

**«Тепловий акумулятор»**

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОПЕРЕХІДНОГО  
ТЕПЛОВОГО АКУМУЛЯТОРА ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ  
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1. Особливості процесів теплової підготовки транспортного засобу з електротягою на основі фазоперехідних теплових акумуляторів в умовах експлуатації .....	4
2. Особливості системи комбінованої утилізації теплової й електричної енергії двигуна в складі системи рекуперації енергії .....	5
3. Обґрунтування можливостей застосування схеми утилізованої електричної енергії для здійснення комбінованого прогріву .....	7
4. Дослідження теплоенергетичних характеристик ТАМ для здійснення комбінованого прогріву транспортного засобу в процесах рекуперації енергії транспортного засобу .....	9
5. Процеси теплової підготовки систем прогріву у складі теплових акумуляторів фазового переходу при використанні бортової системи рекуперації з утилізацією енергії .....	13
Висновки.....	19
Список використаних джерел.....	21
Додатки .....	27
Д 1. Перелік умовних позначень .....	28

## Вступ

Вдосконалення процесів теплової підготовки двигуна транспортного засобу – один із перспективних шляхів його впровадження в конструкцію сучасних екологічночистих технологій та технологій ресурсозбереження. Варто відзначити, що ці процеси розширюють функціональні можливості, збільшують продуктивність, забезпечують адаптацію транспортних засобів (ТЗ) до умов експлуатації та ін. Впровадження цих заходів в практику експлуатації ТЗ вимагає проведення системних досліджень на рівнях створених комплексів теплової підготовки та їх компонентів, які включають різні методи конструювання, розрахунково-експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів. Використання цих систем і комплексів теплової підготовки гібридних ТЗ пов'язане з необхідністю адаптації їх технологічних та функціональних можливостей за умови використання електроенергії рекуперації від гальмування ТЗ.

Грунтуючись на досвіді використання енергозберігаючих і рекуперативних систем на транспорті, а також на характеристиках та сфері використання електричних накопичувачів надвеликої місткості, обирається структура, принципу дії рекуперативної системи, а також схеми її включення в мережу ТЗ.

Актуальним рішенням проблем теплової підготовки двигунів ТЗ, а також гібридних ТЗ в умовах експлуатації може бути поєднання можливостей рекуперативної системи ТЗ з електричною тягою [1] й можливостями системи комбінованої утилізації теплової енергії. Виконується це на основі роботи бортових фазоперехідних теплових акумуляторів [2].

## **1. Особливості процесів теплової підготовки транспортного засобу з електротягою на основі фазоперехідних теплових акумуляторів в умовах експлуатації**

Істотно скоротити споживання паливних ресурсів і знизити шкідливі викиди в атмосферу дозволяє рекуперація енергії. Усе це стосується транспортних енергетичних систем, де спостерігається стійка тенденція до збільшення питомої потужності ТЗ та зростання їх кількості. Також, під час використання ТЗ з електричною тягою є великий резерв електричної енергії, що з'являється в процесі гальмування. Отриману енергію можна накопичувати й потім використовувати для потреб самого ж ТЗ. Як один із прикладів можливості такого використання можна розглядати передпускову і післяпускову теплову підготовку двигуна транспортного засобу, а також ТЗ за допомогою системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі бортових фазоперехідних теплових акумуляторів. У даному випадку отримана надлишкова електроенергія використовується для додаткового нагріву теплоакумуючого матеріалу (ТАМ). Відбувається це в бортових фазоперехідних теплових акумуляторах (БФПТА) системи комбінованої утилізації теплової енергії.

Сьогодні ключовими напрямками досліджень бортових рекуперативних систем є: розробка та вдосконалення накопичувачів енергії, підвищення ефективності відбору та перетворення енергії, збільшення термінів зберігання накопиченої енергії, створення систем реалізації накопиченої енергії з високим коефіцієнтом корисної дії, розширення сфери використання рекуперативних систем. Відмінністю вищевказаних систем є зростання їх ефективності під час підвищення нерівномірності руху або ритму роботи.

Таким чином, для ТЗ із електричною тягою особливий інтерес являє собою бортова реалізація рекуперації на самоскидах під час роботи в кар'єрах, або в маршрутному транспорті – пасажирських автобусах з великою місткістю

при русі на спуск в складних умовах експлуатації. Для описаних ТЗ рекуперація використовується для підтримки робочих параметрів транспортних засобів в допустимих межах. Значущий інтерес являє спільне використання рекуперації електричної енергії на борту гібридного ТЗ із використанням систем прогріву на основі фазоперехідних теплових акумуляторів. В даному випадку оптимальну робочу температуру салону ТЗ та його основних технологічних рідин можливо підтримувати за рахунок теплової енергії, яку відібрано і накопичено раніше за рахунок енергії відпрацьованих газів (ВГ), а також систем охолодження та мащення при додатковому нагріві від системи електричної рекуперації [4 – 10].

## **2. Особливості системи комбінованої утилізації теплової й електричної енергії двигуна в складі системи рекуперації енергії**

Формування системи прогріву двигуна а також самого ТЗ виконується шляхом використання комбінації фазоперехідних теплових акумуляторів при одночасному використанні електричних нагрівачів. В [9] описано особливості роботи компонентів системи комбінованої утилізації теплової енергії, а також процесів формування теплової підготовки транспортного двигуна й ТЗ. Дана система транспортного двигуна і транспортного засобу складається з таких підсистем:

- прискореного прогріву двигуна (СППД);
- утилізації теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ) з БТА фазового переходу (СУТТА);
- контактного теплового акумулятора (КТА);
- теплового акумулятора накопиченої моторного масла (ТАНМО);
- теплового акумулятора накопиченої охолоджуючої рідини (ТАНОР);
- теплового акумулятора каталізатора системи очищення відпрацьованих газів (ТАСОВГ).

Система комбінованої утилізації теплової енергії транспортного двигуна і транспортного засобу виконує частину функцій систем охолодження, мащення і випуску ВГ, а також здійснює визначальний вплив на перебіг робочого процесу транспортного двигуна і процеси прогріву салону транспортного засобу [9].

