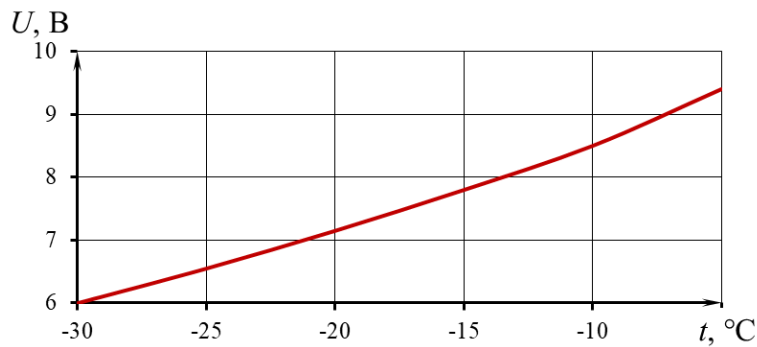


Рисунок 3 – Залежність напруги повністю зарядженої акумуляторної батареї від температури оточуючого повітря в стартерному режимі [8]  
 Figure 3 – Dependence of the voltage of a fully charged battery on the ambient temperature in the starter mode [8]

Великий вплив на внутрішній опір акумуляторної батареї чинить опір електроліту, який визначає його температура і густина. Зі зниженням температури електроліту від плюс 30°C до мінус 40°C його питомий опір зростає в 6...8 разів [14 – 16].

Таким чином, зменшення температури електроліту призводить до значного зменшення напруги на клеммах АБ, що знижує потужність стартера, яку він розвиває в процесі пуску холодного двигуна. Крім того, зменшення температури електроліту на кожен 1°C в зоні позитивних температур спричиняє зниження ємності приблизно на 0,6...1,0%, а при негативних температурах і збільшених розрядних токах до 2% і більше. Причина цього полягає в більшій в'язкості електроліту, що ускладнює його проникнення у внутрішні шари активної маси. Так, ємність батареї 6СТ-190ТР при розряді струмом 9,5 А і температурі електроліту плюс 30°C становить 102% від номінального значення, а при мінус 40°C лише 35%. При розряді струмом 500А і температурі плюс 30°C ємність зменшується до 40% від номінальної, а при мінус 40°C майже до 6% [10]. Тому головним завданням забезпечення ефективного функціонування акумуляторної батареї слід вважати підтримування її оптимальної температури.

На практиці існує досить багато методів підтримування оптимальної температури АБ в умовах низьких температур. Однак, більша частина з них потребує вирішення складних конструктивних і технічних завдань та в умовах експлуатації є малоефективними або досить енерговитратними. Тому в розглянемо ті, які ґрунтуються на методах терморегулювання АБ завдяки використанню вторинних енергетичних ресурсів ДВЗ, які виникають (у великих кількостях) в процесі його роботи, зокрема використання теплової енергії відпрацьованих газів.

Виходячи з поставленої задачі доцільно використовувати не всю теплову енергію відпрацьованих газів, а її частину, акумульовану в ТАФП, що надає можливість генерації електричної енергії як під час функціонування ДВЗ так і після завершення роботи.

Відповідно до обраної схеми утилізації теплової енергії ВГ, теплова модель запропонованої термоелектричної системи зображена на рис. 4.



Рисунок 4 – Схема потоків теплової енергії в запропонованій термоелектричній системі утилізації частини теплової енергії ВГ з тепловим акумулятором фазового переходу  
Figure 4 – Scheme of thermal energy flows in the proposed thermoelectric system for utilization of part of the thermal energy of HV with a thermal accumulator phase transition

В поєсі роботи ДВЗ частина теплової енергії від ВГ переходить до ТАФП, в якому акумулюється. Під час перебування автомобіля в умовах низьких температур (після закінчення циклу функціонування ДВЗ) частина теплової енергії, акумульованої в ТАФП, надходить до «гарячих» спаїв ТЕГ і далі від «холодних» спаїв ТЕГ в навколишнє середовище.

