

О. І. КЛЮЄВ

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

С. А. РУСАНОВ

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

І. А. ШАТОХІНА

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

НОВІ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ АВТОМОБІЛІВ

У даній роботі наведені розроблені конструкції теплових акумуляторів для передпускового прогрівання двигуна автомобіля. Пропонуються капсульний теплоакумулятор і теплоакумулятори у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з різною будовою труб. Проведені стендові і натурні випробування теплоакумуляторів, які показали доцільність їх використання для передпускового нагрівання двигуна автомобіля, оскільки це забезпечує запуск двигуна без попереднього розігріву за 5–10 с. В результаті заощаджується паливо і покращуються санітарні умови за рахунок зменшення викидів відпрацьованих газів двигуна.

Запропоновано теплоакумулятор капсульного типу з шаховим розташуванням капсул. Капсули кріпляться за допомогою опірних решіток, а взаємне розміщення капсул усередині теплоакумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакумуляуючу речовину. Також це дозволяє інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх. Запропонована також конструкція теплового акумулятора з U-подібними трубками, яка складається з подвійного герметичного корпусу з зазором під теплову рідину ізоляцію, в якому розміщений трубчастий електронагрівач, а внутрішня порожнина подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакумуляуючим матеріалом та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням. Патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор оснащений електромагнітним клапаном, а патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора оснащений насосом з електромагнітним клапаном.

Представлено також тепло акумулятори зі спіральною трубкою та зі змієвиковими трубами, в яких, на відміну від попередніх конструктивних рішень, теплоакумуляуючий матеріал і теплоносії знаходяться в одному просторі герметичного корпусу, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоакумулятора.

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

O. I. KLIUIEV

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

S. A. RUSANOV

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

I. A. SHATOKHINA

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

NEW DESIGNS OF HEAT ACCUMULATORS FOR THE PRE-START PREPARATION OF CAR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

This paper presents the designs of thermal accumulators we have developed for pre-heating of a car engine. We offer a capsule heat accumulator and heat accumulators in the form of shell-and-tube heat exchangers with different pipe structures. Bench and full-scale tests of heat accumulators have been carried out, showing the feasibility of their use for pre-start heating of a car engine, since this ensures starting the engine without preheating in 5–10 s. The result is fuel savings and improved sanitation by reducing engine exhaust emissions.

A capsule-type heat accumulator with a staggered arrangement of capsules is proposed. The capsules are secured using gratings, and the mutual placement of the capsules inside the heat accumulator creates channels in it for the flow of coolant, which allows the heat-accumulating substance to be evenly heated. This also makes it possible to intensify the heat exchange process by increasing the speed of the coolant washing them. A design of a heat accumulator with U-shaped tubes has also been proposed, consisting of a double sealed housing with a gap for thermal liquid insulation, in which a tubular electric heater is located, and the internal cavity of the double housing is filled with a phase-transition heat-accumulating material and contains a U-shaped liquid heat exchanger. The pipe for introducing the cooling engine fluid into the heat accumulator is equipped with a solenoid valve, and the pipe for removing the cooling engine liquid from the heat accumulator is equipped with a pump with a solenoid valve.

Heat accumulators with a spiral tube and coil pipes are also presented, in which, unlike previous design solutions, the heat-storing material and coolant are located in the same space of a sealed housing, which provides increased heat transfer directly and simplifies the design of the heat accumulator.

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

Постановка проблеми

Ощадливе використання та збереження енергії, а також залучення для цього джерел енергії від різних теплоносіїв (енергії сонця, електричної, технологічних процесів тощо) є на сьогоднішній день актуальною задачею як з економічної, так і екологічної точки зору. Тому на протязі вже досить тривалого часу в науковій літературі наводяться дослідження, присвячені пристроям, які здатні акумулювати теплову енергію за рахунок розплавлення своєї робочої речовини та віддавати накопичену енергію в холодну пору. Така робоча речовина називається теплоакумуючим фазоперехідним матеріалом, а пристрої мають відповідно назву теплоаккумуляторів з фазоперехідним (теплоакумуючим) матеріалом [1; 2].