Усі вказані вище підсистеми можуть працювати спільно та за алгоритмом роботи системи комбінованої утилізації теплової енергії. Також вони працюють окремо одна від одної з виконанням властивих їм особистих функцій [5, 9 – 13]. Принцип роботи комплексної системи комбінованого прогріву в режимі накопичення теплоти полягає в накопиченні теплової енергії. Цей принцип базується на накопиченні теплової енергії саме ВГ фазоперехідним тепловим акумулятором підсистеми утилізації теплової енергії ВГ, охолоджуючої рідини і моторного масла, в накопиченні теплової енергії двигуна у вигляді конвекції і теплового випромінювання контактним тепловим акумулятором транспортного двигуна під час експлуатації. Вказана «бросова» енергія утворюється при згоранні палива в процесі роботи транспортного двигуна і викидається в атмосферу та не перетворюється на корисну роботу.

В процесі обґрунтування результатів спільного використання систем комбінованої утилізації теплової енергії на основі фазоперехідних теплових акумуляторів і систем рекуперації енергії транспортних засобів з електричною тягою для теплової підготовки двигунів й транспортних засобів в холодних умовах експлуатації нами не було виявлено.

Системи комбінованої утилізації теплової енергії із взаємодією основних енергетичних потоків та їх перетворенням від входу до виходу системи. Основним джерелом первинної енергії транспортного двигуна є паливо та повітря, призначені для роботи поршневого двигуна транспортного засобу.

Складові системи за своїм енергетичним потенціалом і питомою вагою нижче основної, але діючи за певним алгоритмом та системно, дозволяють створювати більш гнучку і адаптовану систему для виконання властивих їй функцій в умовах експлуатації.

Механічна робота, яка генерується транспортним двигуном, використовується для подальшого перетворення: в трансмісії і ходовій частині транспортного засобу для руху і гальмування; в електроенергію від електрогенератора гібридного транспортного засобу, саме від двигуна і від системи рекуперації транспортних засобів з електричною тягою при гальмуванні - для приводу машин і механізмів, додаткової зарядки елементів системи комбінованої утилізації теплової енергії, в тому числі, і на власні потреби транспортного засобу.

### **3. Обґрунтування можливостей застосування схеми утилізованої електричної енергії для здійснення комбінованого прогріву**

Питання ефективного відбору енергії гальмування транспортного засобу, перетворення її в електричну енергію, накопичення енергії та її передача на зберігання для використання в системі прогріву. Роботи в даному напрямку можна розділити на 3 основних етапи [1, 4, 20]. На першому етапі для дослідження процесів рекуперації енергії гальмування ТЗ розроблено і використано фізичну модель рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею [1, 4, 20]. Вона включає в себе схему накопичення, зберігання і реалізації накопиченої енергії з використанням конденсаторів надвеликої місткості. На рис. 1 показано схему функціональної реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії системою прогріву. Використання 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.

Накопичення електричної енергії може здійснюватися 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 ДВС. В обох випадках для узгодження параметрів джерел електроенергії і накопичувача використовувався перетворювач електричної енергії. Крім накопичення енергії для використання в фазоперехідних теплових акумуляторах 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. 5.

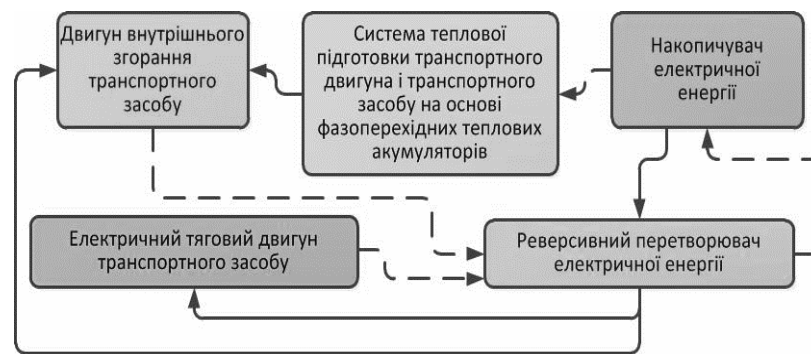


Рисунок 1 – Схема реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії в процесах накопичення енергії і реалізації накопиченої енергії

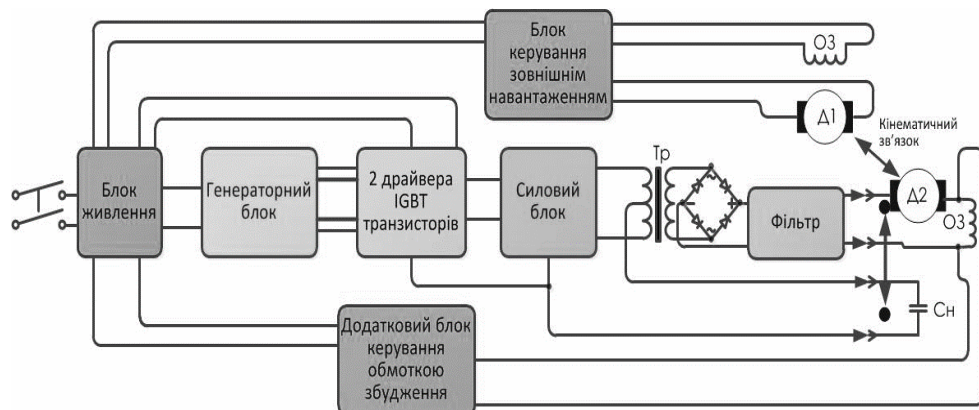


Рисунок 2 – Блок-схема фізичної моделі рекуперативної системи транспортного засобу з електричною передачею.



Напруга на конденсаторах залежить від ступеня їх заряду. Через це 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 ступінчато за рахунок зміни витків первинної і вторинної обмоток імпульсного силового трансформатора.

На фізичній моделі рекуперації енергії ТЗ з накопичувачами на надпотужних конденсаторах з електричною передачею і утилізацією теплової енергії досліджувалася працездатність окремих блоків, визначалися оптимальні режими їх роботи, апробувалися різні схеми силового блоку [1, 4, 20], вивчалась зміна параметрів на перехідних режимах роботи.

#### **4. Дослідження теплоенергетичних характеристик ТАМ для здійснення комбінованого прогріву транспортного засобу в процесах рекуперації енергії транспортного засобу**

Для дослідження теплоенергетичних характеристик ТАМ: виготовлено фізичну модель рекуперативної установки ТЗ відповідно до рис. 2 і теплового акумулятора; виготовлено і повірено термопари; дібрано нагрівальне і вимірювальне обладнання; здійснено апробацію працездатності системи.