Зважаючи на висловлені передумови, авторами запропонована термоелектрична система для підвищення технічної готовності транспортного засобу (зокрема системи електричного пуску ДВЗ) в умовах низьких температур – компенсацією теплових втрат акумуляторної батареї методом термостатування з використанням зовнішніх нагрівальних елементів.

В запропонованій системі застосовано двоходовий ТАФП кожухотрубчатого типу з коробчастим кожухом, що забезпечує простоту конструкції і надійність [17].

Основним елементом запропонованої термоелектричної системи є термоелектричний генератор, що складається з термоелектричних модулів з'єднаних послідовно, принцип дії яких заснований на ефекті Зеебека (рис. 5).

На підставі проведеного аналізу можливих електронагрівальних матеріалів для підтримання оптимальної температури АБ, як зовнішній електронагрівач застосовано вуглецево волокнистий матеріал.

Запропонована система (рис. 6) складається з ТАФП, термоелектричного генератора, нагрівального елемента штатної АБ, буферної АБ та виносних датчиків контролю температур елементів системи.

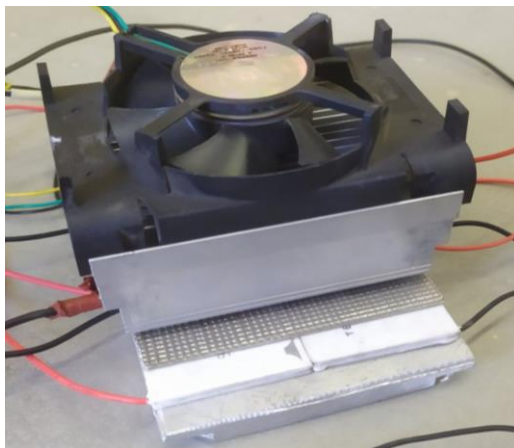


Рисунок 5 – Термоелектричний генератор  
Figure 5 – Thermoelectric generator

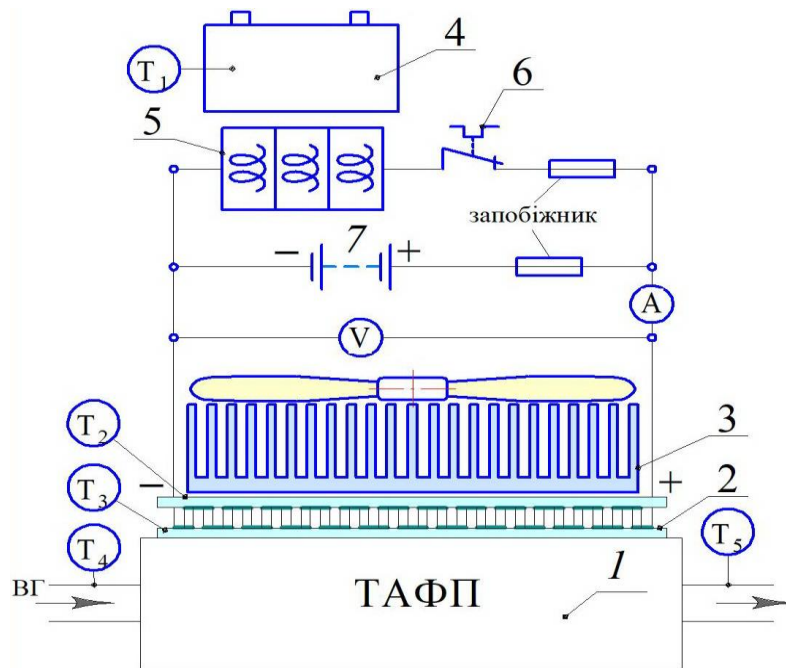


Рисунок 6 – Принципова схема експериментальної термоелектричної системи:

1 –ТАФП; 2 – ТЕГ; 3 – радіатор холодної сторони ТЕГ з вентилятором; 4 – штатна АБ автомобіля; 5 –нагрівальний елемент штатної АБ; 6 – контакт термореле; 7 – буферна АБ; V, A – прилади контролю електричних параметрів ТЕГ; виносні датчики контролю температур ( $T_1$  – електроліту штатної АБ,  $T_2$  – холодної сторони ТЕГ,  $T_3$  – гарячої сторони ТЕГ,  $T_4$  – відпрацьованих газів ДВЗ на вході в ТАФП,  $T_5$  – відпрацьованих газів ДВЗ на виході з ТАФП)

Figure 6 – Schematic diagram of the experimental thermoelectric system: 1 – TAFP; 2 – TEG; 3 – radiator of the cold side of the TEG with a fan; 4 – regular AB car; 5 – heating element of the standard AB; 6 – contact of the thermal relay; 7 – buffer AB; V, A – devices for monitoring electrical parameters of TEG; remote temperature control sensors ( $T_1$  – electrolyte standard AB,  $T_2$  – cold side of the TEG,  $T_3$  – hot side of the TEG,  $T_4$  – exhaust gases at the inlet to the TAFP,  $T_5$  – exhaust gases at the outlet of the TAFP)

Принцип роботи запропонованої термоелектричної системи (рис. 7) полягає в наступному: після завершення роботи ДВЗ відбувається природне остигання АБ (ділянка I), при досягненні температури АБ  $15^{\circ}\text{C}$ , до термоелектричного генератора (буферної АБ) підключають електронагрівальні елементи для підігріву АБ до температури  $25^{\circ}\text{C}$  (ділянка II), після чого нагрівальні елементи відключають. Після наступного зниження температури АБ до  $15^{\circ}\text{C}$  (ділянка III) – процес повторюється. За комутацію електричних ланцюгів відповідає електронний блок управління, який отримує інформацію від датчика температури АБ (датчик температури встановлено на мінусовій клемі АБ).

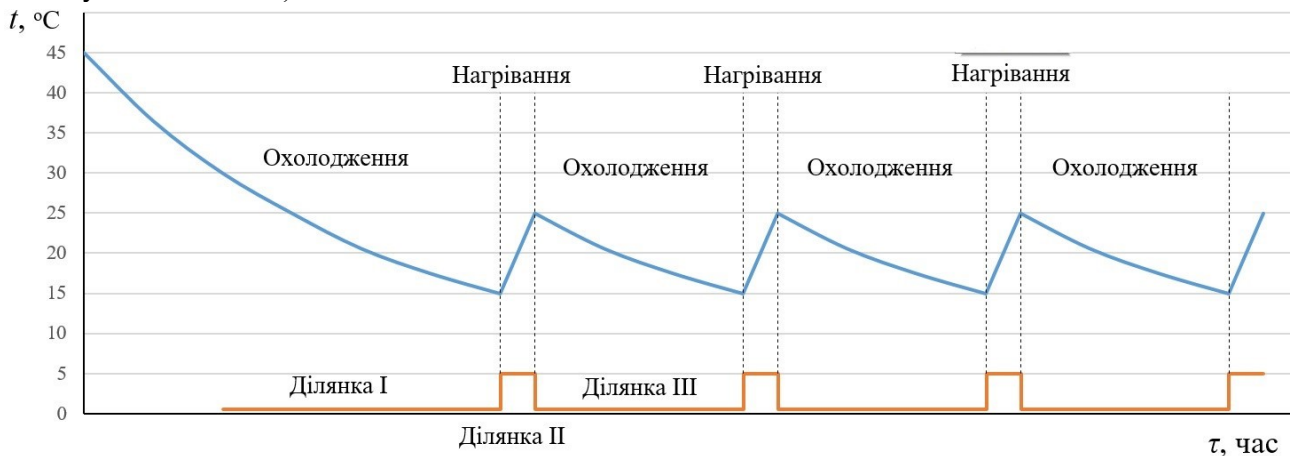


Рисунок 7 – Принцип роботи запропонованої термоелектричної системи

Figure 7 – The principle of the proposed thermoelectric system

Функціональні дослідження запропонованої термоелектричної системи проведено на експериментальній установці (рис. 8) із забезпеченням оптимальної температури АБ в умовах низьких температур оточуючого повітря в лабораторії випробування двигунів Національного транспортного університету.

