

**Підвищення ефективності експлуатації автомобілів з гібридними
силовими установками за рахунок використання методів теплової
підготовки**

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Основні відомості про фазоперехідні акумулятори теплової енергії	4
2. Особливості конструкції теплових акумуляторів фазового переходу для транспортних засобів і стаціонарних енергетичних установок з двигунами внутрішнього згорання	10
3. Аналіз конструкцій теплових акумуляторів фазового переходу транспортних засобів і енергетичних установок	12
4. Особливості формування схеми і дослідження процесів утилізації електричної енергії для здійснення теплової підготовки гібридного транспортного засобу	24
Висновки.....	28
Список використаної літератури.....	29

ВСТУП

При експлуатації транспортних засобів і двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), особливо в умовах низьких температур, виникає проблема їх безаварійного пуску й підготовки до прийняття навантаження (попередній передпусковий прогрів). Це пояснюється порушенням теплового балансу ДВЗ. Ефективність використання транспортних ДВЗ в умовах експлуатації суттєво залежить, в тому числі, від часу, який витрачається на допоміжні операції. До таких операцій, у складі транспортного засобу, відноситься передпускова тепла підготовка транспортних ДВЗ, що містить у собі комплекс заходів, які забезпечують впевнений пуск двигуна і прискорену його теплову підготовку до прийняття навантаження відразу після запуску. Тепловий стан транспортного ДВЗ впливає на процеси зношування поверхонь, утворення відкладень, показники надійності деталей, ефективні показники двигунів і транспортних засобів в цілому. Для усунення вищевказаних проблем доцільно впровадження технології акумулювання теплоти у матеріалах на основі фазових переходів типу плавлення й кристалізації у вигляді накопичувачів.

Базуючись на досвіді використання енергозберігаючих і гібридних систем на транспорті, електричних накопичувачів (конденсаторів) надвеликої місткості, може бути цілком обґрунтовано здійснити вибір структури, принципу дії рекуперативної системи і схеми включення її в мережу транспортного засобу. Актуальним напрямком вирішення проблем теплової підготовки транспортних двигунів і гібридних силових установок в умовах експлуатації може бути поєднання можливостей рекуперативної системи транспортного засобу з електричною тягою і системою утилізації теплової енергії транспортного двигуна.

1 Основні відомості про фазоперехідні акумулятори теплової енергії

Тепловий акумулятор фазового переходу (ТА) може використовуватись, як індивідуальний бортовий накопичувач теплової енергії, що призначений для передпускової теплової підготовки транспортного засобу і його двигуна. Це стосується як енергетичної, так і транспортної машини. Накопичувач при непрацюючому ДВЗ може використовуватись для опалювання кабіни, обігріву агрегатів трансмісії. Сьогодні існує достатньо велика кількість різних відомих і перспективних рішень у цьому напрямку, по-друге. Також відомо багато нових типів і конструктивних рішень ТА. Крім цього, ТА випускаються невеликими партіями на промислових підприємствах.

Зупинимось на деяких визначеннях [1-8]. *Теплове акумулювання* – це фізичні і хімічні процеси, за допомогою яких відбувається накопичення теплової енергії в тепловому акумуляторі. Можливість акумулювання теплоти заснована на використанні основного фізичного або хімічного процесу, який пов'язаний з поглинанням і виділенням теплоти. До основних процесів накопичення теплоти відносяться: накопичення-видалення внутрішньої енергії при нагріванні-охолодженні, фазові переходи з поглинанням-видаленням прихованої теплоти, процес сорбції-десорбції або обернена хімічна реакція, яка протікає з виділенням-поглинанням теплової енергії [1-18]. Вказані процеси реалізуються у спеціальних технічних пристроях – теплових акумуляторах [1-18]. Речовини, що використовуються для накопичення теплової енергії, називаються теплоакумуючими матеріалами (ТАМ).

За типом процесу в ТА розрізняють [1-9]: теплоємкісну акумуляцію - теплове акумулювання енергії твердими і рідкими тілами за рахунок зміни температури речовини; теплове акумулювання енергії за допомогою використання теплоти фазового переходу; термохімічне акумулювання теплової енергії.

Найбільш простим є теплоємкісна акумуляція, яка заснована на здатності речовин накопичувати енергію при нагріванні. При цьому кількість акумульованої енергії залежить від температури, на яку нагрівається ТАМ, а також його питомої теплоємності. Цей спосіб давно застосовується в побутових цілях - при опаленні печами, які виконуються досить масивними і накопичують під час нагрівання теплоту, яка потім поступово витрачається на обігрів приміщення. З точки зору величини питомої теплоємності - здатності акумулювати теплоту в розрахунку на 1 кг. маси, однією із найкращих речовин є звичайна вода.

Іншим способом - акумулювання теплової енергії, що базується на використанні оборотного процесу фазового переходу плавлення-затвердіння. У цьому випадку, в якості ТАМ використовується матеріал, який змінює фазовий стан. Реалізація цього способу виявляється складнішою через необхідність ускладнення конструкції ТА. Однак, у таких теплових акумуляторах фазового переходу на одиницю об'єму запасастся набагато більше теплової енергії у кількісному вигляді. Процес зарядки і розрядки, при цьому, може бути здійснений у дуже вузькому діапазоні температур. Це виявляється дуже важливим при забезпеченні роботи ТА в умовах невеликого температурного перепаду.

Термохімічне акумулювання теплової енергії базується на використанні оборотних хімічних реакцій. При цьому можливо запасати теплової енергії на одиницю маси більше, ніж у попередніх випадках. Процес складний у реалізації.

Найбільшу перспективу мають фазоперехідні акумулятори теплоти, які використовуються на теплоелектростанціях. Там можливо їх використання в якості резервних накопичувачів теплової енергії, в системах утилізації скидної теплоти, в системах опалення повітря тощо.

Основні напрямки використання ТА фазового переходу пов'язані з певним температурним діапазоном. За інтервалами робочих температур їх можливо розділити на основні 4 класи (табл. 1) [1-9].

Таблиця 1

Класи ТА фазового переходу в залежності від діапазону температур

Клас ТА фазового переходу	Для виробництва холоду	Низько-температурні	Середньо-температурні	Високо-температурні
Діапазон робочих температур, °C	менше 20	20 - 200	200 - 500	більше 500

Використання ТА фазового переходу для виробництва холоду пов'язано з необхідністю зберігання харчових продуктів і медичних тканин, у тому числі в умовах транспортування. Середньо- і високотемпературні ТА фазового переходу поки не знайшли широкого застосування для промисловості. Використання середньотемпературних фазоперехідних ТА пов'язано в основному з енергетичними установками і системами утилізації теплової енергії. Високотемпературні фазоперехідні ТА фазового переходу застосовують у металургії та енергетиці. Найбільш широке застосування знайшли низькотемпературні фазоперехідні ТА фазового переходу. Їх використання пов'язано з системами життєзабезпечення людини, екологічно чистими способами виробництва енергії та оптимізацією споживання енергії [1-18].

Тепловий акумулятор складається з резервуара (теплоізольованого) для зберігання акумулюючого середовища (робоче тіло), обладнання для зарядки й розрядки й допоміжного устаткування.

Теплоакumuлюючий матеріал фазового переходу – речовина, що володіє високими значеннями теплоємності і ентальпії фазового перетворення, які використовуються для роботи теплового акумулятора.

Класичним прикладом теплоакumuлюючого матеріалу на основі фазових перетворень може бути вода, що володіє достатньо високими тепловими характеристиками. Так, питома теплоємність води складає 4,19 кДж/кг·К, а

льоду 2,1 кДж/кг, питома теплота плавлення льоду дорівнює 330 кДж/кг, а питома теплота пароутворення 2,3 МДж/кг. На рис. 1 наведена діаграма стану води, яка ілюструє фазові перетворення типу плавлення↔кристалізація, пароутворення↔конденсація, що відбуваються під дією температури і тиску. Оскільки різні термодинамічні фази описуються різними рівняннями стану, завжди можливо за діаграмою знайти величину, яка стрибкоподібно змінюється при фазових перетвореннях [6].