Провідним фактором ефективної роботи системи рекуперації тепла є правильний підбір теплоакумулюючого матеріалу. Вибір ТАМ здійснюють з урахуванням наступних вимог. Теплоакумулюючий матеріал повинен володіти [4, 10, 21 - 24]: значною теплоємністю; в показаному інтервалі температур теплоакумулююче речовина повинна мати точку фазоагрегатного переходу

(точку плавлення); хімічною стабільністю; не повинен переходити в газоподібний стан за рахунок кипіння або сублімації; не повинен вступати в хімічну реакцію з матеріалом капсули; не повинен надавати отруйну дію на організм людини при проведенні ремонту або обслуговування теплового акумулятора; не повинен бути вибухонебезпечними і загорятися в діапазоні робочих температур; доступність, бути відносно недорогими.

В основу експериментальних досліджень лягає необхідність прогріву двигуна ТЗ при низькій температурі оточуючого середовища в період передпускового прогріву до температур «гарячого пуску», а саме: 40 °С, або 50 °С, або 60 °С, при яких можливо щонайменше починати рухатись, а при більших температурах – приймати навантаження, а потім, в процесі руху ТЗ – нагрів до температури  $85 \pm 1,5$  °С [21].

На основі аналізу [4 – 13, 21 – 24] (табл. 1) обрано теплоакumuлюючі матеріали [21, 24] для забезпечення робочих температур двигуна і гібридного транспортного засобу, на які впливає комбінована система СКУТЕ.

Таблиця 1. Теплофізичні характеристики речовин, що використовуються як ТАМ [21, 22, 24]

Характеристики органічних речовин, що використовуються як ТАМ				
№	Речовина	Хімічна формула	Температура плавлення, $T_L$ , °С, (К)	Питома теплота, $\Delta H_L$ , кДж/кг
1	Дифенил	$C_{12}H_{10}$	71,1 (344,1)	190
2	Нафталін	$C_{10}H_8$	80,3 (353,3)	147
3	Дибензил	$C_{14}H_{14}$	52,5 (325,5)	126,4
4	Парафін	$C_{18}C_{35}$	55,5 (328,5)	190 - 210
5	О-терфенил	$C_{18}H_{14-1,2}$	56,3 (329,3)	74,7
6	М-терфенил	$C_{18}H_{14-1,3}$	87,5 (360,5)	134,6
Характеристики неорганічних речовин, що використовуються як ТАМ				
№	Речовина	Хімічна формула	Температура плавлення, $T_L$ , °С, (К)	Питома теплота, $\Delta H_L$ , кДж/кг
1	Пентагідрат натрію тіосульфату	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	48,0 (321)	206,0

2	Декагідрат сульфату натрію	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,5 (305,5)	251,0
3	Гептагідрат натрій сульфату	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	33,4 (306,4)	179,0

Продовження таблиці 1

4	Декагідрат карбонату натрію	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,5 (305,5)	247,6
5	Тригідрат ацетату натрію	$\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58 (331)	272,4
6	Вода	$\text{H}_2\text{O}$	0 (273)	335

Евтектичні композиції водних розчинів кристалічних гідратів і системи бінарних кристалічних гідратів, що використовуються в якості ТАМ

№	Евтектика	$T_E$ , °С (К)	$\Delta T$ , К	$\Delta H_L$ , Дж/кг
1	50% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ +50% $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19 (292)	1	256
2	50% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ +50% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19 (292)	1	261,7

Системи низькомолекулярних органічних речовин, що використовуються в якості ТАМ

№	Евтектика	$T_E$ , °С (К)	$\Delta T$ , К	$\Delta H_L$ , Дж/кг
1	80% бензол + 20% нафталін	3,6 (276,6)	4	130,0
2	58% дифенілу + 42% нафталіну	41,0 (314)	1	108,0
3	67,1% бензойної кислоти + 32,9% нафталіну	67,0 (340)	2	123,0
4	нафталін + бибензил	32,0 (305)	2	132,8
5	50% резорцину + 50% пірокатехіну	58,0 (331)	0	148,9
6	67% резорцину + 33% гідрохінону	126,0 (399)	17	170,0
7	70% пірокатехіну + 30% гідрохінону	85,0 (358)	10	213,0

Для забезпечення теплової підготовки системи охолодження та мащення транспортного двигуна за допомогою БТА фазового переходу підсистем утилізації теплової енергії від відпрацьованих газів, використовують поліетилен високої густини. У якості теплоакумуючого матеріалу

контактного теплового аккумулятора фазового переходу і оболонки накопичувачів для моторного масла і охолоджуючої рідини з фазовим переходом використано високомолекулярні вуглеводні  $C_{18}-C_{35}$  (парафін ТЗ). При виборі ТАМ для систем нейтралізації відпрацьованих газів були використані 2 речовини - відповідно для бензинового і дизельного двигуна. При цьому керувались наступними положеннями. Основною умовою оптимального ступеня нейтралізації - до 98% є точність вибору коефіцієнту викиду повітря  $\alpha=1 \pm 0,005$ . Цей дуже вузький діапазон називають альфа-діапазоном.

Дотримання цих дуже жорстких допустимих меж можливе лише за допомогою електронних засобів регулювання двигунів [27 - 34]. Ці допуски незрівняні з допустимими межами при перевірці токсичності ВГ для перевірки контуру регулювання  $\pm 0,02 / 0,03$ .

Забезпечення швидкого досягнення відповідних значень  $\alpha$  після запуску двигуна ТЗ досягається також і за допомогою попередньої передпускової теплової підготовки ДВЗ, а використання додаткового підігріву потоку ВГ забезпечує додатково короткий термін його досягнення. Крім цього, загальновідомо, що одним з важливих факторів високого ступеня нейтралізації ВГ після здійснення пуску транспортного двигуна є досягнення у найкоротший термін точки початку температурного стрибка каталізатора (Light-off) [35 - 36]. Точкою Light-off називають температуру [36], при якій в каталізаторі перетворюється 50% шкідливих речовин. У каталізаторі потрібної дії точка Light-off знаходиться на рівні 250 °С, в той час як в окислювальних каталізаторах для дизельних двигунів з-за високої концентрації кисню в ВГ вона досягається вже при 160 °С [36]. В якості теплоакумулюючих речовин для цього випадку досліджують гідрохінон і їдкий натр.

Фізична модель теплового аккумулятора являє собою герметичну капсулу трубчастого типу, в якій розміщено теплоаккумулюючий матеріал, температура якого вимірюється термопарою, що знаходиться в оболонці. Термопара має безпосередній тепловий контакт з теплоаккумулюючою речовиною.

В якості матеріалів для виготовлення ємностей капсули використовується безшовна товстостінна труба з нержавіючої жароміцної сталі аустенитного класу марки 12X18H10T.

