УДК 667.021.1 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.1.11

О. І. КЛЮЄВ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6803-0706

І. А. ШАТОХІНА
старший викладач кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5767-3674

С. А. РУСАНОВ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1003-4867

КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ АВТОМОБІЛІВ

У даному дослідженні розглядаються конструктивні особливості стендів для випробування теплоакумуляційної техніки, що використовується для поліпшення пуску двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) на автомобільному транспорті. Пускові характеристики двигунів, зокрема в умовах низьких температур, значно впливають на ефективність роботи автомобіля, економічність його експлуатації, а також на зниження шкідливих викидів. Одним із можливих способів покращення пускових характеристик є використання теплоакумуляторів, які забезпечують попередній підігрів охолоджувальної рідини та інших компонентів двигуна, що значно знижує негативний вплив низьких температур на його роботу.

Для оцінки ефективності таких технологій та вивчення їх впливу на технічні параметри автомобіля необхідно використовувати спеціалізовані стенди, які дозволяють моделювати різноманітні умови експлуатації та проводити випробування в контрольованому середовищі. Одним з основних завдань є розробка конструкцій стендів, що забезпечують не тільки точність і надійність вимірювань, а також адаптовані для різних типів теплоакумуляторів і ДВЗ. Важливим аспектом є створення умов, які максимально наближаються до реальних, для коректного визначення впливу теплоакумуляційних систем на роботу двигуна під час пуску. Випробування повинні проводитися за участю різних типів охолоджувальних рідин, що використовується в системах автомобільних ДВЗ, що дозволить визначити оптимальні умови для роботи як самих двигунів, так і для теплоакумуляційних систем, зокрема на різних етапах нагріву.

Вивчення конструктивних особливостей стендів для випробування теплоакумуляційних систем дозволяє розробити більш ефективні методи пуску двигунів, що позитивно впливають на зниження витрат пального, зменшення шкідливих викидів, а також підвищення енергоефективності і економічності використання автомобільного транспорту.

Ключові слова: *теплоакумулятор, двигун внутрішнього згоряння, теплообмінник, автомобільний транспорт.*

O. I. KLIUIEV
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-6803-0706

I. A. SHATOKHINA
Senior Lecturer at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5767-3674

S. A. RUSANOV
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1003-4867

DESIGN IMPLEMENTATION OF TEST STANDS FOR PHASE CHANGE THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR PRE-START PREPARATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN AUTOMOBILES

This study examines the design features of test stands for evaluating thermal energy storage systems used to improve the starting performance of internal combustion engines (ICEs) in automotive transport. The starting characteristics of engines, especially in low-temperature conditions, significantly affect the vehicle's operational efficiency, fuel economy, and reduction of harmful emissions. One potential way to improve starting performance is by using thermal energy storage devices that provide preheating of the coolant and other engine components, which greatly reduces the negative impact of low temperatures on engine operation.

To assess the effectiveness of such technologies and study their impact on the vehicle's technical parameters, specialized test stands are required to model various operating conditions and conduct tests in a controlled environment. One of the main tasks is to develop stand designs that ensure not only measurement accuracy and reliability but are also adaptable to different types of thermal energy storage systems and internal combustion engines. An important aspect is the creation of conditions that closely mimic real-life situations to accurately determine the impact of thermal storage systems on engine performance during startup. Testing should involve different types of coolants used in automotive engine systems, which will allow for the identification of optimal conditions for both the engines themselves and the thermal energy storage systems, particularly during various heating stages.

Studying the design features of test stands for evaluating thermal energy storage systems enables the development of more efficient engine starting methods, which positively affect fuel consumption reduction, harmful emission reduction, and increase the energy efficiency and economic viability of automotive transport usage.