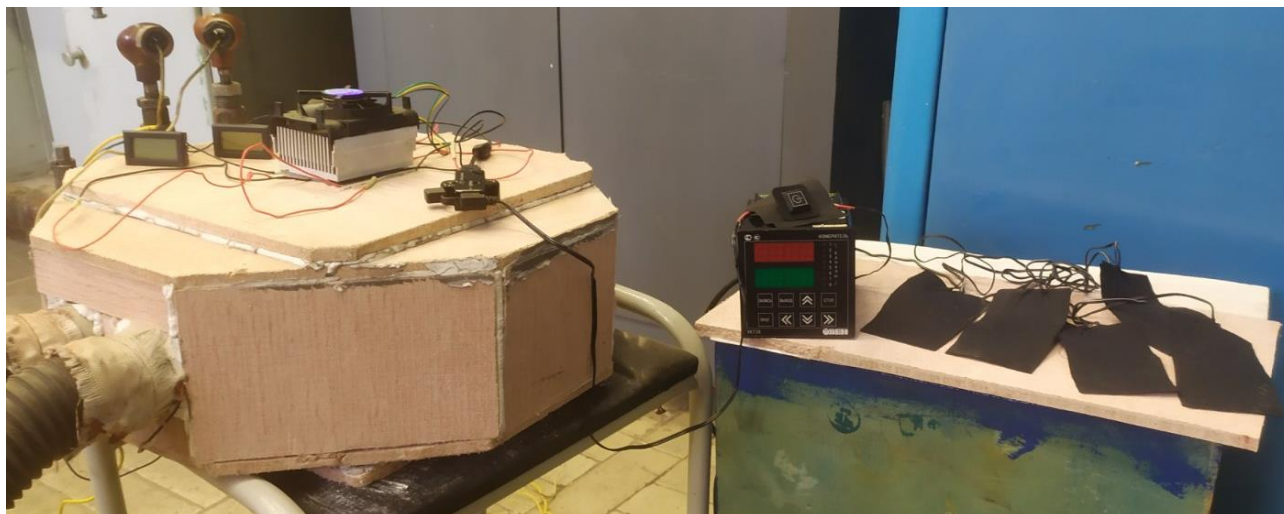


Рисунок 8 – Експериментальна установка запропонованої термоелектричної системи  
Figure 8 – Experimental installation of the proposed thermoelectric system

#### Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проведено з метою перевірки робоздатності термоелектричної системи енергозабезпечення холодного пуску двигуна з використанням теплового акумулятора фазового переходу.

Виготовлений ТАФП – це теплообмінний апарат кожухотрубчатого типу з коробчатим кожухом, який складається з корпусу, вкритого шаром теплової ізоляції, двох газових трубних пучків (теплообмінників), змонтованих на трубних дошках, між якими розміщено фазоперехідний ТАМ. Теплоакумуючим матеріалом є октагідрат гідроксиду барію  $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ , температура плавлення якого становить 351,2 К.

Під час проведення експериментальних досліджень середня температура оточуючого повітря ( $t_0$ ) становила близько 1,5°C, температура поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ – +116°C.

Результати випробування теплового акумулятора фазового переходу наведено на рис. 9.