Підготовка даних про кількість теплової енергії, яку накачують теплоакумулюючі речовини при нагріванні й під час її віддачі при охолодженні. На фізичній моделі теплоакумулююча установка вивчена температурно-часовими параметрами процесів нагромадження і реалізації утилізованої теплотехніки, принципи і схематичні рішення управління тепловими потоками, уточнивши параметри фазоперехідних теплових акумуляторів.

Реалізація комбінованої схеми реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі у середовищі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії на лабораторній фізичній моделі. Така схема фактично включає в себе як рекуперацію енергії гальмівного транспортного засобу, так і рекуперацію теплової енергії.

Також вона додатково дозволяє розширити енергоощадний накопичувач в надвисоких конденсаторах для використання в системі теплової підготовки транспортних двигунів.

Необхідність в реалізації таких схем підіймається в разі продовження перевидання в роботі двигунів ТЗ, тоді, коли теплові акумулятори системи потрапляють частково або повністю розряджаються на рахунки незмінних втрат тепла в оточуючому просторі. Зберігання накопиченої електричної енергії в конденсаторах має надмірно високий рівень без істотних втрат.

## **5. Процеси теплової підготовки систем прогріву у складі теплових акумуляторів фазового переходу при використанні бортової системи рекуперації з утилізацією енергії**

Визначення впливу напруги живлення силового блоку перетворювача напруги на параметри рекуперативної системи визначено, що рекуперативна

система зберігає робочу здатність при зниженні напруги джерела енергозабезпечення (накопичувального блоку або тягового електродвигуна в генераторному режимі). Це дає можливість повністю використовувати ємність накопичуваного конденсатора і здійснювати електричне гальмо транспортного засобу з накопиченням енергії практично до повної його зупинки.

Разом з тим, слід відзначити, що при тривалому ході теплової енергії в теплових акумуляторах, виникли навіть після якісної термоізоляції. Компенсувати втрати теплової енергії, можливо, підігрівуючи теплоакumuлюючі матеріали від бортового джерела електричної енергії.

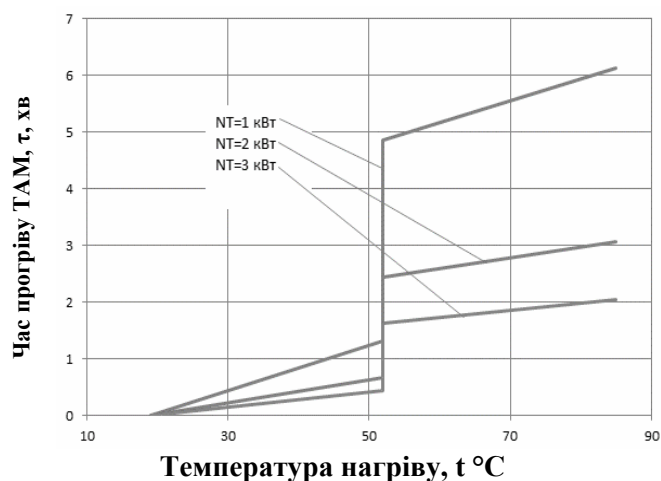
В якості такого джерела можна висунути накопичувач електричної енергії в транспортних засобах з електричною передачею, оснащених системою рекуперації електричної енергії [35].

В якості акумуляторів електричної енергії можуть використовуватися акумулятори або конденсатори надвеликої ємності. Використання конденсаторів більш переважно, оскільки вони володіють значним гарантійним терміном служби і здатні працювати з тривалими термінами і розриву в сотні і тисячі років [1, 20].

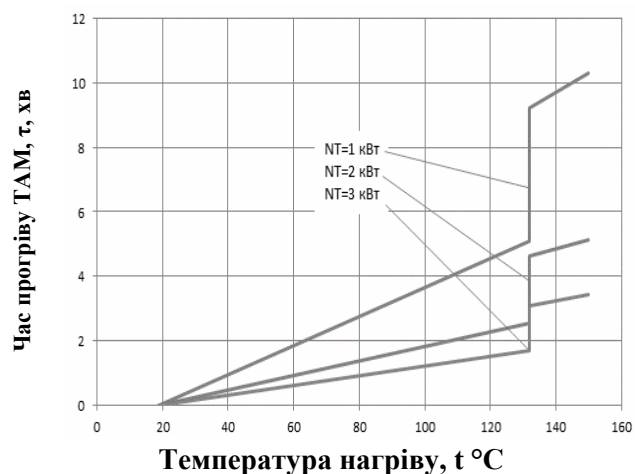
За допомогою фізичної моделі і аналізу отриманих результатів для масових досліджень до 1 кг при використанні електричного нагріву фізичних моделей БТА від конденсаторів надто великої потужності отримали результати, показані на рис. 3 для парафіну, поліетилену, їдкого натру і гідрохінона відповідно. Вертикальна лінія на графіках, підтверджує наявність фазового переходу за годину.

Потужність встановлюється і автоматично підтримується за рахунок змін скважності імпульсів струму частотою 20 Гц. Формувач та регулятор потужності імпульсів зібрано на базі ШИМ-контролера TL494.

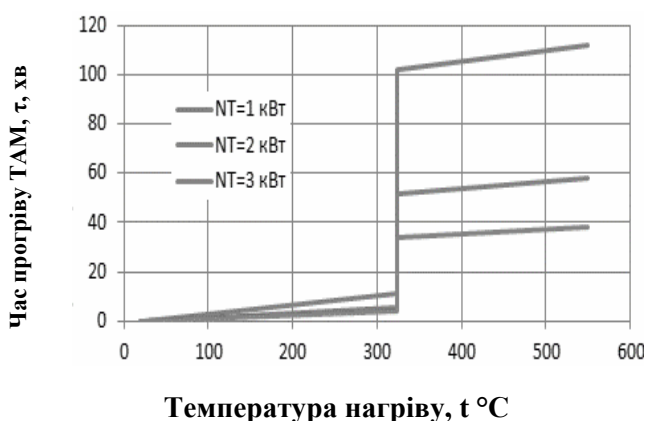
В якості силового ключа використано чотири включені паралельно IGBT транзистори IRG4PC60F.