Key words: *heat accumulator, internal combustion engine, heat exchanger, road transport.*

Постановка проблеми

Збереження та підтримка оптимальної температури роботи двигуна внутрішнього згоряння є важливою задачею з технічної та економічної точки зору. Одним із перспективних напрямків є використання методу акумулювання теплоти, що утворюється під час роботи двигуна (паразитне тепло), для подальшого застосування при передпусковому підігріві. Збільшення вимог до зменшення витрат пального, енергоспоживання та викидів сприяє розробці нових технологій енергозбереження. Теплові акумулятори (ТА), які здатні накопичувати та ефективно використовувати теплоту, можуть значно покращити енергоефективність автомобільних систем, зокрема за умов зміни температури навколишнього середовища. В умовах низьких температур вони допомагають зменшити витрати пального, а також підвищують комфорт водія і пасажирів, скорочуючи час, необхідний для прогріву двигуна і салону автомобіля. Різноманітні конструктивні виконання ТА потребують проведення додаткових натурних стендових випробувань їх ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Один із найбільш простих методів накопичення теплоти полягає в застосуванні ємнісних акумуляторів з охолоджуючою рідиною, яка ізольована від зовнішнього теплообміну та основної системи охолодження. Наприклад, під час розрядки теплоакумулятора гаряча і холодна рідини знаходяться в одній вертикальній ємності, де охолоджена рідина витісняє нагріту. Для забезпечення ефективного розподілу та руху рідини використовуються різні пристрої, турбулізатори та інші технології для поліпшення теплообміну. Такий тип теплоакумуляторів тим не менш має лімітовану невеликими значеннями питому ємність, що, у свою чергу, приводить до більших габаритів. Це обмежує можливість використання таких систем у сучасних автомобілях, де простір під капотом сильно обмежений через щільне розташування компонентів та агрегатів. Розміщення теплоакумулятора в салоні або багажному відділенні також призводить до зменшення корисного об'єму, що погіршує споживчі характеристики і знижує ринкову привабливість пристрою. Окрім того, це ускладнює процес монтажу і сприяє збільшенню теплових втрат. Одним з найефективніших практичних рішень є використання теплоакумуляторів, робота яких базується на фазовому переході «тверде – рідина» [1, 2]. В таких системах, окрім теплоти, яка виділяється під час фазового переходу, також використовується теплота нагрівання як твердого, так і рідкого стану [1–7]. Перевагою таких конструкцій є висока питома теплоємність, що дозволяє зробити їх компактними. Крім того, стабільність температури під час розрядки теплоакумулятора забезпечує більшу ефективність у порівнянні з системами, де температура теплоносія знижується поступово.

Згідно з аналізом літератури [6, 7, 8], для автомобільної техніки найбільш ефективними є конструкції теплоакумуляторів, що складаються з корпусу з подвійними стінками для забезпечення теплоізоляції. Внутрішній об'єм

такого корпусу заповнений фазоперехідним матеріалом, який здатен накопичувати тепло, а всередині розташовані трубки, через які циркулює теплоносій. Як теплоносій пропонується використовувати відпрацьовані гази автомобільного двигуна. Однак, необхідно зазначити, що ці гази мають температуру в межах 600–700 °С, що може призвести до термічного пошкодження теплоакумулюючого матеріалу та металевих частин конструкції. Крім того, це може спричинити перегрівання охолоджувальної рідини двигуна, що може призвести до його поломки.

Формулювання мети дослідження

При проєктуванні та виборі компоновки теплового акумулятора треба враховувати, що конструкція ТА для передпускової підготовки двигуна автомобіля повинна відповідати певним вимогам [9–11]:

– час розрядження ТА якнайбільший, щоб при стоянці автомобіля при низьких температурах оточуючого повітря не відбулось значного охолодження двигуна;

– габарити якнайменші, оскільки простір для розміщення ТА в автомобілях обмежений;

– об'єм охолоджуючої двигун рідини в ТА якнайменший, щоб не збільшувати загальний об'єм цієї рідини в системі охолодження двигуна.

Ефективність роботи ТА визначається тривалістю підтримання достатньої для запуску двигуна температури. Якщо вона зберігається при стоянці на достатньому рівні, то запуск двигуна можливий без тривалого прогрівання двигуна і використання додаткових нагрівачів, як, наприклад, ТЕНів.