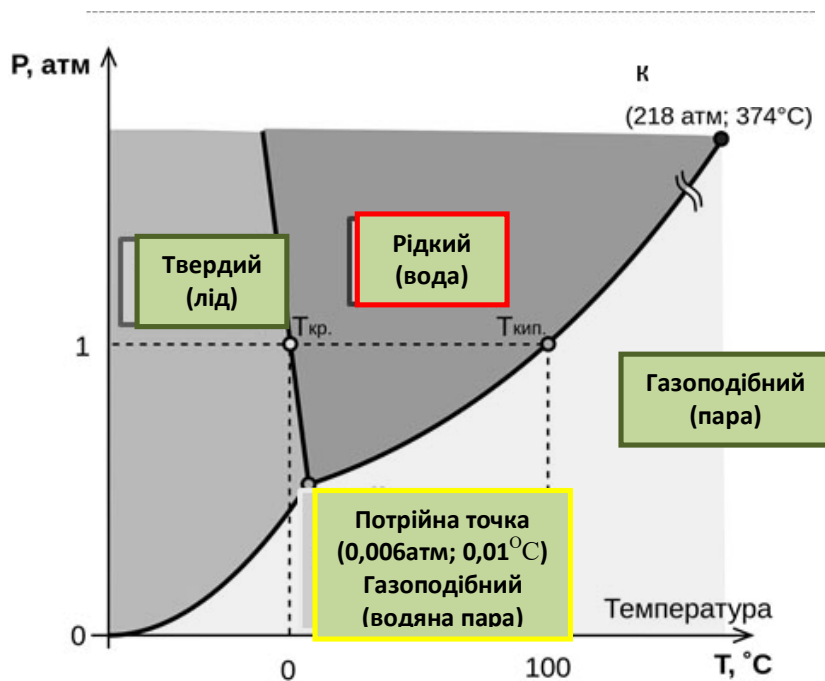


Рис. 1. Діаграма стану (на прикладі води)

Акумуляюча система характеризується способами, якими енергія для зарядки акумулятора відбирається від джерела, трансформується (при необхідності) у необхідний вид енергії й віддається споживачеві [5].

На рис. 2 показана схема теплового акумулявання з використанням ємності-акумулятора.

Енергетичний баланс для цього процесу в загальному вигляді можливо записати:

$$E_{ex} - E_{вих} = E_{ак} \quad (1.1)$$

де E_{ex} – підведена енергія, $E_{вих}$ – відведена енергія, $E_{ак}$ – акумульована енергія.

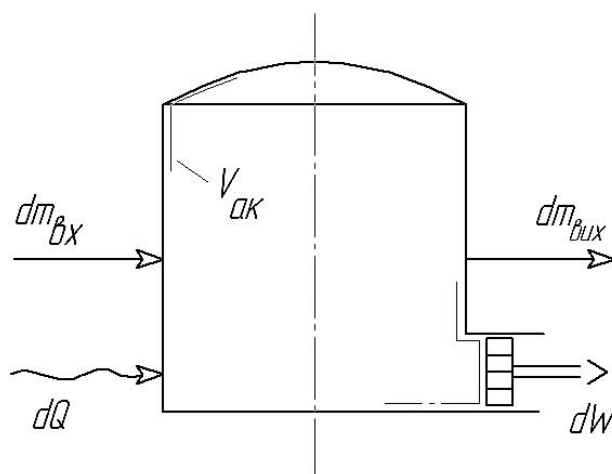


Рис. 2. Енергетичний баланс теплового акумулятора: $V_{ак}$ – об'єм акумулятора; dm_{ex} – маса середовища вхідна; $dm_{вих}$ – маса середовища вихідна; dQ – теплота, підведена до системи; dW – робота системи, яка не залежить від переносу маси

Застосовуючи перший закон термодинаміки для підведеної й відведеної енергії, одержимо основне рівняння акумулювання енергії для відкритих систем у диференційній формі:

$$(U + pV + gh + v^2 / 2)_{ex} dm_{ex} + dQ - (U + pV + gh + v^2 / 2)_{вих} dm_{вих} - dW = d \left[(U + gh + v^2 / 2)_{ак} dm_{ак} \right], \quad (1.2)$$

де dm_{ex} – маса середовища вхідна; $dm_{вих}$ – маса середовища вихідна; $dm_{ак}$ – маса середовища, що акумулює; U – внутрішня енергія (відлічувана від довільного нульового рівня); p – тиск; V – питомий об'єм; g – прискорення сили тяжіння; h – висота (відлічувана від довільного нульового рівня); gh – питома потенціальна енергія; v – швидкість течії; $v^2/2$ – питома кінетична енергія; dQ – теплота, підведена до системи; dW – робота системи, що не залежить від переносу маси.

Дослідження рівняння (1.2) показує, що акумулювання енергії може здійснюватися в результаті зміни: а) питомої внутрішньої енергії; б) питомої потенціальної енергії; в) питомої кінетичної енергії; г) маси системи. До теплового акумулювання енергії звичайно відносять випадок (а) і (б), якщо

питома внутрішня енергія робочого тіла вище, чим навколишнього середовища. Якщо накопичення кінетичної і потенційної енергії виключено ($v_{ак} = 0$, $h = 0$) і якщо, крім того, члени рівняння (1.2), що відповідають кінетичній й потенціальній енергіям мас, що підводяться і відводяться зневажно малі, а робота обмежена рухом поверхонь, що обмежують систему, тобто:

$$dW = p_{ак} dV_{ак} \quad (1.3)$$

де $V_{ак}$ – об'єм акумулятора, $p_{ак}$ – тиск в акумуляторі,

то рівняння (1.2) можливо записати у вигляді придатної для акумулятора теплової енергії:

$$(U + pV)_{вх} dm_{вх} + dQ - (U + pV)_{вих} dm_{вих} = d(Um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}, \quad (1.4)$$

Використовуючи рівняння ентальпії, отримуємо

$$H = U + pV, \quad (1.5)$$

і, отже, енергетичний баланс (1.2) приймає вигляд

$$H_{вх} dm_{вх} + dQ - H_{вих} dm_{вих} = d(Um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}. \quad (1.6)$$

Відповідно баланс маси запишеться як

$$dm_{вх} - dm_{вих} = dm_{ак}. \quad (1.7)$$

Процеси зарядки й розрядки описуються в загальному вигляді рівняннями (1.4) або (1.6) і (1.7). У простих випадках можливе аналітичне розв'язання. В

інших, більш складних випадках можуть бути отримані чисельні розв'язки (особливо це відноситься до процесу розрядки).

Відповідно до прийнятих вище визначень і зроблених висновків можливо провести попередній розподіл акумуляторів теплоти в залежності від напрямку передачі енергії на ТА, в яких здійснюється: пряме акумулювання, що може бути акумулюючим і теплообмінним у тому самому середовищі; непряме акумулювання, коли енергія акумулюється тільки за допомогою теплообміну (наприклад, теплопровідність через стінки резервуара).

Крім цього ТА фазового переходу розділяються за тимчасовим фактором їх використання, відповідно до якого вони бувають короткострокової (добової) і довгострокової дії. Час циклу роботи ТА фазового переходу короткострокової дії не перевищує тривалості однієї доби. У ТА фазового переходу довгострокової дії тривалість процесу зарядки і розрядки може досягати річного періоду. Конструктивна відмінність між першими і другими позначається в першу чергу на їх розмірах, що пов'язано з необхідністю акумулювання різної кількості теплової енергії. Крім того, ТА фазового переходу довгострокової дії необхідно ефективно теплоізолювати через необхідність тривалого зберігання запасеної теплоти [2-16].

Маса або об'єм теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) залежать від відповідної щільності енергії, що запасється, а також ККД процесу акумулювання тепла. У реальному процесі акумулювання теплоти щільність запасаної енергії нижче теоретичного значення внаслідок наявності теплових втрат, вирівнювання поля температур, втрат при заряджанні й розряджанні акумулятора.

2 Особливості конструкції теплових акумуляторів фазового переходу для транспортних засобів і стаціонарних енергетичних установок з двигунами внутрішнього згорання

Відомо велика кількість видів і конструкцій ТА із зернистим ТАМ [4-9]. Це обумовлене широким спектром областей застосування ТА. Різноманіття методів і способів акумулювання призводить до формування і створення різних технологічних і конструктивних рішень, а саме принципів схем виконання ТА: ТА із твердим ТАМ; ТА з ТАМ, що плавиться; рідинні ТА; парові ТА; термохімічні ТА; ТА з електронагрівальним елементом, тощо.