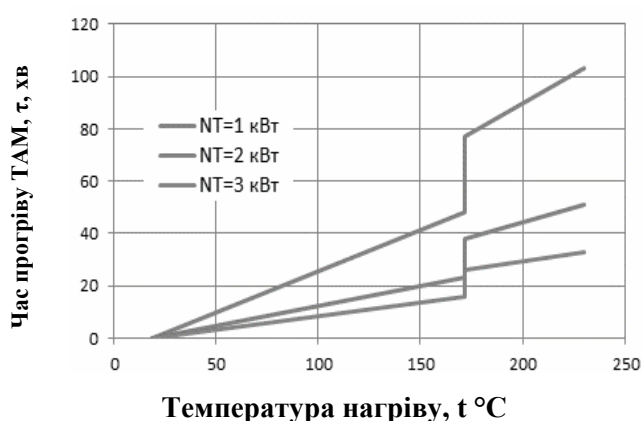
а



б



в



г

Рисунок 3 - Експериментально-розрахункові залежності часу прогріву ТАМ парафіну (а), поліетилену (б), їдкого натру (в) і гідрокінону (г) від конденсаторів верхньої потужності, отриманих на фізичній моделі рекуперативної установки гібридного транспортного засобу при різній потужності нагрівачів

У цілому, в процесі використання системи рекуперації енергії в транспортних засобах, досліджено на фізичній моделі, для різних типів систем прогріву, отриманих за допомогою процесів нагрівання ТАМ теплових акумуляторів від часу, показаних на рис. 4.

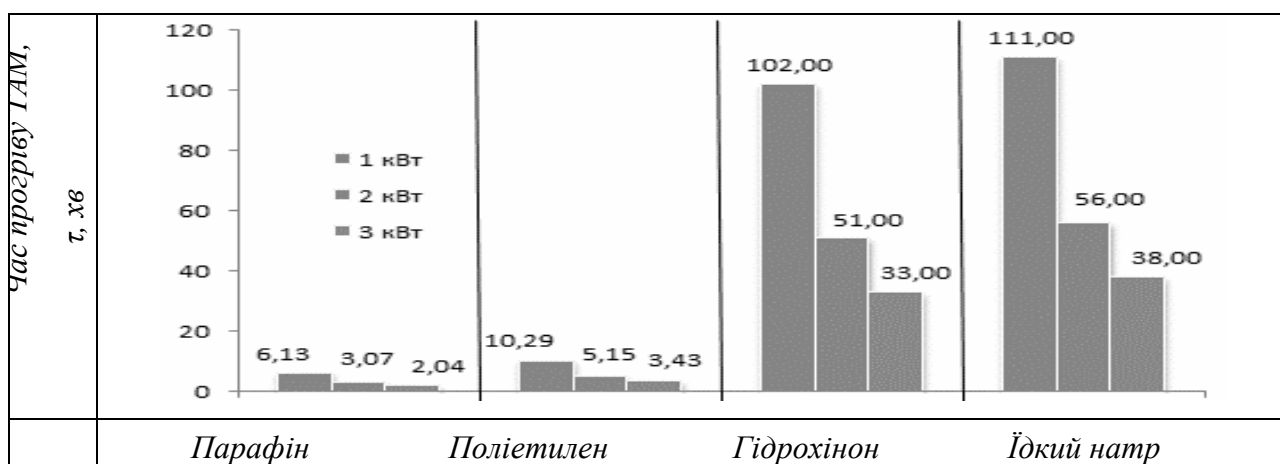


Рисунок 4 - Залежності часу прогріву теплоакumuлюючих матеріалів системи прогріву транспортних засобів з використанням системи рекуперації енергії при різній потужності нагрівачів

Залежності процесів нагрівання ТАМ (заряджання ТА) для складових теплових акумуляторів системи теплової підготовки в цілому при застосуванні СКУТЕ в гібридному ТЗ. Основні результати порівняння показників роботи системи прогріву, удосконаленої для використання в гібридних ТЗ, в процесі зарядки БТА фазового переходу з різними ТАМ від різних джерел теплової і електричної енергії від рекуперативної системи ТЗ, показано на рис. 8.

Для маси досліджуваних ТАМ в межах реальних масо-вагових характеристик ТА, а саме відповідно 12,5 / 18,5 / 2,5 кг дослідної речовини, при використанні для зарядки БТА при використанні електричного нагріву БТА від конденсаторів надвеликої потужності отримали результати, показані на рис. 3: для парафіну (рис. 3 а), поліетилену (рис. 3 б), гідрохінону (рис. 3 с), їдкого натру (рис. 3 д) відповідно. Горизонтальні лінії на рисунку показують мінімальний і максимальний час нагріву ТАМ від теплоносіїв реального двигуна ТЗ для кожного з ТАМ відповідно.

Нагрів ТАМ від електричних нагрівачів відбувається швидше ніж від конвекції працюючого двигуна для контактного теплового акумулятора, накопичувача моторного масла з тепловим акумулятором, накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором, контактним тепловим



акумулятором високовольтної батареї гібридного ТЗ на 41,1 % і 60,9 % для нагрівачів 2 і 3 кВт відповідно. Нагрівач в 1 кВт забезпечує нагрів в межах часу, який відповідає конвективному нагріву БТА від працюючого двигуна гібридного ТЗ (рис. 3 а).

Для ТАМ (поліетилену (рис. 3 б), гідрохінону (рис. 3 с), їдкого натру (рис. 3 д)) БТА фазового переходу використання додаткового електричного нагріву доцільне. Але одного електричного нагріву ТАМ в цьому випадку не достатньо. Потрібно його використовувати додатково або одночасно з використанням для роботи БТА фазового переходу теплової енергії відпрацьованих газів транспортного двигуна.