Такі тепло аккумулятори (далі ТА) використовуються у будівництві, сонячній енергетиці, енергозбереженні, сільському господарстві та ін. [1–7]. У транспортній техніці теплові аккумулятори застосовуються для вирішення проблеми швидкого запуску двигуна і обігріву салону транспортного засобу в холодну пору [8; 9]. Швидкий запуск двигуна дозволяє скоротити час, при якому двигун працює вхолосту, а разом з тим значно знизити витрату палива (за деякими даними на 7–20%) і зменшити викиди відпрацьованих газів в атмосферу [4].

Для отримання названого бажаного результату створюються різні конструкції теплоаккумуляторів, які відповідають конкретному призначенню, умовам використання і властивостям речовин, що використовуються для їхньої роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При розробці конструкції теплоакумулятору для передпускового прогрівання двигуна автомобіля першочергово вирішується питання про теплоносії, який можна використовувати для розплавлення теплоакумуляуючого матеріалу. Таким теплоносієм можуть бути відпрацьовані гази двигуна, охолоджуюча двигун рідина, котра при цьому нагрівається [6–8], обидві ці теплоносії одночасно, або інші джерела теплоти, як, наприклад, додаткові електричні нагрівачі. Наступним питанням є вибір типу теплоакумулятору за способом розміщення теплоакумуляуючого матеріалу. Зазвичай теплоакумулятори фазового переходу являють собою теплообмінники, де відбувається теплообмін між теплоакумуляуючим матеріалом і теплоносієм. В теплообмінниках виділяють «внутрішній» простір і «зовнішній» і кожна з названих речовин знаходиться у певному просторі. Теплоакумуляуючий матеріал (ТАМ) може знаходитись у запаєних капсулах («внутрішній простір»), які розташовані у середовищі теплоносія, що рухається («зовнішній простір»). Такого типу теплоакумулятори зазвичай називаються капсульними. Конструктивно такі теплові акумулятори являють собою протічну ємність, де так чи інакше закріплені капсули з теплоакумуляуючим матеріалом. Інше конструктивне рішення являє собою варіант кожухотрубчастого теплообмінника, де теплоакумуляуючий матеріал знаходиться у міжтрубному («зовнішньому» просторі), а теплоносії протікає по трубах (знаходиться у «внутрішньому» просторі).

Кожен з названих варіантів має певні переваги й недоліки. Так, розташування ТАМ в капсулах надає конструкції надійність, можливість створення значної теплообмінної поверхні, при цьому капсули можуть працювати як температурні компенсатори. Однак зазвичай необхідно встановлювати велику кількість капсул малого розміру у зв'язку з низькою теплопровідністю ТАМ, що призводить до великої трудомісткості виготовлення теплоакумуляторів, недостатньо раціонального використання об'єму (для циліндричних капсул), малої жорсткості конструкції (для плоских капсул). Особливо доцільне застосування капсульних теплоакумуляторів у випадках малих теплових потоків з теплообмінної поверхні.

При розміщенні теплоакумуляуючого матеріалу в міжтрубному просторі кожухотрубчастого теплообмінника зростає відсоток раціонального використання внутрішнього об'єму теплоакумулятору і застосування традиційної технології виготовлення теплообмінних апаратів. При такому виконанні ускладнено забезпечення теплового розширення, з іншого боку – це може бути скомпенсовано температурними компенсаторами.