У зв'язку з різноманітністю конструкцій теплоакумуляторів фазового переходу для автомобільної техніки (на рис. 1 показано в якості прикладу ТА фазового переходу з U-подібними трубками), проведення стендових досліджень є необхідним етапом для оцінки їх ефективності та безпечності. Кожен варіант конструкції може мати свої особливості, які впливають на працездатність системи в умовах реального використання. Стендові випробування мають дозволити точно визначити характеристики теплоакумуляторів, такі як швидкість накопичення та віддачі тепла, термічну стабільність, здатність витримувати високі температури, а також їх ефективність у різних температурних режимах. Дослідження на стендах також допомагають виявити супутні параметри, наприклад, пов'язані з термічною деформацією матеріалів, перегрівом системи чи нестабільною роботою теплоносія.

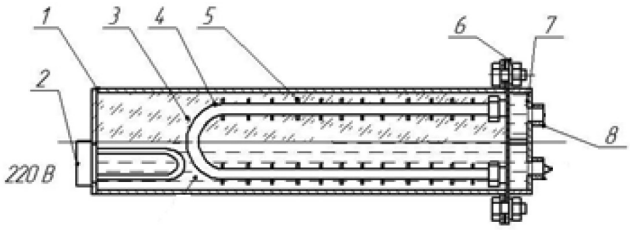

Рис. 1. Тепловий акумулятор: *1* **– корпус;** *2* **– електронагрівач;** *3* **– теплоакумулюючий матеріал;** *4* **– U-подібний рідинний теплообмінник заряду-розряду;** *5* **– оребрення;** *6* **– трубна решітка;** *7* **– колекторна камера;** *8*, *10* **– патрубок**

Таким чином складається ситуація, коли для різних компоновок ТА, зокрема, для різних ТАМ, може бути потреба в різних підходах до стендових випробувань. Деякі особливості системи «стенд – компоновка ТА» ми висвітлюємо у цій публікації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Випробування можуть бути проведено на стендах, що контролюють вхідні-вихідні температурні параметри без примусової циркуляції (за один цикл нагрівання), з примусовою циркуляцією, та в реальних умовах системи «ТА – ДВЗ».

Загальна схема стенду без примусової циркуляції показана на рис. 2. Нагрівання теплоакумулятора здійснюється за допомогою електронагрівача *5*. Випробування проводяться тільки після того, як теплоакумулююча речовина досягне заданої температури, яка перевищує температуру фазового переходу, але залишається нижчою за температуру кипіння охолоджуючої рідини. Холодна рідина зберігається в резервуарі *1*, і після відкриття крана *2* вона надходить через трубопровід *3*, який з'єднує резервуар з теплоакумулятором. Після цього рідина проходить через теплоакумулятор *4*, трубопровід *6* з датчиками температури t_2 і t_3, і потрапляє в резервуар для прогрітої речовини *7*.

Треба мати на увазі, що теплова ємність теплового акумулятора на основі фазового переходу залежить не тільки від зміни температури, але й від теплоти фазового переходу, що може бути записано у вигляді

$$H = c_{тв}(T_ф - T_1) + \Delta h_ф + c_р(T_2 - T_ф), \quad (1)$$

де $c_{тв}$ – питома теплоємність твердої фази; $\Delta h_ф$ – ентальпія фазового переходу; $c_р$ – питома теплоємність рідкої фази.