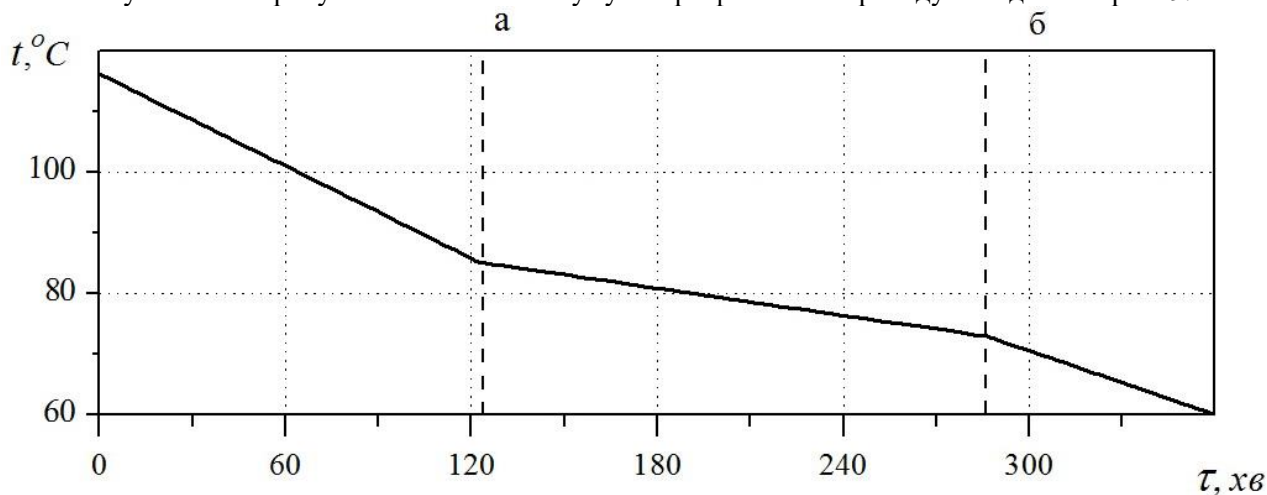


Рисунок 9 – Зміна температури поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ при природному охолодженні (а – початок, б – кінець кристалізації ТАМ)

Figure 9 – Change in the surface temperature of TAFP under the layer of thermal insulation at the point of contact with «hot» TEG junctions during natural cooling (a – beginning, b – end of crystallization of the heat-accumulating material)

Встановлено, що у разі природного охолодження, розрядка ТАФП в інтервалі температур від 116°C до 65°C тривала 320 хв. За цей час середня швидкість зниження температури ТАФП становила близько 0,16°C за хвилину. Кількість втрат теплової енергії в навколишнє середовище при безгаражному утриманні автомобіля залежить від якості теплової ізоляції ТАФП.

Уповільнення зниження температури поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ спостерігається з 124 по 286 хв. Таке уповільнення можна пояснити періодом кристалізації ТАМ. Тривалість періоду кристалізації ТАМ становить близько 160 хв. Температура поверхні ТАФП в місці контакту з «гарячими» спаями ТЕГ, відносно стабілізувалася в інтервалі температур 84...73°C, середня температура становить +78,5°C, при цьому швидкість зниження температури становила близько 0,07°C за хвилину.

Таким чином, дослідження теплового акумулятора фазового переходу показало, що тепловий акумулятор здатен забезпечити різницю температур між поверхнею теплового акумулятора і навколишнім середовищем в межах 70...80°C практично постійною впродовж майже 320 хв (за умови розміщення теплового акумулятора в підкапотному просторі).

У разі використання в ТЕГ п'ятнадцяти термопар з'єднаних послідовно в умовах різниці температур між «гарячими» і «холодними» спаями близько 75°C термоЕРС досягала близько 45 мВ.

В подальшому заплановано проведення розрахункових та експериментальних досліджень спрямованих на визначення необхідної кількості пар термоелектричних елементів в ТЕГ для забезпечення необхідної напруги для живлення зовнішнього електронагрівача АБ, енергетичних характеристик ТЕГ, визначення залежності термоелектрорушійної сили ТЕГ від різниці температур «холодного» і «гарячого» спаїв ТЕГ, дослідження фізичної моделі запропонованої термоелектричної системи з тепловим акумулятором фазового переходу в процесі її функціонування.

### **Висновки**

1. Експлуатація автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря призводить до погіршення його паливної економічності та екологічних показників. Для ДВЗ при безгаражному утриманні автомобіля в умовах низьких температур і з тривалими періодами простою актуальним є пошук і запровадження заходів, які дозволяють з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечити пуск і прогрівання холодного двигуна.