Згідно з огляду літературних джерел [6; 7; 8], найбільш прийнятні для автомобільної техніки конструкції теплоакумуляторів являють собою корпус, який для забезпечення теплоізоляції може мати подвійні стінки; внутрішня порожнина цього корпусу заповнена фазоперехідним теплоакумуляуючим матеріалом, у якому розміщені трубки, по яких рухається теплоносії. Як теплоносії автори пропонують використовувати відпрацьовані гази двигуна автомобіля. Але слід відмітити, що ці гази мають температуру 600–700°C, що може призвести до термічної деструкції теплоакумуляуючого матеріалу, металу конструкції, а також до перегрівання рідини, яка охолоджує двигун, наслідком чого можливий вихід двигуна з ладу.

Формулювання мети дослідження

Ми поставили перед собою мету розробити більш досконалі конструкції теплових акумуляторів для передпускового прогрівання двигуна автомобіля.

Викладення основного матеріалу дослідження

Як теплоакумуляуючі матеріали ми використовували октагідрат гідроксиду барію $[\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ (для капсульного теплоакумулятору) і озокерит (для трубчастого теплоакумулятору), як теплоносії – охолоджуючу двигун рідину. При проектуванні використовували як капсульний варіант, так і теплоакумулятор у вигляді кожухотрубчастого теплообмінника.

При проектуванні таких пристроїв виникає необхідність моделювання їхньої роботи з метою визначення оптимальної поверхні теплопередачі, а з неї – кількості конструктивних елементів, таких як трубки апарату. Для подібного моделювання нами були розроблені прикладні програмні засоби в яких чисельними методами вирішувались рівняння теплового балансу системи циркуляції [10; 11]. При цьому була отримана система рівнянь теплового стану для кожного етапу роботи теплового акумулятору (зарядження, простоявання та розрядження). Отримане чисельне рішення такої системи для кожної запропонованої конструкції теплоакумулятору дозволяє зробити висновок про час прогріву рідини-теплоносія і двигуна (повинні бути найкоротшими), час розрядження теплоакумулятору (повинен бути якнайдовшим) для різних конструкцій теплоакумуляторів.

Окрім чисельних розрахунків, працездатність та ефективність роботи теплоакумулятору нами перевірялась шляхом стендових випробувань (рис. 1). Нагрівання теплоакумулятору здійснюється за рахунок електронагрівача 5, в нашому випадку на 1,5 кВт. Випробування проводяться тільки після нагріву теплоакумуляуючої речовини до температури 80 °C. Холодна рідина міститься в резервуарі 1, з якої після відкриття крана 2 протікає по трубопроводу 3, що пов'язує резервуар з теплоакумулятором, проходить через теплоакумулятор 4, і послідовно через трубопровід 6, що містить датчики контролю температури t_2 , t_3 потрапляє у резервуар для прогрітої речовини 7.

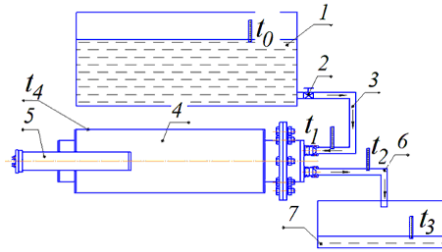


Рис. 1. Схема стенду для випробування ТА:

1 – резервуар з холодною рідиною, 2 – кран, 3, 6 – трубопроводи, 4 – теплоаккумулятор, 5 – електронагрівач, 7 – резервуар з нагрітою водою

Далі ми наведемо декілька перспективних нових конструкцій тепло акумуляторів, які мають достатньо високі робочі показники щодо теплоємності та простоти експлуатації.

Капсульний теплоаккумулятор являє собою ємність, по якій циркулює теплоносій і всередині якої закріплені капсули з теплоакмулюючим матеріалом (рис. 2). Як заготовки для капсул була вибрана безшовна алюмінієва труба зовнішнім діаметром 22 мм і товщиною стінки 1,25 мм. Вибраний діаметр представляється нам найбільш оптимальним, оскільки дозволяє одержати достатню площу поверхні контакту охолоджуючої рідини з капсулами при збереженні прийнятної трудомісткості виготовлення. У капсули заливався розплавлений теплоакмулюючий матеріал – октагідрат гідроксиду барію ($T_{пл} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому зверху залишався вільний простір для компенсації термічного розширення. Герметизація капсул здійснювалася завальцюванням труби після запресування в неї заздалегідь виготовлених сталевих пробок. Пробки забезпечені фасонними проточками, заповненими високотемпературним герметиком.