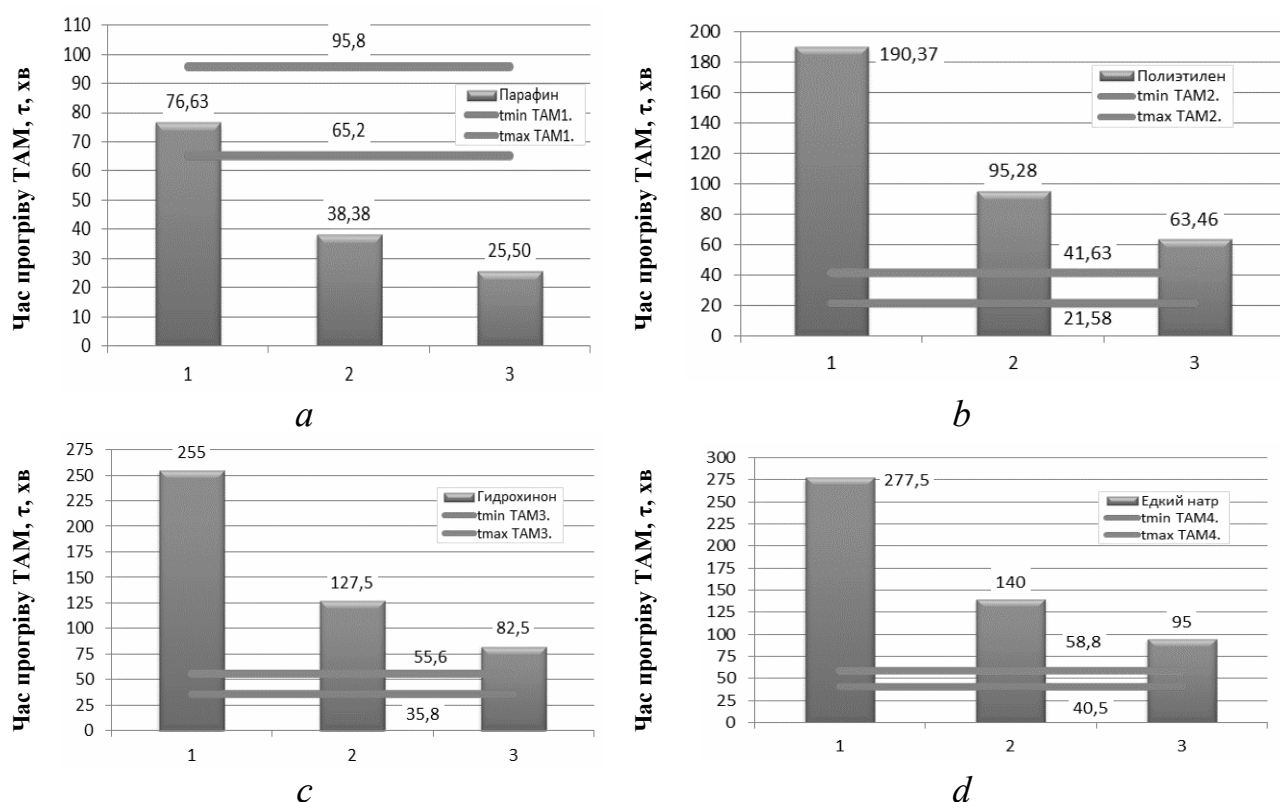


Рисунок 5 - Залежності часу прогріву ТАМ: парафіну (а), поліетилену (б), гідрохінону (в) і їдкого натру (г) фазоперехідних теплових акумуляторів системи комбінованого прогріву від конденсаторів надвеликої потужності рекуперативної установки гібридного транспортного засобу при різних потужностях нагрівачів

Результати використання різних складових системи комбінованого прогріву на транспортному засобі достатньо повно описано в [4, 9, 11, 13]. Для оцінки спільної дії в БТА фазового переходу КСКП теплової енергії електричних нагрівачів, відпрацьованих газів, теплоносіїв транспортного двигуна на процеси його теплової підготовки потрібно додаткове дослідження.

В цілому можливо впевнено стверджувати, що використання накопиченої в конденсаторах надвеликої ємності електричної енергії для забезпечення зарядки БТА фазового переходу дозволяє диверсифікувати енергетичні потоки забезпечення працездатності БТА в процесах експлуатації ТЗ, що змінюються. Крім цього достатньо забезпечити безпаливний передпусковий прогрів двигуна гібридного ТЗ і прогрів салону транспортного засобу від БТА без використання високовольної батареї в умовах низьких температур.

## Висновки

Дослідження бортової системи транспортного засобу з електричною тягою підтвержує можливість використання різних видів енергії в фазоперехідних теплових акумуляторах. Отримана таким чином енергія в подальшому може використовуватися для теплової підготовки різних підсистем гібридних ТЗ. Це дозволяє значно підвищити ефективність роботи гібридних ТЗ в умовах експлуатації. В даній роботі досліджено систему комбінованого використання теплової та електричної енергії у фазово-перехідних теплових акумуляторах. Частина енергії, що генерується під час експлуатації ТЗ з електротягою, 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.

Представлено цикл забезпечення теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу.

Обґрунтовано основні теплові та енергетичні характеристики компонентів системи та теплоакumuлюючих матеріалів для використання в БТА фазового переходу.

Також реалізовано систему рекуперації енергії з електричною передачею і утилізацією теплової енергії для зарядки та подальшої теплової підготовки окремих підсистем гібридного транспортного засобу.

Також наведено результати порівняння основних показників роботи удосконаленої системи в процесі заряджання БТА фазового переходу з різними видами теплоакumuлюючих матеріалів в якості джерел теплової та електричної енергії.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що використання системи комбінованої рекуперації теплової та електричної енергії у складі

вказаних компонентів для застосування в гібридних ТЗ, може забезпечити достатню ефективність використання електричних нагрівачів від конденсаторів надвисокої ємності з ТАМ - парафін  $C_{18}$ - $C_{35}$ . В цьому випадку нагрівання ТАМ від електричних нагрівачів відбувається швидше, ніж від конвекції працюючого двигуна гібридного ТЗ для контактного теплового акумулятора, теплового акумулятора накопиченої моторної оливи, теплового акумулятора накопиченої охолоджуючої рідини, контактний тепловий акумулятор високовольтної батареї гібридного транспортного засобу.

При цьому час нагрівання збільшується на 41,1% і 60,9% для 2 і 3 кВт нагрівачів, відповідно. Нагрівач потужністю 1 кВт забезпечує нагрівання протягом часу, що відповідає конвективному нагріванню БТА від працюючого двигуна гібридного транспортного засобу. Для використання в якості бортового фазоперехідного БТА інших ТАМ доцільно використовувати додаткове електричне нагрівання.

Одного електричного нагрівача ТАМ у цьому випадку не буде достатньо. Необхідно використовувати його або додатково, або одночасно з використанням теплової енергії відпрацьованих газів двигуна гібридного автомобіля.

Використання електричної енергії, накопиченої в конденсаторах надвеликої ємності для зарядки БТА, дозволяє диверсифікувати енергетичні потоки і забезпечує експлуатаційні можливості БТА при змінних умовах експлуатації.

Крім цього, описана в роботі система, здатна забезпечити попередню теплову підготовку двигуна гібридного транспортного засобу без використання енергії палива (тобто без запуску двигуна), а також теплову підготовку салону гібридного транспортного засобу із встановленими бортовими фазоперехідними тепловими акумуляторами при низьких температурах оточуючого середовища без використання високовольтної батареї.