В літературі [1, 8] показані ТА з нерухомою або рухомою матрицями. Застосування нерухомої матриці забезпечує максимальну простоту конструкції. Але вимагається більша маса ТАМ. Крім того, температура теплоносія на виході з акумулятора змінюється протягом часу, що вимагає додаткової системи стабілізації - підтримання постійних параметрів. Такі ТА можливо використовувати в стаціонарних енергетичних установках з ДВЗ.

Для використання ТА фазового переходу на мобільних машинах і стаціонарних енергетичних установках з ДВЗ необхідно розглядати їх основні показники, що визначаються в залежності від їх конструктивних рішень і призначення [2, 10 - 15]. При цьому застосовують основні припущення про рівномірність розподілу потоків теплоносіїв за площею нерухомої матриці ТА, незалежності властивостей ТАМ і теплоносіїв від температури тощо. При використанні теплоти плавлення деяких речовин забезпечується висока щільність енергії, що запасається ТА, невеликі перепади температур і стабільна температура на виході з теплового акумулятора. Однак більшість ТАМ у розплавленому стані є корозійно-активними речовинами, здебільшого вони мають низький коефіцієнт теплопровідності і змінюють об'єм при плавленні та мають відносно велику вартість. Відомий достатньо широкий спектр речовин, які забезпечують температуру акумулювання від 0 до 1400 °С. Широке застосування теплових акумуляторів з плавкими ТАМ стримується, насамперед, виходячи з міркувань економічності створюваних енергетичних установок з ТА.

При невеликих робочих температурах (до 120 °С) можливо застосування кристалогідратів неорганічних солей, що пов'язано, в першу чергу, з

використанням у якості ТАМ природних речовин [8]. Для реального застосування необхідно розглядати тільки ті речовини, які не розкладаються при плавленні або розчиняються в надлишковій воді, що входить до складу ТАМ. Застосування органічних речовин знімає питання корозійного руйнування корпусу ТА, забезпечує високі щільності запасаної теплової енергії, й достатньо великі техніко-економічні показники. Однак, у процесі роботи ТА з органічними ТАМ відбувається зниження теплоти плавлення внаслідок руйнування достатньо довгих ланцюжків молекул полімерів. Через низький коефіцієнт теплопровідності органічних ТАМ необхідно створення й застосування розвинених поверхонь теплообміну, що накладає конструктивні обмеження на застосування ТА.

При робочих температурах від 500 до 1600 °С застосовуються з'єднання й сплави лужних і лужноземельних металів [4, 8, 9]. Істотним недоліком застосування з'єднань металів прийнято вважати низький коефіцієнт теплопровідності, зміну об'єму при плавленні і корозійну активність [8]. Для захисту від хімічної корозії корпусу ТА необхідно підбирати інгібітори корозії або конструкційні матеріали, що забезпечують встановлений термін служби теплового акумулятора при конструюванні.

Перспективно використовувати суміші й сплави органічних і неорганічних речовин, які дозволяють забезпечувати необхідні значення температур плавлення й більші терміни служби ТА в цілому.

Застосування різноманітних теплоакumuлюючих матеріалів вимагає розробки надійних конструктивних рішень, спрямованих на максимальне використання позитивних якостей ТАМ і усунення їх недоліків для роботи на мобільних машинах і стаціонарних енергетичних установках з ДВЗ [8].

3 Аналіз конструкцій теплових акумуляторів фазового переходу транспортних засобів і енергетичних установок

Виконання аналізу конструкцій ТА фазового переходу краще почати з інформації у роботах [2, 17], де наводяться відомості про розробку баварського інженера О. Schatz, який створив найбільш відомий серійний ТА фазового переходу для транспортних засобів. Конструктивно даний ТА фазового переходу побудований наступним чином (рис. 3).

В якості теплоакумуючого матеріалу використано октагідрат гідроксиду барію $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$. Його укладено в герметично запаєні капсули 1, що виготовлено з тонких мідних пластин [2, 17]. Пакет таких капсул зібраний у єдину матрицю. Між капсулами 1 є щільні зазори 2, у яких розміщені турбулізатори (завихрювачі), що сприяють кращому теплообміну з циркулюючою охолоджуючою рідиною (ОР) між капсулами. Матрицю з капсул 1 поміщено у внутрішній корпус 3. Між внутрішнім 3 і зовнішнім 4 корпусами, виготовленими з нержавіючої сталі, передбачені вакуумна теплова ізоляція 5 і теплоізолятор 6. Для підведення й відведення ОР передбачені вхідний 7 і вихідний 8 патрубки. Накопичення теплової енергії ТА фазового переходу здійснюється при роботі ДВЗ за рахунок теплообміну його охолодженою рідиною з ТАМ, який перебувають у капсулах 1. Охолоджуюча рідина подається через вхідний патрубок 7 і проходить через щільні зазори 2 і подається через вихідний патрубок при цьому ТАМ нагрівається у твердій фазі до температури плавлення, плавиться, а потім нагрівається в рідкій фазі до відповідної температури, при якій настає теплова рівновага між ним і ОР. Зберігання накопиченої теплоти здійснюється за рахунок наявності в конструкції ТА фазового переходу прошарку вакуумної теплоізоляції 5 і теплоізолятора 6. Розігрів ДВЗ автомобіля або його салону відбувається за рахунок теплообміну ОР з розплавленим ТАМ, при якому останній перетерплює оборотний фазовий перехід з рідкого стану у твердий й виділяє сховану теплоту кристалізації. Теплота, що виділяється, переноситься охолоджуючою рідиною й передається деталям ДВЗ або повітрю, що перебуває в салоні [2, 17].

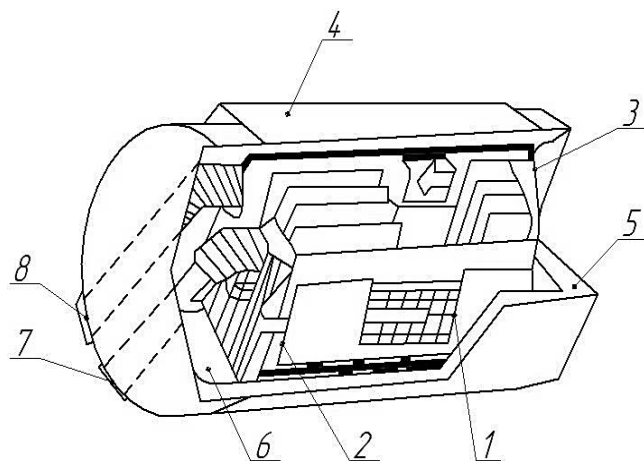


Рис. 3. Конструктивне виконання ТА фазового переходу конструкції О. Schatz [2, 17]: 1 - капсули з теплоакумуючим матеріалом; 2 - щілинні зазори; 3 - внутрішній корпус; 4 - зовнішній корпус; 5 - вакуумна теплова ізоляція; 6 - теплоізолятор; 7 - вхідний патрубок; 8 - вихідний патрубок

Вищеописаний ТА фазового переходу характеризується наступними технічними параметрами [2, 17]: енергоємність - 0,65 кВт·год; маса - 12 кг; запасеної теплоти достатньо для розігріву ДВЗ легкового автомобіля при безгаражному зберіганні протягом 3 діб при $T_0 = 253$ К; процес розігріву двигуна або салону триває близько 4 хв.; початкова теплова потужність - 35 кВт, а середня - 7 кВт. При направленні теплової потужності на обігрів салону автомобіля при непрацюючому ДВЗ, температура повітря на виході з нагрівача вже через 45 с досягає 313 К, внаслідок чого вже через 5 хв. у салоні автомобіля встановлюється «кімнатна» температура.