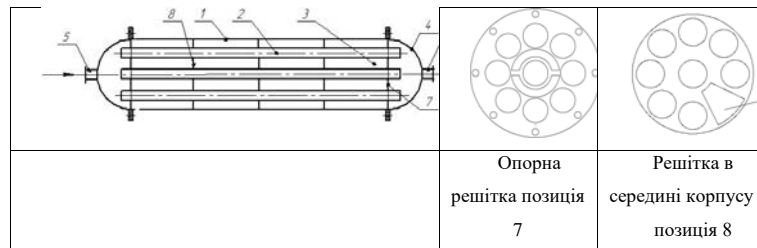


Рис. 2. Капсульний теплоаккумулятор:

1 – корпус; 2 – капсула з теплоакмулюючим матеріалом; 3 – зазор між капсулами; 4 – кришки; 5, 6 – штуцери для введення і виведення охолоджуючої двигун рідини; 7 – кріплення для капсул у вигляді решітки (показана справа)

У внутрішньому об'ємі за допомогою взаємного розташування капсул з теплоакмулюючим матеріалом формується потік рідини, завдяки чому можна мінімізувати гідравлічні втрати і поліпшити теплообмін між теплоносієм і теплоакмулюючою речовиною, що міститься в колбах.

Детальне прогнозування режимів течії рідини в міжтрубному просторі та теплових потоків [23] надає можливість провести вибір конфігурації розташування капсул з теплоакмулюючою речовиною, розрахувати тепловтрати та гідравлічні опори секцій тощо.

Капсули кріпляться за допомогою опірних решіток. Взаємне розміщення капсул усередині теплоаккумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакмулюючу речовину, що знаходиться в капсулах, а також інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх. При цьому необхідно прагнути розмістити в заданому об'ємі максимальний об'єм теплоакмулюючого матеріалу. Найприйнятнішим способом розташування капсул усередині корпусу виявилася шахове розташування. Також інтенсифікації теплообміну сприяють решітки всередині корпусу. Теплоносій рухається через решітки всередині корпусу по гвинтовій траєкторії. Це досягається за рахунок послідовного зміщення простору 9 у решітках всередині корпусу на 90° .

При шаховому розташуванні капсул уздовж потоку охолоджуючої рідини остання переміщається у горизонтальному напрямку по фактично прямолінійних каналах (зазор між капсулами 3, рис. 2), утворених простором

між капсулами. Така компоновка характеризується низьким гідравлічним опором і високою швидкістю течії рідини. Це позитивно позначається на продуктивності електричного циркуляційного насоса.

Нами також запропоновані різні конструктивні рішення теплоаккумуляторів у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з різною будовою труб, по яких рухається охолоджуюча двигун рідина – теплоносіє для теплоаккумулятора.

На рис. 3 показана конструкція теплового акумулятора з U-подібними трубами. Теплоаккумулятор складається з подвійного герметичного корпусу 1 з зазором 2 під теплову рідину ізоляцію. У цьому зазорі розміщений трубчастий електронагрівач. Внутрішня порожнина 4 подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакмулюючим матеріалом 5 та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням 7. Патрубок 10 для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор, оснащений електромагнітним клапаном 11; патрубок 12 для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора, оснащений насосом 13 та електромагнітним клапаном 14.