2. Запропонована термоелектрична система, що забезпечує для підвищення технічної готовності транспортного засобу, зокрема системи електричного пуску ДВЗ, в умовах низьких температур за рахунок компенсації теплових втрат акумуляторною батареєю методом термостатування з використанням зовнішніх нагрівальних елементів.

3. За результатами функціональних випробувань теплового акумулятора фазового переходу встановлено, що при температурі оточуючого повітря близько 1,5 °C час зниження температури поверхні ТАФП в місці контакту з «гарячими» спаями ТЕГ від 116°C до 65°C склав близько 320 хв.

4. Запропоноване технічне рішення дозволяє генерувати електричну енергію, як при роботі ДВЗ так і досить тривалий час після закінчення циклу функціонування ДВЗ за рахунок акумуляованої частини теплової енергії відпрацьованих газів в тепловому акумуляторі фазового переходу.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. J. Vazquez, M.A. Zanz-Bobi, R. Palacios, A. Arenas, «State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles,» Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric, 2002.S.

2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., «Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator,» SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.

3. Трифонов Д.М. Аналіз напрямів рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання / Д.М. Трифонов // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 9-а Міжнародна науково-практична конференція – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2018. С. 194-199

4. Sprouse C. Iii and Depcik C., «Review of organic Rankine cycles for internal combustion engine exhaust waste heat recovery,» Applied Thermal Engineering, vol. 51, pp. 711-722, 2013.

5. Jadhao J.S., Thombare D.G. «Review on exhaust gas heat recovery for I.C. Engine». International journal of engineering and innovative technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12, June 2013.

6. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine, Wail Aladayleh, Ali Alahmer, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, Volume 2015, Article ID 495418, 8 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/495418>.

7. Duraisamy Sivaprahasam, Subramaniam Harish, Raghavan Gopalan and Govindhan Sundararajan (July 11th 2018). Automotive Waste Heat Recovery by Thermoelectric Generator Technology, Bringing Thermoelectricity into Reality, Patricia Aranguren, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.75443.
8. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. // – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности / Лыков А.В. // – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
10. Крохта Г.М. Особенности работы стартерных аккумуляторных батарей при самопрогреве двигателя в зимний период / Г.М. Крохта, Н.А. Усатых, Ю.А. Гуськов, Д.М. Воронин // Достижения науки и техники АПК. 2016. т.30. №12. С. 94-97.
11. Панкратов Н.И. Эксплуатация аккумуляторных батарей при низких температурах / Н.И. Панкратов // Автомобильный транспорт. 1985. №2. С. 16–19.
12. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах / Г.С. Лосавио // – М.: Транспорт, 1973. – 120 с.
13. Копотилов В.И. Межсезонное хранение автомобилей в зимнее время / В.И. Копотилов // – Тюмень.: ТюмИИ, 1993. – 67 с.
14. Тиминский В.И. Справочник по электрооборудованию автомобилей, тракторов, комбайнов / В.И. Тиминский // М.: Урожай, 1985. – 256 с.
15. Тышкевич Л.Н. Исследование тепловых процессов аккумуляторной батареи при эксплуатации автомобиля в условиях низких отрицательных температур / Л.Н. Тышкевич, Б.В. Журавский // Омск.: Вестник СибАДИ, выпуск 6 (58), 2017. С. 71-77.
16. Маркин А.Г. Энергообеспечение пуска двигателя внутреннего сгорания автомобиля / А.Г. Маркин, Б.В. Журавский, А.П. Жигadlo // Омск.: Вестник СибАДИ, выпуск 5 (45), 2015. С.26-30.
17. Трифонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Д.М. Трифонов, В.С. Вербовський, І.В. Грицук // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2015. – Т. 3 (45). – С. 18-27.