### Список використаних джерел

1. Черняк Ю.В., Прилепский Ю.В., Грицук І.В. Фізична модель рекуперативної системи маневрового тепловозу - Донецьк: ДонІЗТ. 2010. – 196с.
2. Грицук І.В. Системний підхід до проектування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву ДВЗ / І.В. Грицук // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – Вип.30. – 2012– С.106 – 117.
3. Рекуперация [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Вікіпедія - URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F> (дата звернення: 09.02.2019).
4. Волков В.П. Системы прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров, В.Й. Поддубняк, Ю.В. Прилепський, П.Б. Комов, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська, Т.В. Волкова – Донецьк: LANDON- XXI, 2015.- 314с.
5. Матейчик В. П. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник НТУ“ХПІ” №7(т.2). – Харків, НТУ”ХПІ”. –2002. – С.162-167.
6. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / Вашуркин И. О. – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.
7. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах. - М.: Транспорт, 1973. - 120 с.
8. Шульгин В.В. Система предпускового разогрева двигателя городского автобуса с применением теплового аккумулятора / В.В. Шульгин // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. 5-й между нар. конф. 19-20 сентября 2002 г. / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. - СПб., 2002. - С. 372-375.

9. Gritsuk, I., Volkov, V., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Verbovskiy V. 'Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System,' SAE Technical Paper 2016-01-8071, 2016, doi:10.4271/2016-01-8071.

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

11. Gritsuk I., Mateichyk V., Smieszek M., Volkov V., Gutarevych Y., Aleksandrov V., Symonenko R., Verbovskiy V., "Improving the Vehicular Engine Pre-Start and AfterStart Heating by Using the Combined Heating System," HVAC System, Chapter 7:101-122, 2018, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79467>

12. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Tsiuman, M., Gutarevych, Y. et al., "Reducing Harmful Emissions of the Vehicular Engine by Rapid After-Start Heating of the Catalytic Converter Using Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2018-01-0784, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0784>.

13. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y. et al., "The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle," *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 10(1):236-248, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>.

14. Гутаревич Ю.Ф. Особливості алгоритму роботи системи передпускового прогріву газового двигуна в процесі здійснення пуску і прогріву / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська // Вісник СевНТУ. Збірник наук. праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. - Севастополь: СевНТУ, 2013 - Випуск 143/2013., - с.53-57.

15. Falendish, A. Diesel-locomotive switcher's modernization by hybrid transmission of power / A. Falendish, N. Volodarets, N. Bragin // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Lugansk. – 2012. – Vol. 12. – No 4. – P. 58-63.

16. Morosuk T. Morosuk C., Bishliaga S. 'Thermodynamic analysis of traditional and alternative heating systems for Ukraine' // In: Advances in Energy Studies. Reconsidering the Importance of Energy, Eds. Ulgiati, S., Brown, T.M., Giampietro, V., Herendeed, R.A. and Mayumi, K. (SGEditoriali, Padova). – 2003. – P. 381–388.

17. Баласанян Г.А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 3. – с. 9–12.

18. Карнаухов Н.Н., Пустовалов И.А., Яркин А.В. Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры ДВС в период межсменной стоянки строительной машины в зимний период // Отраслевой журнал «Автотранспортное предприятие». 2010, ноябрь. М.: НПП Транснавигация, Минтранс России. С. 45-48.

19. Патент № 75811 Україна, МПК (2012.01) F01P 3/22 (2006.01), Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловим акумулятором транспортного засобу, оснащеного системою рекуперації електричної енергії / Грицук і.в., Прилепський Ю.В., Краснокутська З.І. / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т. № u2012 07571; заяв.20.06.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. №23.- 4с.:іл..

20. Грицук И.В. Экономия топливных ресурсов за счет использования бортовой системы рекуперации с утилизацией энергии на транспортном средстве с электрической передачей / И.В. Грицук, Ю.В. Прилепский / Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. Всеукраїнська науково-практична конференція, 10-12 жовтня 2012р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2012 – 280с., с.243-247.

21. Gritsuk, I., Aleksandrov, V., Panchenko, S., Kagramanian, Sobol O., Sobolev A., Varbanets R., "Features of Application Materials While Designing

Phase Transition Heat Accumulators of Vehicle Engines," SAE Technical Paper 2017-01-5003, 2017.

22. Aleksandrov V.D. 'The kinetics of nucleation and mass crystallization of supercooled liquids and amorphous media'. Donetsk. Donbas, 2011, 580 p.

23. Levenberg V.D., Tkach M.P., Golstrem V.A. Accumulation of heat.- Kiev, Tekhnika (Engineering), 1991, 112p.

24. Aleksandrov V., Gutarevich Yu., Gritsuk I., Prilepskiy Yu., Postnikov V., Gushchin A., Adrov D., Verbovskiy V., Krasnokutska Z. "Phase transition heat accumulators for vehicles: the parameters of working processes: monograph" - Donetsk: Publishing house "Knowledge", 2014. 230 p.

25. Paraffin.UPAcom. "Ukrainian paraffin company" [Електронний ресурс] // URL: <http://www.ukr-prom.com/cat-himicheskaya-prodykciya/nefteprodykti/10609/>, June 2015.

26. Development of an Electric Bus for Power Station Tours 42 Kiyomi Yamasaki, Shunji Taniguchi, Kazuyuki Adachi, Goichi Ariyoshi; Kyushu Electric Power Co., Inc. In Proceedings of 18-th International Electric Vehicle Symposium (EVS-18) October 20-24, 2001 Berlin, Germany A Conference of the WEVA – World Electric Vehicle Association

27. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y. et al., "Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions," SAE Technical Paper 2018-01-0024, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>.

28. Патент № 125718 Україна, МПК (2018.01) F01P 3/00, F01P 3/22 (2006.01), F01P 7/14 (2006.01) «Система регулювання температури охолоджуючої рідини транспортного двигуна з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором і моніторингом теплових параметрів» І.В. Грицук, В.П. Савчук, Є.В. Білоусов, Д.С. Погорлецький, А.Ф. Сімагін, З.І. Краснокутська, Т.В. Покшевницька, Д.В. Курносенко, М.В. Володарець / (Україна); Заявник і патентовласник: Херсонська державна



морська академія. Державний № у 2017 11806; заяв. 04.12.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. №10.-7 с.:іл.

29. Патент № 126804 Україна, МПК (2018.01) F01P 3/22 (2006.01), F02N 19/00, B60H 1/04 (2006.01) «Система для забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» І.В. Грицук, Д.С. Погорлецький, Є.В. Білоусов, Д.В. Курносенко, В.С. Вербовський, М.В. Володарець, Р.В. Симоненко / (Україна); Заявник і патентовласник: Херсонська державна морська академія. Державний № у 2018 00057; заяв. 02.01.2018; опубл. 10.07.2018, Бюл. №13.-18 с.:іл.