Тепловий акумулятор функціонує таким чином. При русі автомобіля відбувається зарядження теплового акумулятора тепловим носієм заряду – гарячою охолоджуючою двигун рідиною, яка циркулює за допомогою насоса (не показаний) системи охолодження двигуна по замкненому контуру через патрубок 10 (електромагнітний клапан 11 відкритий), колекторну камеру 9, U-подібний рідинний теплообмінник 6 та патрубок 12 (електромагнітний клапан 14 закритий). Проходячи по U-подібному рідинному теплообміннику, охолоджуюча двигун рідина нагріває фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал 5 і підтримує його у розплавленому і нагрітому до температури 95-102 °С стані. При зупинці автомобіля відбувається відключення теплового акумулятора від системи охолодження двигуна за допомогою електромагнітного клапана 11 (закритий). В період стоянки автомобіля відбувається охолодження теплоакмулюючого матеріалу і охолоджуючої двигун рідини, теплоакмулюючий матеріал кристалізується, за рахунок чого виділяється тепло, яке підтримує температуру рідини на рівні 40–45 °С на протязі від 12 годин до однієї доби в залежності від теплоізоляції теплового акумулятора. Для функціонування теплового акумулятора з метою передпускового прогріву двигуна автомобіля вмикають насос 13, організуючи циркуляцію теплоносія (холодну охолоджуючу двигун рідину) по вищезгаданому замкненому контуру з U-подібним рідинним теплообмінником (клапани 11, 14 відкриті), із якого підігріта охолоджуюча двигун рідина надходить до оболонки охолодження двигуна. При тривалій стоянці автомобіля вмикається електронагрівач 3, який нагріває теплову рідину ізоляцію (воду) у зазорі 2 подвійного герметичного корпусу поз. 1 до 80 °С. Цього достатньо, щоб розплавити фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал та здійснити передпусковий прогрів двигуна. При пуску двигуна (насос 13 відключений, електромагнітний клапан 14 закритий) відбувається за допомогою насоса системи охолодження двигуна циркуляція охолоджуючої рідини по вище згаданому – тепловий акумулятор заряджається.

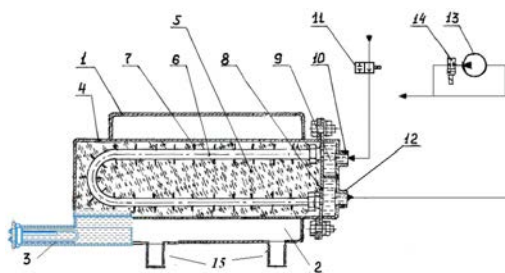


Рис. 3. Конструктивне рішення теплоаккумулятора

у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з U-подібними трубками:

- 1 – подвійний герметичний корпус; 2 – зазор між зовнішньою стінкою і внутрішньою порожниною;
- 3 – трубчастий електронагрівач; 4 – внутрішня порожнина корпусу; 5 – теплоакмулюючий матеріал;
- 6 – U-подібні труби; 7 – оребрення; 8 – трубна решітка; 9 – колекторна камера; 10 – патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор; 11, 14 – електромагнітні клапани;
- 12 – патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора; 13 – насос;
- 15 – штуцери для введення та виведення теплової рідинної ізоляції

На рис. 4 показаний теплоаккумулятор зі спіральною, а на рис. 5 – зі змієвиковими трубами.

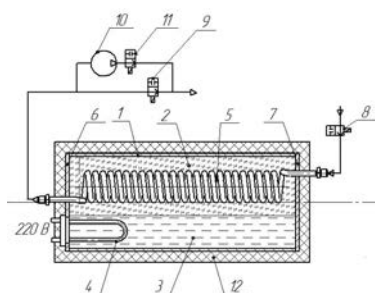


Рис. 4. Конструктивне рішення теплоаккумулятора у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників зі спіральною трубкою

Позначення – на рис. 5.