У відповідності до [2, 16] перевагою описаного ТА фазового переходу, є те, що при його застосуванні в процесі передпускового прогріву двигун автомобіля виділяє в навколишнє середовище в період пуску й прогріву значно менше забруднюючих речовин. Якщо ж на автомобілі встановлений каталітичний нейтралізатор, його температура швидше досягне робочої величини 673-773 К. Значне зменшення токсичних викидів під час прогріву ДВЗ дозволяє використовувати автомобіль в режимі прогріву навіть в закритих приміщеннях. Основним недоліком ТА є складність підтримання температури рідкого теплоносія в межах $T_{\text{рід}} = 90...100$ °С для гарантованого накопичення ТА фазового переходу теплової енергії і зниження в цей період температури повітря в салоні, а, крім цього, при низькій температурі оточуючого

середовища складно забезпечити в двигуні температуру «гарячого прогріву» після пуску.

Описаний ТА випускається у виробничих умовах за кордоном. У роботі [17] наведені результати випробувань ТА фазового переходу конструкції D-r Oskara Schatz, які були виконані у Фінляндії на двигуні Volvo D24 і довели доцільність застосування ТА фазового переходу на автомобільному транспорті. В 1995 році цей винахід [17] одержав належну оцінку – система акумулювання тепла була визнана досягненням в області збереження й повторного використання енергії. Рішенням експертів з інженерії, науки й навколишнього середовища D-r Oskar Schatz удостоївся премії престижного німецького клубу «Моторист протекшн».

Канадською фірмою «CENTAUR Thermal Systems Inc» за ліцензією освоєний випуск і випускається до сьогодні ТА фазового переходу вищеописаної конструкції чотирьох типів з енергоємністю 550, 600, 900 і 1070 Вт · год (табл. 2), які забезпечують зберігання накопиченої теплоти протягом 12 – 168 год [18].

Таблиця 2

Основні технічні характеристики акумуляторів Centaur [1-16]

Модель приладу	4,6	5	7,5	9
Теплоємність, Вт·год (при нагріванні від -20 до 90 °C)	550	600	900	1070
Маса акумулятора, кг	2,4	2,6	3,3	3,8
Маса акумулятора, заповненого рідиною, кг	7	7,6	10,8	12,8
Габарити, мм	340 x 164	370 x 164	513 x 164	596 x 164
Ємність акумулятора, л	4,6	5	7,5	9
Застосовується на двигунах з робочим об'ємом, л	1,0 – 1,5	1,5 – 1,8	до 3,0	більше 3,0

Тепловий акумулятор Centaur виконує функції передпускового підігрівача. У ньому зберігається, а потім використовується теплова енергія, що виділяється від працюючого двигуна через систему рідинного охолодження. Centaur - це ємність-термос, що виготовлена з нержавіючої сталі, включений у систему охолодження транспортного ДВЗ (рис. 4). Його місткість повинна дорівнювати місткості всієї системи охолодження двигуна. При роботі двигуна через електронно-керований регулюючий клапан електричний насос поступово заповнює ємність-термос нагрітою до робочої температури рідиною. Холодна рідина, що заповнює термос, при цьому виштовхується в систему охолодження. При цьому температури рідини в ємності-термосі й системі охолодження транспортного двигуна вирівнюються і процес «заряджання» акумулятора теплоти припиняється. При тривалій стоянці транспортний двигун і всі його системи охолоджуються, а в ємності-термосі зберігається запас нагрітої до робочої температури охолоджуючої рідини. При наступному запуску транспортного ДВЗ гаряча рідина з ємності-термоса заміщує у двигуні холодну. Саме завдяки цьому двигун швидко розігрівается й легко заводиться. Коли в процесі руху двигун прогріється до оптимальної температури, холодна рідина в ємності-термосі поступово буде заміщуватися гарячою, що не впливає на тепловий режим двигуна [2, 17].

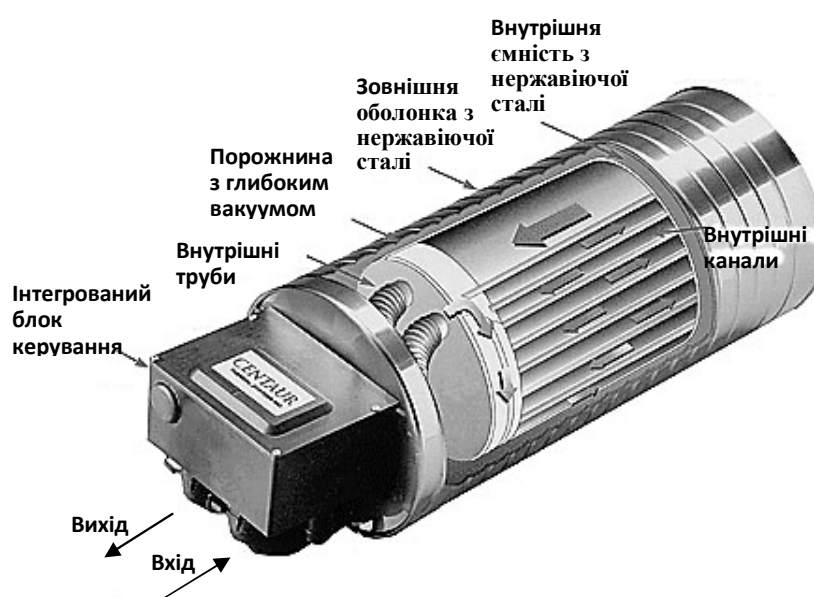


Рис. 4. Зовнішній вигляд теплового акумулятора Centaur [2, 17]

Завдяки ємності-термосу тепле повітря починає надходити в кабінку вже через 30 с, вміст у відпрацьованих газах СО зменшується на 50%, а вуглеводнів – на 30%, при цьому економія палива може досягати 14%. Але головні переваги акумуляторів теплоти Centaur полягають у їхній енергонезалежності й здатності працювати рівною мірою успішно як із бензиновими двигунами, так і з дизелями [17].

Система тестувалася на автомобілі з об'ємом 1,6 л. при температурі навколишнього середовища $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через дві хвилини температура транспортного ДВЗ досягала $+25\dots 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коли двигун досягає оптимальної для роботи температури, холодна охолоджуюча рідина повільно надходить назад у систему охолодження за допомогою регульовального клапана, замінюючи гарячу охолоджуючу рідину, щоб та була готова для використання при наступному холодному старті. Під час руху транспортного засобу електронний термостат регулярно контролює температуру двигуна. В теплий період року у системи з ТА Centaur не має потреби в демонтажі останнього, вона працює таким же способом, але не на підігрів двигуна, а на його охолодження.

Спеціальні датчики реагують на підвищення температури Тосолу й при досягненні граничних значень порціями видають холодний Тосол у систему охолодження під час поїздки, тим самим охороняючи двигун від закипання. Звичайно, як і будь-який винахід, система акумуляування тепла Centaur має свій недолік. Вона не може ефективно використовуватись на тих машинах, які експлуатуються рідше, чим раз на трое діб. Перерва в експлуатації не повинна бути великою. А якщо ні, то Тосол в тепловому акумуляторі охолоне.

Вирішення задачі забезпечення можливості утилізувати й накопичувати теплову енергію без зниження ефективності накопичення теплоти для наступної утилізації при зменшенні об'ємної витрати гарячого теплоносія, описано в [11]. Поставлена задача вирішується за рахунок того (рис. 5), що в теплоізовованому корпусі виконано два трубні пучки, один утворює газовий

контур, другий - водяний контур, а міжтрубний простір заповнений теплоакумуючим матеріалом.