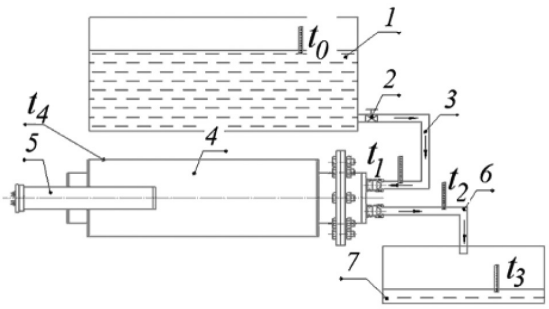

Рис. 2. Схема одноциклового стенду ТА. *1* **– резервуар з холодною рідиною,** *2* **– кран,** *3*, *6* **– трубопроводи,** *4* **– теплоакумулятор,** *5* **– електронагрівач,** *7* **– резервуар з нагрітою рідиною**

У більшості випадків на автомобільному транспорті застосовуються системи з ТАМ з переходом тверде-рідина, які забезпечують більш ефективне накопичення теплоти при компактних розмірах. Серед матеріалів, що забезпечують вищевказану умову щодо температури фазового переходу меншої за температуру кипіння охолоджуючої рідини, можна виділити парафіни, октогідрати солей, карбонат натрію, воски, озокерит та інші. У дослідженнях, що проводилися на кафедрі транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету, використовувалися октогідрати солей барію, парафіни, озокерит [12].

Октогідрати показали достатній тепловміст, але ж разом з тим високу корозійну активність, що обмежило їх подальше використання. Озокерит являє собою природний вуглеводень з групи нафти, є сумішшю високомолекулярних насичених вуглеводнів. Його перевагами є дешевизна, низка корозійна активність, відсутність негативного впливу на оточуюче середовище. Парафіни мають питому теплоту плавлення від 50 до 180 кДж/кг і при цьому демонструють високу стійкість до термоциклювання, залишаючись хімічно інертними. Завдяки своїй хімічній інертності, з парафінами у процесі роботи теплоакумулятора не відбуваються хімічні реакції, що забезпечує стабільність властивостей системи протягом тривалого часу. Складності при проєктуванні теплоакумуляторів з фазовим переходом на основі парафінів у першу чергу пов'язані з їхнім низьким коефіцієнтом теплопровідності (близько 0,12–0,17 Вт/(м^2 · К)), що потребує змін у конструкції теплообмінників. Для покращення теплообміну між теплоакумулюючим матеріалом та теплоносієм необхідно збільшити площу поверхні контакту та передбачити додаткові заходи щодо оптимізації теплообміну. Крім того, зміна густини при фазовому переході (плавленні) ускладнює конструкцію теплоакумуляторів, оскільки вимагає застосування технічних рішень для компенсації зміни об'єму. До таких рішень можна віднести створення вільних порожнин всередині капсул, а також використання корпусів, що спрямовано деформуються (з компенсаторами). Це ускладнює процес виробництва, що, своєю чергою, збільшує вартість конструкції. Для автомобільних теплоакумуляторів оптимальним рішенням є розміщення теплоакумулюючого матеріалу в окремих капсулах або міжтрубному просторі.

Стенд з примусовою циркуляцією та капсульним ТА показано на рис. 3.

Стендові випробування проводяться таким чином. Нагрівання теплоакумулятора здійснюється за рахунок електронагрівача *9* потужністю 1,5 кВт. Через ТА насосом *11* прокачується охолоджуюча двигун рідина (ОДР) до досягнення температур ОДР і ТАМ 85 °С. Потім нагрівання припиняється і ТА охолоджується. При цьому проводиться вимір температур у часі, та будується крива охолодження ТАМ, а разом з ним і ОДР.

Крива охолодження (розрядження ТА) (рис. 4) має три ділянки: охолодження ТАМ і ОДР до температури кристалізації ТАМ (І етап); перебування ТАМ і ОДР при температурі, близькій до температури кристалізації ТАМ (ІІ етап); охолодження ОДР і ТАМ до температури оточуючого середовища (ІІІ етап).