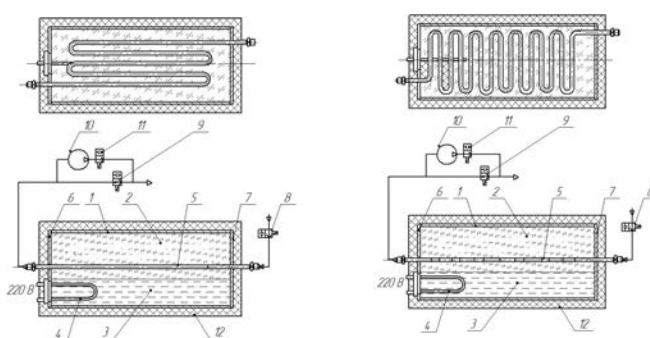


Рис. 5. Конструктивне рішення теплоаккумулятора у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників зі спіральною трубкою:
а – витки розташовані паралельно осі теплоаккумулятора;
б – витки розташовані перпендикулярно осі тепло аккумулятора.

1 – герметичний корпус; 2 – фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал; 3 – вода;
4 – трубчастий електронагрівач; 5 – спіральна або змієвикові труби; 6, 7 – трубна решітка;
8, 9, 11 – електромагнітні клапани заряду-розряду; 10 – насос для циркуляції охолоджуючої двигун рідини; 12 – теплоізолюючий матеріал

Теплоаккумулятори, зображені на рис. 4, 5, працюють аналогічно конструкції рис. 3. Різниця в конструктивних рішеннях полягає у тому, що фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал і теплоносій, які в конструкції рис. 3 розділені, у конструкціях рис. 4, 5 знаходяться в одному просторі герметичного корпусу 1, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоаккумулятора.

Випробування вказаних на рис. 3–5 теплоаккумуляторів на стенді (рис. 1) показало, їх використання для передпускового нагрівання двигуна автомобіля забезпечує запуск двигуна без попереднього розігріву за 5–10 с. Це дозволяє заощадити паливо і покращити санітарні умови за рахунок зменшення викидів відпрацьованих газів двигуна.

Висновки

За результатами досліджень запропоновано низку конструкторських рішень для теплоакмуляційної техніки з теплоакмулюючим матеріалом фазового переходу. Запропоновано теплоаккумулятор капсульного типу з шаховим розташуванням капсул, при цьому капсули кріпляться за допомогою опорних решіток, а взаємне розміщення капсул усередині теплоаккумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакмулюючу речовину, що знаходиться в капсулах, а також інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх.

Також запропонована конструкція теплового акумулятору з U-подібними трубами, яка складається з подвійного герметичного корпусу з зазором під теплову рідинну ізоляцію, в якому розміщений трубчастий електронагрівач, а внутрішня порожнина подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакмулюючим матеріалом та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням, при цьому патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор оснащений електромагнітним клапаном, а патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора оснащений насосом з електромагнітним клапаном.

Представлено також теплоаккумулятори зі спіральною трубкою та зі змієвиковими трубами, в яких, на відміну від попередніх конструктивних рішень, фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал і теплоносії знаходяться в одному просторі герметичного корпусу, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоаккумулятора.

Список використаної літератури

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmaier 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, 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. (2017). 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]. 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. Ключев 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. Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery, Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], 2010. № 6 (148). P. 246–251.
10. Аппазов Е.С. Моделирование гидродинамических та тепловых процессов при передпусковой подготовке автомобильных двигателей / Е.С. Аппазов, О.І. Ключев, С.А. Русанов // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: научный журнал. – Херсон: Вид-во ХДМА, 2014. № 1(10). С. 131–136.
11. Дмитрієв Д.О., Аппазов Е.С., Русанов С.А., Ключев О.І. Моделирование процесса розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковой подготовке // Вісник Хмельницького національного університету, № 5, 2015, С. 54–58.

References

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmaier 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, 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. (2017). 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]. 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 hidrodinamichnykh 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 teplovyim akumuliatorom pry peredpuskovii pidhotovtsi. [Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu], № 5, S. 54–58.