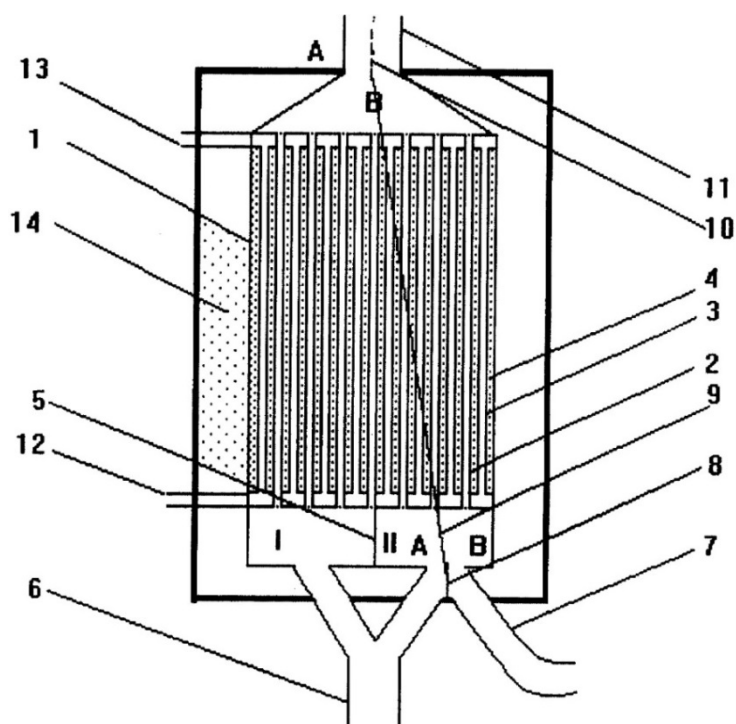


Рис. 5. Пристрій для утилізації і накопичення теплової енергії

При цьому газовий контур перегородкою розділений на дві частини ліву (I) і праву (II), що дозволяє при більших об'ємних витратах газів працювати за одноходовою схемою, а при малих об'ємних витратах газів за двоходовою, причому ліва його частина за величиною прохідного перетину й поверхні теплообміну більша за праву, оскільки в другому заході при охолодженні газів за двоходовою схемою має місце зменшення об'ємної витрати газів. Колектор підведення гарячого теплоносія виконаний розгалуженим, один з патрубків з'єднаний з лівою (I) частиною пристрою для утилізації і накопичення теплової енергії (ТА), а другий із правою (II) частиною пристрою. На патрубок підведення відпрацьованих газів до правої частини пристрою встановлений додатковий трубопровід, що розділений саморегулюючою заслінкою, яка може перекривати патрубок підведення гарячих відпрацьованих газів або додатковий трубопровід. В залежності від об'ємної витрати газів, змінюється тим самим схема роботи утилізаційного пристрою. При закритому правому патрубку підведення відпрацьованих газів утилізаційний пристрій працює як звичайний

двоходовий теплообмінник, а при закритому додатковому трубопроводі - як одноходовий. Синхронно із цією заслінкою працює заслінка, що встановлена у випускному колекторі. При закритому правому патрубку підведення газів вона закрита, а при закритому додатковому трубопроводі - відкрита. Новим у ТА є наявність перегородки у корпусі пристрою, а також виконаний розгалуженим колектор підведення гарячих газів, що має два підвідних патрубки і додатково трубопровід, який розділений від підвідних патрубків заслінкою, що має механізм саморегулювання, а, крім цього, в вихідному колекторі також встановлена заслінка [11]. Описаний ТА дозволяє покращити процеси передачі теплоти від гарячих газів за рахунок збільшення коефіцієнта теплопередачі при роботі з малими об'ємними витратами.

На рис. 6, *а* показана така конструкція ТА; а на рис. 6, *б* – фрагмент перерізу ТА (вигляд А). Акумулятор [17] теплоти містить капсульний блок 1, розміщений у теплоізолюваному корпусі 2 із вхідним 3 і вихідним 4 отворами. Капсульний блок 1 складається із плоских порожніх кільцевих подвійних дисків 5 із центральним отвором і заповнений теплоакумуючим складом 6, що змінює свій агрегатний стан в інтервалі робочих температур. На одній плоскій поверхні дисків 5 є виступи 7 заданої висоти й із заданим розташуванням та два отвори, а на іншій плоскій поверхні диска 5 є два отвори з отбортовками, спрямованими назовні диска 5, висота яких більше висоти виступів 7, співвісних з отворами 8 на протилежній стороні дисків 5. Диски 5 капсульного блоку 1 з'єднані між собою герметично, причому отбортовки кожного диска 5 з'єднано з отворами іншого диска.

Прикладом використання акумулятора теплоти описаної вище конструкції може бути його застосування в системі передпускової теплової підготовки ДВЗ ТЗ або ЕУ. При русі автомобіля охолоджуюча рідина (ОР) двигуна розігріває теплоакумуючий склад, наприклад, гідроксид барію (температура плавлення 360 К (87 °С), питома теплота плавлення 305 кДж/кг). Під час стоянки автомобіля запасена теплота зберігається, а при запуску автомобіля при від'ємній температурі навколишнього середовища до мінус 40 °С, насос

прокачує ОР через акумулятор теплоти й двигун. Далі двигун нагрівається й надійно запускається. Процес може повторюватись [22].

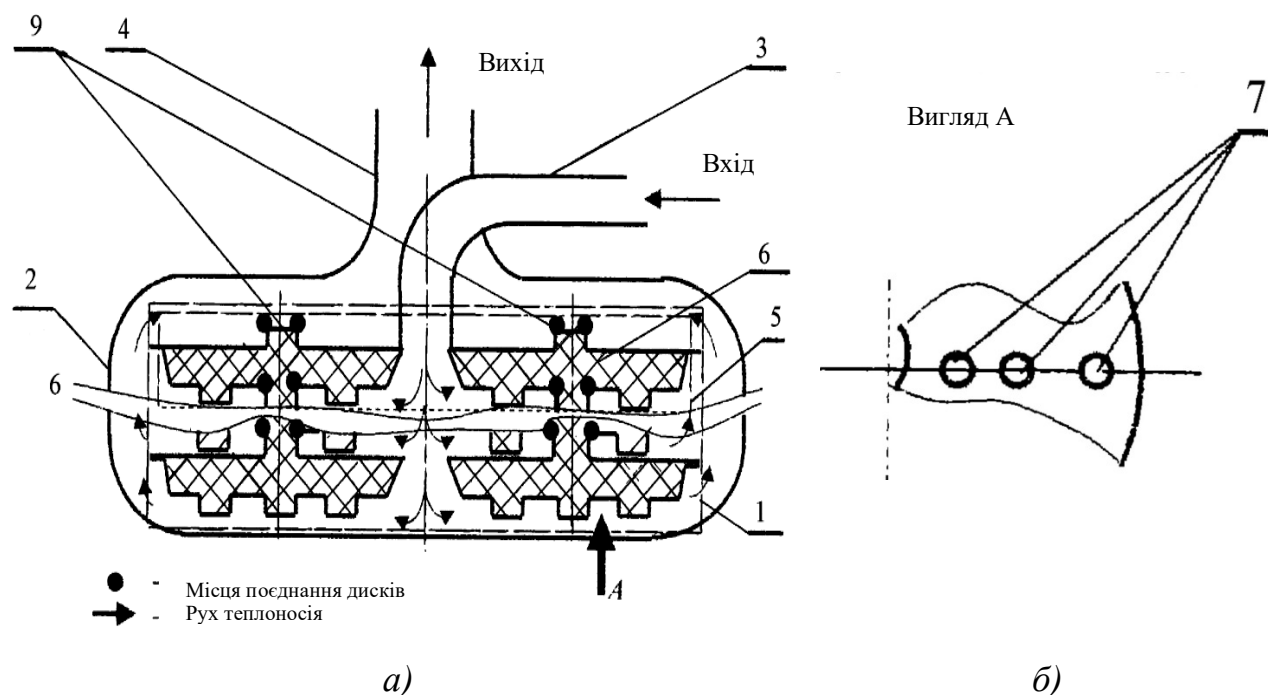


Рис. 6. Схема акумулятора теплоти [22]

Позитивний ефект досягається за рахунок створення конструкції капсульного блоку, що поєднує внутрішні об'єми всіх дисків, у результаті чого заправлення теплоакумуючим складом здійснюється один раз у повному обсязі, герметизація місць з'єднання складових деталей не вимагає спеціальної підготовки поверхонь і видалення їх теплоакумуючого складу, перевірка всіх місць з'єднання деталей на герметичність здійснюється через відсутність у внутрішніх порожнинах теплоакумуючого складу найпростішими технічними засобами. Це дозволяє спростити й зменшити трудомісткість операції з заправлення, збільшити надійність герметизації місць з'єднання деталей, зменшити технологічну складність перевірки герметичності місць з'єднання деталей.