На рис. 5 схематично зображено експериментальну установку системи «ТА – ДВЗ», яка складається із змійовикового теплоакумулятора і двигуна внутрішнього згорання. Теплоакумулятор складається з герметичного корпусу *1*, у якому розміщений змієвиковий рідинний теплообмінник заряду-розряду *5*. Внутрішня порожнина корпусу заповнена фазоперехідним теплоакумулюючим матеріалом парафіном *2*, а також рідиною *3*. Трубні решітки *6*, *7* призначені для закріплення змійовика та введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор. Для введення охолоджуючої рідини в теплоакумулятор використовують електромагнітні клапани заряду-розряду *8*, *9*, *11* і насос *10*. Термоізоляція використовується для збереження тепла в теплоакумуляторі. Схема роботи теплоакумулятора в системі стенда наступна.

Вмикається ТЕН *4*, який нагріває рідину *3* до 70 °С. Цього достатньо, щоб розплавити фазоперехідний теплоакумулюючий матеріал *2*. Відкривається електромагнітний клапан *8*, *11* і охолоджуюча рідина за допомогою насоса *10* починає рухатися з двигуна внутрішнього згорання через змієвиковий рідинний теплообмінник заряду-розряду і повертається по колу в ДВЗ. Регулювання витрати рідини робиться за допомогою крану *14*. За допомогою виміру температур оцінюємо ефективність теплоакумулятора.

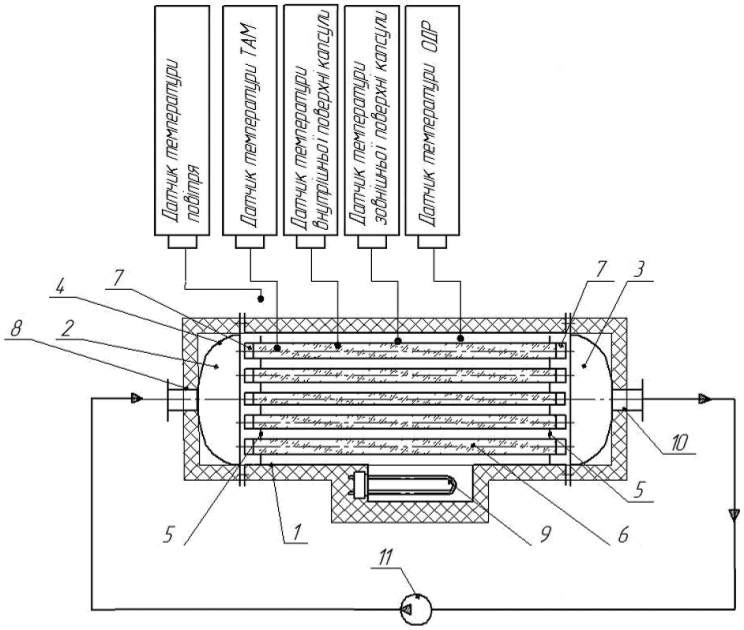

Рис. 3. Схема стенду для випробування ТА: *1* **– корпус;** *2*, *3* **– вхідна і вихідна колекторні камери;** *4* **– кришки;** *5* **– решітка для утримування капсул;** *6* **– капсули з ТАМ;** *7* **– фітинги;** *8*, *10* **– вхідний і вихідний штуцери;** *9* **– трубчастий електронагрівч (ТЕН);** *11* **– насос. Точками відмічені місця виміру температур**