#### REFERENCES

1. J. Vazquez, M.A. Zanz-Bobi, R. Palacios, A. Arenas, «State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles,» Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric, 2002.S.
2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., «Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator.» SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
3. Trifonov D.M. Analiz napriamiv rekuperatsii teplovoi enerhii vidpratsovanykh haziv dvyhuna vnutrishnoho zghorannia / D.M. Trifonov // Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti i tekhnologii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia. 9-a Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – Kherson: Khersonska derzhavna morska akademiia. 2018. S. 194-199
4. Sprouse C. Iii and Depcik C., «Review of organic Rankine cycles for internal combustion engine exhaust waste heat recovery,» Applied Thermal Engineering, vol. 51, pp. 711-722, 2013.
5. Jadhao J.S., Thombare D.G. «Review on exhaust gas heat recovery for I.C. Engine». International journal of engineering and innovative technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12, June 2013.
6. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine, Wail Aladayleh, Ali Alahmer, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, Volume 2015, Article ID 495418, 8 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/495418>.
7. Duraisamy Sivaprahasam, Subramaniam Harish, Raghavan Gopalan and Govindhan Sundararajan (July 11th 2018). Automotive Waste Heat Recovery by Thermoelectric Generator Technology, Bringing Thermoelectricity into Reality, Patricia Aranguren, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.75443.
8. Kuznecov E.S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilej: uchebnik dlya vuzov / E.S. Kuznecov, A.P. Boldin, V.M. Vlasov i dr. // – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Nauka, 2001. – 535 s.
9. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti / Lykov A.V. // – М.: Vysshaya shkola, 1967. – 599 s.
10. Krohta G.M. Osobennosti raboty starternyh akkumulyatornyh batarej pri samoprogreve dvigatelya v zimnij period / G.M. Krohta, N.A. Usatyh, YU.A. Gus'kov, D.M. Voronin // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. t.30. №12. S. 94-97.
11. Pankratov N.I. Ekspluatatsiya akkumulyatornyh batarej pri nizkih temperaturah / N.I. Pankratov // Avtomobil'nyj transport. 1985. №2. S. 16–19.
12. Losavio G.S. Ekspluatatsiya avtomobilej pri nizkih temperaturah / G.S. Losavio // – М.: Transport, 1973. – 120 s.



13. Kopotilov V.I. Mezhsmennoe hranenie avtomobilej v zimnee vremya / V.I. Kopotilov // – Tyumen': TyumII, 1993. – 67 s.
14. Timinskij V.I. Spravochnik po elektrooborudovaniyu avtomobilej, traktorov, kombajnov / V.I. Timinskij // M.: Urozhaj, 1985. – 256 s.
15. Tyshkevich L.N. Issledovanie teplovyh processov akkumulyatornoj batarei pri ekspluatatsii avtomobilya v usloviyah nizkih otricatel'nyh temperatur / L.N. Tyshkevich, B.V.ZHuravskij // Omsk.: Vestnik SibADI, vypusk 6 (58), 2017. S. 71-77.
16. Markin A.G. Energoobespechenie puska dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtomobilya / A.G. Markin, B.V. ZHuravskij, A.P. ZHigadlo // Omsk.: Vestnik SibADI, vypusk 5 (45), 2015. S.26-30.
17. Trifonov D.M. Vikoristannya teplovogo akumulyatora fazovogo perekhodu dlya zabezpechennya pusku holodnogo dviguna ta jogo progrivannya za rahunok polipshennya sumishoutvorennya / D.M. Trifonov, V.S. Verbovs'kij, I.V. Gricuk // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2015. – Т. 3 (45). – S. 18-27.

#### РЕФЕРАТ

Трифонов Д.М. Энергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання з використанням термоелектричного генератора. / Д.М. Трифонов, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Л.П. Мерзиевська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті проаналізовано умови роботи системи пуску двигуна автомобіля. За результатами аналізу енергетичних можливостей електростартерної системи пуску двигуна внутрішнього згорання в умовах низьких температур оточуючого повітря встановлено, що на цей процес значно впливає температура електроліту акумуляторної батареї і ступінь її зарядженості. Запропоновано технічне рішення для поліпшення пуску холодного двигуна, яке в процесі функціонування дозволяє підтримувати оптимальну температуру акумуляторної батареї під час утримання автомобіля в умовах низьких температур. Наведено опис та принцип функціонування запропонованої системи. Проведено експериментальні дослідження ефективності розробленої системи енергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання.