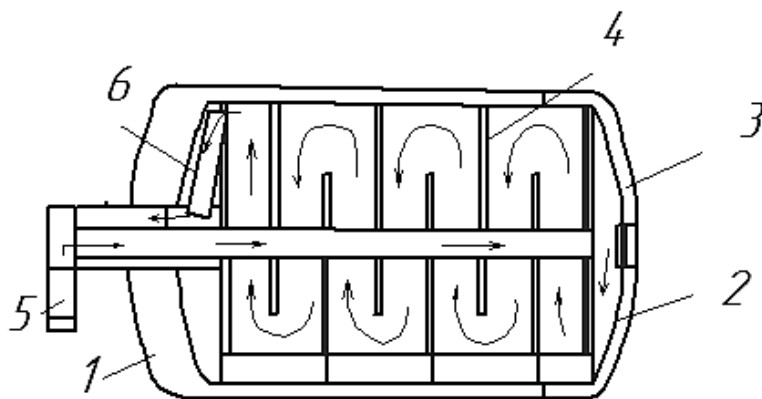
Таким чином для описаної конструкції кількість заправлень акумулятора теплоти теплоакумуючим складом зменшується в 30-100 разів, відповідно, в таке ж число разів зменшується кількість місць з'єднання деталей, що

вимагають герметичності й перевірки на герметичність при наявності теплоакумулюючого складу у внутрішній порожнині. Таким чином, у конструкції ТА зменшена трудомісткість виготовлення й випробувань і збільшена його надійність [2].

В [2] описаний розроблений і виготовляємий серійний ТА фазового переходу під назвою «Пристрій полегшення пуску автомобільного двигуна» (УОПД). Цей ТА має конструкцію, що суттєво відрізняється від конструкції О. Schatz. Теплообмінна матриця його являє собою пакет герметично заварених циліндричних капсул з нержавіючої сталі, які за допомогою перегородок відповідним чином встановлені у внутрішньому корпусі ТА фазового переходу для більш ефективного відводу від них накопиченої теплоти. У якості ТАМ застосовується моногідрат гідроксиду натрію $NaOH \cdot H_2O$, яким заповнені циліндричні капсули. У конструкції ТА фазового переходу застосована високоефективна вакуумно-порошкова теплоізоляція [2].

Рис. 7. Схема теплового акумулятора фазового переходу УОПД [2]:

- 1 - зовнішній корпус;
- 2 - внутрішній корпус;
- 3 - вакуумно-порошкова теплова ізоляція;
- 4 - перегородки;
- 5 - вхідний патрубок;
- 6 - вихідний патрубок



Підігрів ДВЗ проводиться за рахунок теплової енергії, що накопичується тепловим акумулятором від працюючого ДВЗ і може зберігатися до двох діб. Перед запуском ДВЗ або під час запуску гаряча охолоджуюча рідина (ОР) за допомогою електронасоса подається з теплового акумулятора у малий контур

двигуна і підігріває його. При цьому холодна охолоджуюча рідина із ДВЗ надходить у тепловий акумулятор, перемішуючи і заміщаючи гарячу охолоджуючу рідину без перемішування [2].

Тепловий акумулятор УОПД має кілька варіантів виконання з тепловою ємністю 200, 500 і 800 Вт·год. (УОПД-0,2, УОПД-0,5 і УОПД-0,8), що призначені для теплової підготовки бензинових, дизельних і працюючих на газі ДВЗ із робочим об'ємом до 9 літрів. До складу комплексу УОПД входять тепловий акумулятор з ложементом, електричний насос, гідророзподільник, пульт керування і блок керування; з'єднувальна гідравлічна і механічна арматура.

Результати випробування підігрівача УОПД-0,2 були проведені в "АвтоПлюсМАДИ" на автомобілі ВАЗ-21093 і з бортовим комп'ютером (рис. 8). Пристрій був установлений також на автомобілі ВАЗ 2110/ 11/12 [10]. При температурі навколишнього повітря -20°C і стоянці протягом 10-12 годин після циклу прогріву температурний датчик зафіксував температуру рідини $+12^{\circ}\text{C}$. Час прогріву до 40°C з уже працюючого двигуна скоротився в 4 рази, а до робочої температури (80°C) - в 2 рази. Витрата палива в режимі прогріву скоротилась на 40-50% і наблизилась до літніх показників.

Для покращення параметрів робочих процесів прогріву двигуна внутрішнього згорання ТЗ і ЕУ при формуванні і проектуванні теплових акумуляторів фазового переходу можливо використовувати різні технічні рішення. Основні можливі рішення, у порівнянні з уже відомими, вбачаються доцільними в порядку перспектив розвитку систем прогріву, як самого ДВЗ, так і ТЗ: керування температурним впливом при здійсненні процесу передпускового і післяпускового прогрівання ДВЗ, ТЗ в установлених межах в багатосекційному ТА (БТА); використання зовнішніх джерел енергії в ТЗ і ЕУ для підігріву двигуна й підтримання властивостей БТА; використання зовнішніх джерел енергії або рекуперація енергії в ТЗ і ЕУ для підігріву двигуна й підтримання властивостей ТА.

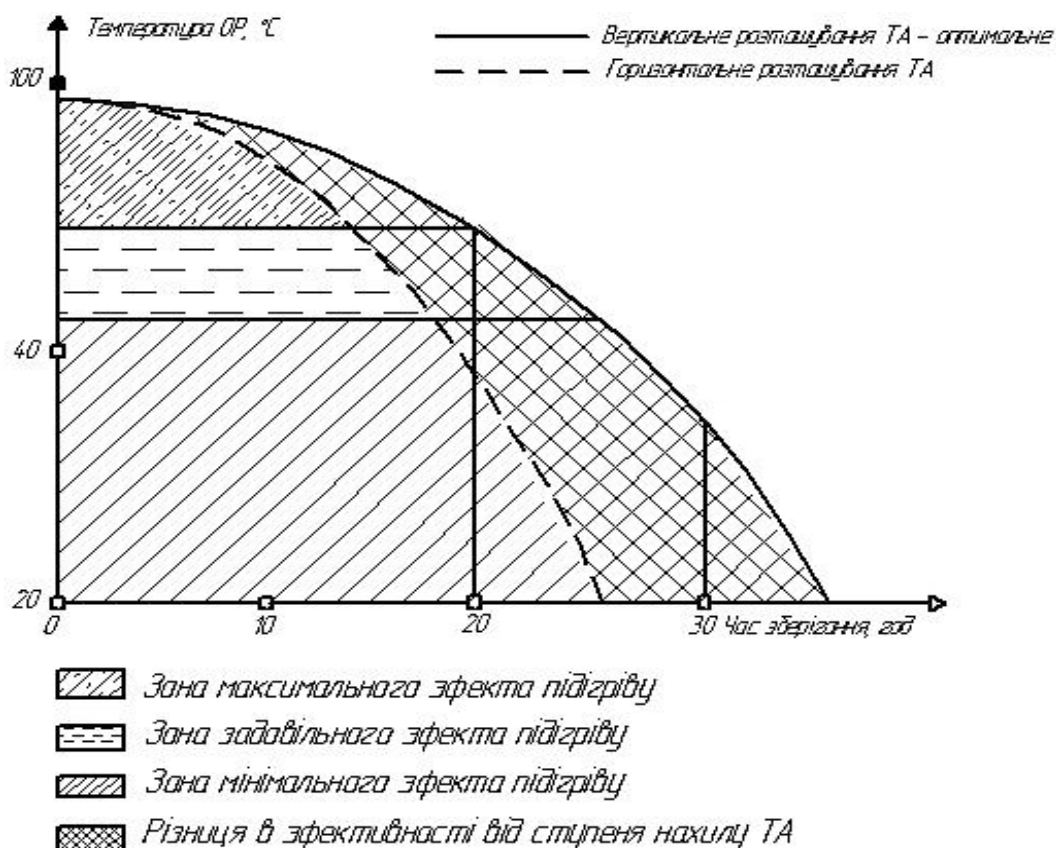


Рис. 8. Залежність температури ОР в ТА УОПД-0,2 від часу зберігання

4. Особливості формування схеми і дослідження процесів утилізації електричної енергії для здійснення теплової підготовки гібридного транспортного засобу

В роботі досліджувався відбір енергії гальмування транспортного засобу, її перетворення в електричну енергію, накопичення енергії і передача її для використання в системі прогріву. Роботи були розділені на 3 основних етапи [1, 4, 12, 16].