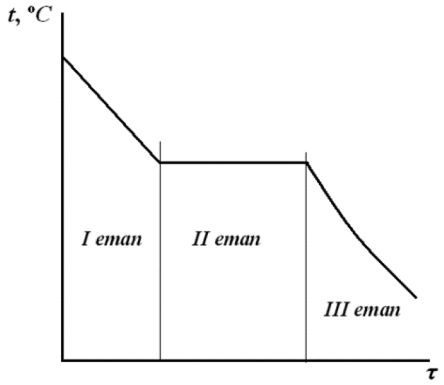

Рис. 4. Етапи охолодження теплового акумулятора

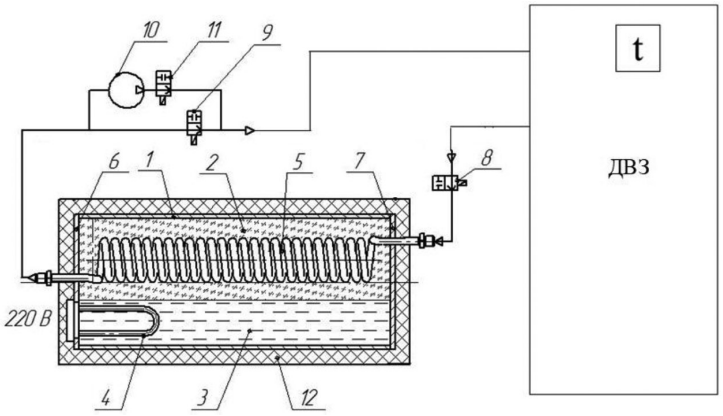

Рис 5. Схема стенда «ТА – ДВЗ» *1* **– теплоакумулятор;** *2* **– теплоакумулюючий матеріал;** *3* **– рідина;** *4* **– ТЕН;** *5* **– змієвиковий рідинний теплообмінник заряду-розряду;** *6*, *7* **– трубні решітки;** *8*, *9*, *11* **– електромагнітні клапани;** *10* **– насос;** *11* **– охолоджуюча рідина;** *12* **– термоізоляція**

Висновки

За результатами досліджень запропоновано низку конструкторських рішень для стендів з випробування теплоакумуляційної техніки з теплоакумулюючим матеріалом фазового переходу. Запропоновано класифікацію стендів, що контролюють вхідні-вихідні температурні параметри: без примусової циркуляції (за один цикл нагрівання), з примусовою циркуляцією, та в реальних умовах системи «ТА – ДВЗ».

Вказані схеми відповідних конструктивних виконань стендів з прикладами виконань тепло акумуляторів у вигляді теплообмінника з U-образними трубками, змійовикового теплообмінника (в яких, на відміну від попередніх конструктивних рішень, фазоперехідний теплоакумулюючий матеріал і теплоносій знаходяться в одному просторі герметичного корпусу, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоакумулятора) та капсульного теплообмінника.

Список використаної літератури

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmair G., Furbo S., Fan J. (2021) Thermal characteristics of a long-term heat storage unit with sodium acetate trihydrate. Applied Thermal Engineering. 187. P. 133–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116563

2. Solomon L, Zheng Y, Tuzla K, Neti S, Oztekin A. (2018) Analysis of an encapsulated phase change material based energy storage system for high temperature applications. International Journal of Energy Research. 42 (7). P. 2518–2535.

3. Kenisarin M, Mahkamov K. (2016) Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. Renew Sustain Energy Rev. 55. P. 371–398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.128

4. Sarbu I, Dorca A. (2019) Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials. Int J Energy Res. 43. P. 29–64. DOI: https://doi.org/10.1002/er.4196

5. Zhang H, Baeyens J, Caceres G, 5. Degreve J, Lv Y. (2016) Thermal energy storage: recent developments and practical aspects. Progress in Energy and Combustion Science. 53. P. 1–40. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.10.003

6. Wang M. Integration and Validation of a Thermal Energy Storage System for Electric Vehicle Cabin Heating / Mingyu Wang, Timothy Craig, and Edward Wolfe //Journal Volume, Detroit, Michigan, United States of America, Conference. 2017. P. 2–8. DOI: https://doi.org/10.4271/2017-01-0183

7. Belik S. (2017) Thermal Energy Storage Systems: Power-to-Heat Concepts in Solid Media Storage for High Storage Densities / Sergej Belik, Volker Dreißigacker, Mila Dieterich and Werner Kraft //Journal of Traffic and Transportation Engineering. 5. P. 285–294. DOI: https://doi.org/10.17265/2328-2142/2017.06.001

8. Клюєв О. І., Русанов С. А., Аппазов Е. С., Луняка К. В., Коновалов Д. В., Мацків Б. М. Тепловий акумулятор системи передпускового прогріву двигуна внутрішнього згорання. Патент на корисну модель № 137780 від 11.11.2019. Бюл. № 21.