Об'єкт експериментальних досліджень – система енергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання на основі теплового акумулятора фазового переходу і термоелектричного генератора.

Мета роботи – дослідження показників роботи термоелектричної системи, для підтримання оптимальної температури акумуляторної батареї в умовах низьких температур оточуючого повітря.

Метод дослідження – експериментальний.

За результатами функціональних випробувань термоелектричної системи з тепловим акумулятором фазового переходу встановлено, що при температурі оточуючого повітря близько 1,5 °С час зниження температури поверхні ТАФП від 116°С до 65°С становив близько 320 хв. Запропоноване технічне рішення дозволяє генерувати електричну енергію, як при роботі ДВЗ так і досить тривалий час після закінчення циклу його функціонування завдяки акумуляованій частині теплової енергії відпрацьованих газів в тепловому акумуляторі фазового переходу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР, УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ, ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ, ПУСК ХОЛОДНОГО ДВИГУНА, СТАРТЕРНА АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ.

#### ABSTRACT

Trifonov D.M., O Sirota.V., Y.V., Shuba Y.V., Merzhievskaya L.P. Energy supply for starting a cold internal combustion engine using a thermoelectric generator. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Based on the analysis of the energy capabilities of the electric starter system for starting an internal combustion engine at low ambient temperatures, it was found that this process is significantly affected by the temperature of the battery electrolyte and the degree of its charge. A technical solution has been proposed to improve the start of a cold engine, which during operation allows maintaining the optimum temperature of the battery during storage of the car at low temperatures. The description and principle of operation of the proposed system are presented. Experimental studies of the efficiency of the developed power supply system for starting a cold internal combustion engine have been carried out.

The object of experimental research is the power supply system for starting a cold internal combustion engine based on a phase transition heat accumulator and a thermoelectric generator.

The purpose of the work is to study the performance of a thermoelectric system to maintain the optimal temperature of the storage battery at low ambient temperatures.

The research method is experimental.

According to the results of functional tests of a thermoelectric system with a phase transition heat accumulator, it was found that at an ambient temperature of about 1.5 °C, the time for lowering the temperature of the TAFP surface from 116°C to 65°C was about 320 min. The proposed technical solution makes it possible to generate electrical energy, both during the operation of the internal combustion engine, and for a rather long time after the end of its operation cycle due to the accumulated part of the thermal energy of the exhaust gases in the phase transition heat accumulator.

**KEY WORDS:** THERMOELECTRIC GENERATOR, EXHAUST GAS HEAT RECOVERY, PHASE CHANGE HEAT ACCUMULATOR, COLD ENGINE START, STARTER BATTERY.

**АВТОРИ:**

Трифонов Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: d.trifonov@ntu.edu.ua, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.303а.

Сирота Олександр Вадимович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: cirshu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.303а.

Шуба Євгеній Васильович., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: shuba90@i.ua, тел. +380688147423, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а.

Мержиєвська Любов Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: lpm.dvz@gmail.com, тел. +38 044 280-47-16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а.

**AUTHORS:**

Trifonov Dmitrij, Ph.D., Engineering, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com tel. 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov St. 1, room 303a.

Syrota Alexander, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com tel. 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, vul. Suvorov 1, room 303a.

Shuba Yevgeniy, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: shuba90@i.ua, tel. +380688147423, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 303a.

Merzhyievska Lubov, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: lpm.dvz@gmail.com, tel. +38 044 280-47-16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 303a.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва та матеріалознавства, Київ, Україна.

Терещенко Ю. М., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Posviatenko E.K., PhD, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, Kyiv, Ukraine.

Tereshchenko Y.M., PhD, Engineering (Dr.) professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.