На першому етапі досліджувались процеси рекуперації енергії гальмування ТЗ, для чого розроблено і виготовлено фізичну модель рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею [1, 4, 12, 16]. Схема включає і досліджує накопичення, зберігання і реалізацію накопиченої енергії з використанням конденсаторів надвеликої місткості. На рис. 9 показано функціональну схему реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії

системою прогріву. Застосування в транспортних засобах в якості накопичувачів електричної енергії конденсаторів надвеликої ємності обумовлено тривалим терміном їх експлуатації, низькими вимогами до обслуговування, низьким внутрішнім опором, в результаті чого конденсатори здатні витримувати значно більші порівняно з акумуляторами струми заряду і розряду.

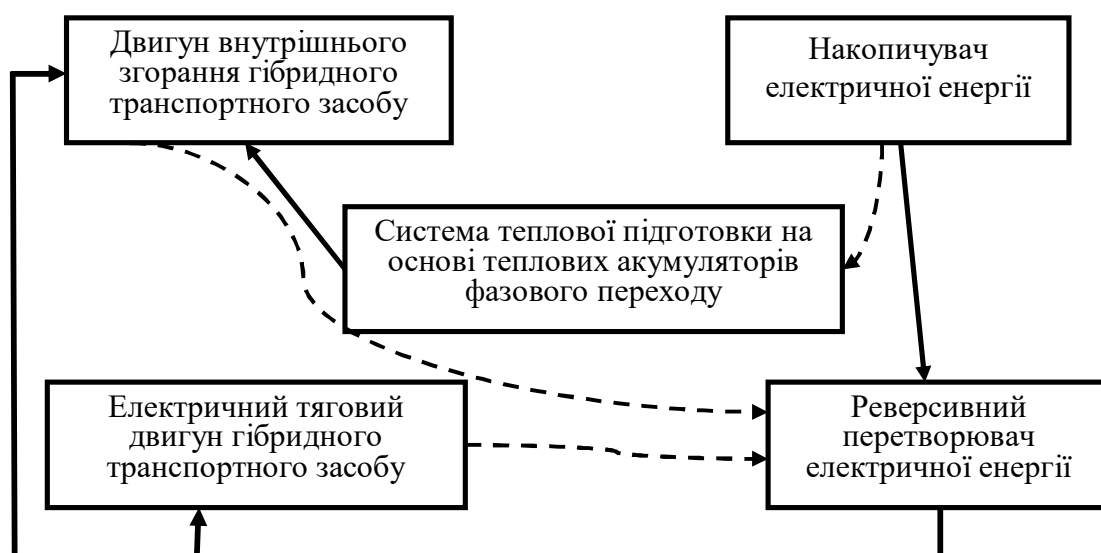


Рисунок 9 – Функціональна схема реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії в процесах накопичення енергії (пунктирні лінії) і реалізації накопиченої енергії (суцільні лінії)

Накопичення електричної енергії (рис. 9) може здійснюватись двома способами: від тягового електричного двигуна транспортного двигуна в режимі електрогальмування (тяговий електричний двигун працює в режимі генератора) і (або) від генератора двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу під час перерв в русі, але з працюючим ДВЗ. В обох випадках для узгодження параметрів джерел електроенергії і накопичувача використовувався перетворювач електричної енергії. Крім накопичення енергії для використання в теплових акумуляторах фазового переходу системи прогріву, при віддачі накопиченої енергії, перетворювач включається в реверсному режимі і може як самостійно здійснювати живлення тягового електродвигуна в режимі зрушення

з місця і первинного розгону, так і працювати спільно з тяговим генератором на перехідних процесах, використовуючи енергію, накопичену в конденсаторах. Блок-схема і деякі елементи фізичної моделі представлено на рис. 10.

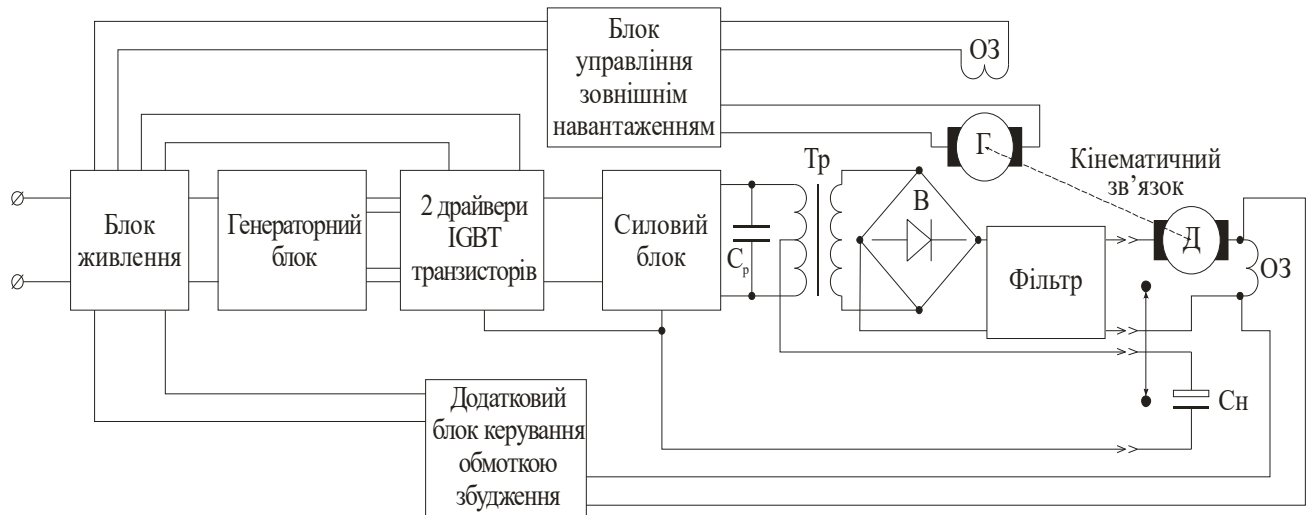


Рисунок 10 - Блок-схема фізичної моделі рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею: Тр - імпульсний силовий трансформатор; В - випрямляч; Г - електричний двигун (імітатор зовнішнього навантаження); Д - модель тягового електродвигуна; ОЗ - обмотка збудження; Сн - накопичувач електричної енергії

Оскільки напруга на конденсаторах залежить від ступеня їх заряду, виникла необхідність створення стабільно працюючого, перешкодостійкого перетворювача напруги з можливістю регулювання в широкому діапазоні струмів заряду і розряду накопичувача електричної енергії. Для регулювання величин струму заряду і розряду реалізовано принцип широтно-імпульсної модуляції зі зміною шпаруватості імпульсів від 0,89 до 0, що дозволяє в широких межах змінювати струмові параметри силового блоку. Узгодження напруг накопичувача електричної енергії і зовнішнього ланцюга здійснюється ступінчасто за рахунок зміни витків первинної і вторинної обмоток імпульсного силового трансформатора.

На фізичній моделі рекуперації енергії транспортного засобу з накопичувачами на надпотужних конденсаторах з електричною передачею і

утилізацією теплової енергії досліджувалась працездатність окремих блоків, визначалися оптимальні режими їх роботи, вивчалися питання завадостійкості, випробовувались різні схеми силового блоку [1, 4, 12, 16], вивчалась зміна параметрів на перехідних режимах роботи.

На другому етапі робіт на стаціонарній дизель - генераторній установці з дизелем К-461М досліджувались процеси рекуперації теплової енергії з використанням її для безпаливного передпускового прогріву ДВЗ і підтримки його робочої температури під час зупинок на тривалість теплової підготовки час [126].

Теплова енергія (рис. 10) відбирається в теплообміннику з потоку відпрацьованих газів (ВГ) при роботі ДВЗ і з потоком теплоносія надходить у модель багатосекційного теплового акумулятора (БТА) фазового переходу, що складається з трьох секцій. Секційна конструкція акумулятора продиктована необхідністю накопичення максимальної кількості теплової енергії та недопущенням контакту теплоносія, нагрітого до високих температур з деталями і моторною оливою двигуна внутрішнього згорання. Розроблена схема доповнювалась засобами автоматичного управління: електронним блоком управління, електричною запірною арматурою (клапанами) і засобами примусової циркуляції теплових потоків. На установці досліджені годинно-температурні параметри процесів накопичення та реалізації утилізуємої теплоти ВГ, запропоновані принципи і схематичні рішення реалізації автоматичного керування тепловими потоками, уточнені параметри теплового акумулятора фазового переходу.