9. Pyhtya V. A. (2010) Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery, Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], № 6(148). P. 246–251.

10. Аппазов Е. С. Моделювання гідродинамічних та теплових процесів при передпусковій підготовці автомобільних двигунів / Е. С. Аппазов, О. І. Клюєв, С. А. Русанов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Вид-во ХДМА, 2014. № 1(10). С. 131–136.

11. Дмитрієв Д. О., Аппазов Е. С., Русанов С. А., Клюєв О. І. Моделювання процесу розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковій підготовці // Вісник Хмельницького національного університету, № 5, 2015, С. 54–58.

12. Луняка К. В., Клюєв О. І., Русанов С. А., Клюєва О. О. Дослідження роботи теплового акумулятора системи передпускового прогріву двигуна внутрішнього згоряння. Теплофізика та теплоенергетика. 2020 т. 42, № 3. С. 76–81.

References

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmair G., Furbo S., Fan J. (2021) Thermal characteristics of a long-term heat storage unit with sodium acetate trihydrate. Applied Thermal Engineering. 187. P. 133–147. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116563

2. Solomon L, Zheng Y, Tuzla K, Neti S, Oztekin A. (2018) Analysis of an encapsulated phase change material based energy storage system for high temperature applications. International Journal of Energy Research. 42 (7). P. 2518–2535.

3. Kenisarin M, Mahkamov K. (2016) Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. Renew Sustain Energy Rev. 55. P. 371–398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.128

4. Sarbu I, Dorca A. (2019) Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials. Int J. Energy Res. 43. P. 29–64. DOI: https://doi.org/10.1002/er.4196

5. Zhang H, Baeyens J, Caceres G, 5. Degreve J, Lv Y. (2016) Thermal energy storage: recent developments and practical aspects. Progress in Energy and Combustion Science. 53. P. 1–40. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.10.003

6. Wang M. Integration and Validation of a Thermal Energy Storage System for Electric Vehicle Cabin Heating / Mingyu Wang, Timothy Craig, and Edward Wolfe //Journal Volume, Detroit, Michigan, United States of America, Conference. 2017. P. 2–8. DOI: https://doi.org/10.4271/2017-01-0183

7. Belik S. (2017) Thermal Energy Storage Systems: Power-to-Heat Concepts in Solid Media Storage for High Storage Densities / Sergej Belik, Volker Dreißigacker, Mila Dieterich and Werner Kraft //Journal of Traffic and Transportation Engineering. 5. P. 285–294. DOI: https://doi.org/10.17265/2328-2142/2017.06.001

8. Kliuiev O.I., Rusanov S.A., Appazov E.S., Luniaka K.V., Konovalov D.V., Matskiv B.M. (2019) Teplovyi akumuliator systemy peredpuskovoho prohrivu dvyhuna vnutrishnoho zghorannia. Patent na korysnu model № 137780 vid 11.11.2019. Biul. № 21.

9. Pyhtya V.A. (2010) Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery, Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], № 6(148). P. 246–251.

10. Appazov E.S. (2014). Modeliuvannia hidrodynamichnykh ta teplovykh protsesiv pry peredpuskovii pidhotovtsi avtomobilnykh dvyhuniv / E.S.Appazov, O.I.Kliuiev, S.A.Rusanov//Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii: naukovyi zhurnal. – Kherson : Vyd-vo KhDMA, № 1(10). S. 131–136.

11. Dmytriiev D.O., Appazov E.S., Rusanov S.A., Kliuiev O.I. (2015) Modeliuvannia protsesu rozihrivu dvyhuna z teplovym akumuliatorom pry peredpuskovii pidhotovtsi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 5, S. 54–58.

12. Lunyaka K.V., Klyuev O.I., Rusanov S.A., Klyueva O.O. (2020) Doslidzhennya roboty teplovogo akumulyatora systemy peredpuskovoho prohrivu dyvuhuna vnutrishnoho zhorinannya. Teplofyzyka ta teploenerhetyka. t. 42, № 3. S. 76–81.