30. Матейчик, В.П. Особливості проблеми дистанційного оцінювання технічного стану складних систем на транспорті / В.П. Матейчик, М.В. Володарець, Д.В. Курносенко // Вісник Національного транспортного університету. – К., НТУ, 2018. – № 3 (42). Серія «Технічні науки». – С. 79-90.

31. Волков В.П. Особливості формування моделі системи моніторингу транспортного засобу в умовах експлуатації / Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Симоненко Р.В., Курносенко Д.В., Матейчик П.В. - Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 85 - 87.

32. Грицук, І.В. Особливості моделювання та формування в експлуатації теплової підготовки двигуна транспортного засобу на основі теплових акумуляторів фазового переходу / І.В. Грицук, М.В. Володарець, Д.С. Погорлецький, Д.В. Курносенко, Д.І. Левченко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 18. – Т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – С. 298-309.

33. Погорлецький, Д.С. Особливості структури інформаційного комплексу моніторингу транспортного засобу з біпаливною системою / Д.С. Погорлецький, М.В. Володарець, Д.В. Курносенко, І.В. Худяков // Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному

процесі та науці: II міжнародна науково-практична конференція, Харків, 29 травня 2018 р.: збірник наукових праць. – Харків: ХНАДУ, 2018. – С. 62-65.

34. Грицук І.В. До питання щодо використання методів оцінювання та прогнозування технічного стану суднових енергетичних установок / Грицук І.В., Курносенко Д.В., Манжелей В.С., Володарець М.В. - Матеріали 9-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 13-14 вересня 2018 р. – Херсон: ХДМА, 376 с., с.40-41.

35. Левченко Д.І. Вдосконалення методів визначення параметрів накопичувача енергії та силової установки для гібридного приводу локомотивів і суден / Д.І. Левченко, С.О. Аітов, Д.А. Кучин, В.В. Колісник, М.В. Володарець, О.В. Клецька // 80 студентська науково-технічна конференція, Харків, 21-23 листопада, 2018 р.: тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – С. 248-250.

36. Henderson B. OBD-II and electronic engine control systems. MANUAL/B. Henderson, John. Heynes // SPb .: Alfamer Publishing, 2011 – 248 pp.

37. Uwe Rokosz. On-board diagnostics. – М.: ‘Za Rulem’ Publishing House’ (‘Driving Publisher’) LLC, 2013. – 224 p.

## **Додатки**

## **Д 1. Перелік умовних позначень**

**БТА** – бортовий тепловий акумулятор

**БФПТА** - бортовий фазоперехідний тепловий акумулятор

**ВГ** - відпрацьовані гази

**ДВЗ** - двигун внутрішнього згорання

**КТА** - контактний тепловий акумулятор

**СКУТЕ** - система комбінованої утилізації теплової енергії

**СМ** - система мащення

**СО** - система охолодження

**СОВГ** - система очищення відпрацьованих газів

**СППД** - підсистема прискореного прогріву двигуна

**СУТТА** – підсистема утилізації (утилізації) теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ) з БТА фазового переходу

**ТАМ** - теплоакumuлюючий матеріал

**ТАЗММ** - тепловий акумулятор для зберігання моторного масла

**ТАЗТ** - тепловий акумулятор для зберігання теплоносія

**ТАНМО** – тепловий акумулятор накопиченої моторної оливи

**ТАНОР** - тепловий акумулятор накопиченої охолоджуючої рідини

**ТАСОВГ** - тепловий акумулятор каталізатора системи очищення відпрацьованих газів

## АНОТАЦІЯ

наукової роботи під шифром «Тепловий акумулятор»

**Актуальність теми.** Впровадження в конструкцію транспортного двигуна сучасних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологічних технологій є одним із перспективних шляхів удосконалення процесів його теплової підготовки, що розширює функціональні можливості, збільшує продуктивність, забезпечує адаптацію транспортних засобів до умов експлуатації тощо.

Для впровадження зазначених заходів є необхідним проведення системних досліджень на рівнях створюваних комплексів теплової підготовки і їх компонентів, що включають в себе різні методи конструювання, розрахунково-експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.

Для гібридних ТЗ використання зазначених систем і комплексів теплової підготовки пов'язано з необхідністю адаптації їх функціональних і технологічних можливостей з використанням електричної енергії рекуперації від гальмування транспортного засобу.

Базуючись на досвіді використання енергозберігаючих і рекуперативних систем на транспорті, а також характеристик і сфери використання електричних накопичувачів (електричних конденсаторів) надвеликої ємності, цілком обгрунтовано здійснити вибір структури, принципу дії рекуперативної системи і схеми включення її в мережу транспортного засобу.

Актуальним рішенням проблем теплової підготовки транспортних двигунів і гібридних транспортних засобів в умовах експлуатації може бути поєднання можливостей рекуперативної системи транспортного засобу з електричною тягою і можливостями системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі бортових фазоперехідних теплових акумуляторів.

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

**Завданнями даної роботи є:**

- аналіз можливостей вдосконалення процесів теплової підготовки підсистем транспортного засобу з електротягою за умови використання фазоперехідних теплових акумуляторів в умовах експлуатації;
- аналіз можливостей застосування та схеми системи комбінованої утилізації теплової й електричної енергії двигуна і ТЗ у складі системи рекуперації енергії;
- дослідження циклу забезпечення теплової підготовки транспортного засобу і двигуна в умовах експлуатації з використанням системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі фазоперехідних теплових акумуляторів;
- дослідження теплоенергетичних характеристик теплоакумлюючого матеріалу для здійснення комбінованого прогріву ТЗ в процесах рекуперації енергії транспортного засобу;
- дослідження на фізичній моделі процесів теплової підготовки систем прогріву у складі фазоперехідних теплових акумуляторів при використанні бортової системи рекуперації з утилізацією енергії.

**Методика дослідження:** задля визначення часу роботи силової установки транспортного засобу на різних режимах роботи і навантаженнях використовувався метод спостереження; метод математичного моделювання, з використанням програмного комплексу та системний підхід, використовувалися для створення загальної схеми транспортного засобу з електричною тягою.

**Представлена наукова робота** містить у собі 29 сторінок основного тексту, 8 рисунків, 4 таблиці. При підготовці роботи було використано 37 джерел інформації.

*Ключові слова:*

ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ДВИГУН  
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО  
ПЕРЕХОДУ, НАКОПИЧУВАЧ ЕНЕРГІЇ, РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