На третьому етапі на основі проведених досліджень запропонована комбінована схема реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею та утилізацією теплової енергії ВГ (рис. 10, 11). Така схема фактично включає в себе як рекуперацію енергії гальмування ТЗ, так і рекуперацію теплової енергії, але додатково дозволяє витратити енергію, накопичену в конденсаторах надвеликої потужності для використання в БТА для передпускової підготовки ДВЗ або підтримання його в прогрітому

стані. Необхідність в такій схемі (рис. 10, 11) виникає у разі тривалої перерви у роботі ДВЗ ТЗ, коли БТА частково або повністю розрядиться за рахунок неминучих втрат тепла в оточуюче середовище. У той же час, термін зберігання накопиченої електричної енергії в конденсаторах надвеликої місткості без істотних втрат досить значний і обчислюється місяцями.

Таким чином, використання комбінованої схеми рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею та утилізацією теплової енергії ВГ в єдиному комплексі дозволяє здійснити значну економію палива і підвищити екологічні показники транспортних засобів при їх експлуатації. Дослідженнями показано доцільність та економічна обґрунтованість оснащення бортовою системою рекуперації енергії ТЗ з електричною передачею, так як при цьому може бути досягнена економія палива до 25 % (в залежності від режимів навантаження двигуна і характеру руху ТЗ) і поліпшуються екологічні показники експлуатації транспорту.

Для проведення дослідження і вивчення процесів рекуперації енергії руху розроблена і створена фізична модель рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею. Використання комбінованої схеми реалізації рекуперації енергії на ТЗ з електричною передачею та утилізацією теплової енергії ВГ в єдиний комплекс дозволяє здійснювати безпаливний передпусковий нагрів двигуна внутрішнього згорання, що істотно скорочує витрату пального і покращує екологічні показники експлуатації транспорту.

В результаті проведених досліджень запропоновано схему реалізації розробленої рекуперативної системи транспортного засобу без істотної зміни його штатної електричної схеми.

Висновки

В представленій роботі було досліджено систему комбінованого використання теплової та електричної енергії у фазово-перехідних теплових акумуляторах. Енергія, що генерується під час експлуатації гібридного транспортного засобу, може використовуватися для заряджання бортових теплових акумуляторів від теплової енергії відпрацьованих газів, охолоджуючої рідини та моторного масла двигуна внутрішнього газу. Електрична енергія також використовується для утилізації системою рекуперації енергії при гальмуванні гібридного транспортного засобу. В подальшому отримана енергія може бути використана для теплової підготовки різних підсистем гібридних транспортних засобів. Це дозволяє значно підвищити ефективність роботи гібридних ТЗ в умовах експлуатації. Дослідження на фізичній моделі бортової системи рекуперації в транспортних засобах з електричною тягою (двигуном) підтвердило можливість використання різних видів енергії в фазоперехідних теплових акумуляторах. Сформовано цикл забезпечення теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу. Обґрунтовано основні теплові та енергетичні характеристики складових компонентів системи та теплоакумуюючих матеріалів для використання в тепловому акумуляторі фазового переходу. Запропоновані і удосконалені схеми та конструктивне виконання системи й фізичної моделі рекуперації енергії з електричною передачею і утилізацією теплової енергії

Список використаної літератури

1. Зеленцов, В.В. Эксплуатационные свойства и тепловые режимы поршневых автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб.пособие / В.В. Зеленцов, В.В. Крупа; НГТУ. – Н.Новгород:, 2002. – 72 с.
2. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В.В.Шульгин / СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. - 268 с.
3. Александров В.Д. Теплоаккумулирующие материалы на основе кристаллогидратов / В.Д. Александров, О.В. Соболев, С.А. Фролова, И.В. Сельская, А.Ю. Соболев, С.Г. Бугасова, Н.В. Щебетовская, Д.П Лойко, В.Н. Ардатов, О.Е. Сильченко, М.В. Стасевич // Вісник ДонНАБА. 2009. – 1 (75). – С. 100-103.
4. Левенберг В.Д. Аккумуляирование тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем // Киев: Техника. 1991. - 112 с.
5. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумуляирование энергии. М.: Мир. – 1987. - 256 с.
6. Фазовый переход [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. - Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4 – 03.05.2014 г.
7. Сотникова О.А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения / Сотникова О.А., Турбин В.С., Григорьев В.А. // АВОК, 2003, №5, с. 40-46
8. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э., Дибиров М. А., Бочков М.М., Левина Л.Н., Кенисарин М.М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты. М.: ИВТАН АН СССР, 1990. № 2 (82).
9. Куликов Ю. А. Системы охлаждения, вентиляции и отопления автомобилей: [Монография] / Куликов Ю. А., Грибиниченко М. В., Гончаров А. В. – Луганск: Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2006. – 248 с.

10. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / Вашуркин И. О. – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.

11. Двигатели Стирлинга / Под ред. М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1977. - 150 с.

12. Уокер Г. Двигатели Стирлинга / Пер. с англ. Б.В. Сутугина, Н.В. Сутугина. - М.: Машиностроение, 1985. -408 с.

13. Кукис, В.С. Стабилизация температуры в ряде систем двигателей мобильной техники как средство повышения их мощностных, экономических и экологических показателей / В.С. Кукис, В.А. Романов // Материалы всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием «Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: - энергетические, экологические и технологические проблемы экономики» - Барнаул, 2007. - С. 71-73.

14. Ложкин В.Н. Теория и практика применения тепловых аккумуляторов фазового перехода для улучшения экологических и топливно-экономических показателей автотранспортных средств/ В.Н. Ложкин, В.В. Шульгин // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (22). - СПб. : НПК «Атмосфера» при ГГО им. Войкова, 2000. - С. 40-53.

15. Lämpöakusta pikalämmitys // Suomen autolehti. - 1994. - № 3. - Р. 20-23.

16. Куколев М.И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии: Монография / Петрозавод. гос. ун-т. - Петрозаводск, 2001. - 240 с.

17. Алексанян Г. Термос для мотора. / Основные средства. Журнал о спецтехнике и автотранспорте. // Режим доступа: http://www.os1.ru/article/service/1998_12_A_2005_11_18-14_56_20/. - 05.01.2014.

18. Патент № 62417 (UA), МКП F01P 3/22 (2006.01). Система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором / І.В. Грищук, З.І. Краснокутська, Д.С. Адров тощо, В.І. Дорошко / (Україна); Заявник і патентовласник НТУ. - № u2011 01845; заяв. 17.02.2011; опубл. 25.08.2011, Бюл. №16.- 5с.:іл.

АННОТАЦІЯ

Актуальність

Впровадження в конструкцію транспортного двигуна сучасних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологічних технологій є одним із перспективних шляхів удосконалення процесів його теплової підготовки. Для впровадження зазначених заходів необхідним є проведення системних досліджень на рівнях створюваних комплексів теплової підготовки і їх компонентів. Для гібридних транспортних засобів використання зазначених систем і комплексів теплової підготовки пов'язано з необхідністю адаптації їх технологічних можливостей з використанням електричної енергії рекуперації.

Мета і завдання

Метою роботи є удосконалення процесів теплової підготовки підсистем гібридних транспортних засобів з використанням теплових акумуляторів.

Для досягнення мети треба вирішити наступні завдання:

- обґрунтування можливості удосконалення процесів теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу з використанням фазоперехідних теплових акумуляторів в умовах експлуатації;
- обґрунтування можливості застосування та схеми системи комбінованої утилізації теплової й електричної енергії двигуна і транспортного засобу у складі системи рекуперації енергії;

Методики досліджень

Для визначення часу роботи силової установки транспортного засобу на різних режимах роботи і навантаженнях використовувався метод спостереження (хронометражу); метод математичного моделювання, з використанням програмного комплексу.

Загальна характеристика роботи

Отримано можливість практичного використання розробленої методики на для підвищення ефективної експлуатації транспортного засобу з гібридними силовими установками.

