

УДК 621.43 + 621.43.016.4–57+536.421+541.6:541.183

**ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ В
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ
АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ**

Грицук І.В., д.т.н.,

Херсонська державна морська академія,

e-mail: gritsuk_iv@ukr.net

Володарець М.В., к.т.н.,

Український державний університет залізничного транспорту,

e-mail: volodarets.nikita@yandex.ru

Погорлецький Д.С.,

Херсонська державна морська академія,

e-mail: dimon150582@gmail.com

Курносенко Д.В.,

Херсонська державна морська академія,

e-mail: dasha10021991@gmail.com

Левченко Д.І.

Український державний університет залізничного транспорту,

e-mail: volodarets.nikita@yandex.ru

Анотація – використання різних видів енергії в фазово-перехідних теплових акумуляторах і її подальше використання для теплового розвитку різних підсистем гібридних транспортних засобів дозволяє значно підвищити їх експлуатаційну ефективність. Запропоновано систему комбінованого використання теплової та електричної енергії в фазово-перехідних теплових акумуляторах (ТА). Для зарядки ТА використовується тепла енергія вихлопних газів, охолоджуюча рідина і моторне масло двигуна внутрішнього згорання, а також електрична енергія, яка використовується системою рекуперації енергії при гальмуванні автомобіля. Він складається з послідовних етапів накопичення тепла при зарядці ТА від різних джерел енергії гібридного транспортного засобу, його зберігання та використання для швидкого нагріву окремих підсистем транспортного засобу. Особливості обладнання та технології використання досліджуваної системи підбираються залежно від

експлуатаційних вимог, кліматичних умов і призначення транспортного засобу.

Ключові слова: транспортний засіб, умови експлуатації, двигун внутрішнього згоряння, тепловий акумулятор фазового переходу, накопичувач енергії, рекуперація енергії

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямків удосконалювання процесів теплової підготовки транспортних двигунів є впровадження в їх конструкцію сучасних ресурсосберегаючих, екологічно чистих технологічних рішень з метою розширення функціональних можливостей, збільшення продуктивності, адаптації до умов експлуатації тощо.

Адаптація зазначених заходів у практику експлуатації транспортних засобів потребує проведення системних досліджень на рівнях створюваних комплексів теплової підготовки і їх компонентів, а також містить у собі різні методи конструювання, розрахунково–експериментальні дослідження й аналіз отриманих результатів. Для гібридних транспортних засобів використання зазначених комплексів теплової підготовки пов'язане з необхідністю адаптації їх функціональних і технологічних можливостей з використанням електричної енергії рекуперації від гальмування транспортного засобу.

Аналіз останніх досліджень. На основі досвіду використання рекуперативних систем на транспорті, а також характеристик і сфери використання електричних накопичувачів надвеликої місткості, цілком обґрунтовано здійснити вибір структури, принципу дії рекуперативної системи і схеми включення її в мережу транспортного засобу [1–9]. 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 з можливостями системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є виявлення особливостей моделювання та формування в експлуатації теплової підготовки двигуна транспортного засобу на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Обґрунтування можливості вдосконалення процесів теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу з використанням теплових акумуляторів фазового переходу в умовах експлуатації.

Рекуперация (від лат. *Recuperatio* – «зворотне отримання, повернення») – повернення (отримання для повторного використання) частини матеріалів або енергії для повторного використання в тому ж технологічному процесі (циклічне використання). Рекуперация енергії дозволяє істотно скоротити споживання паливних ресурсів і знизити шкідливі викиди в атмосферу. Все це повною мірою відноситься до транспортних енергетичних систем, де спостерігається стійка тенденція до збільшення питомої потужності транспортних засобів та зростання їх кількості. Крім цього, при використанні транспортних засобів з електричною тягою є великий резерв електричної енергії, що виникає в режимах гальмування, яку можна накопичувати і потім використовувати для потреб самого ж транспортного засобу. В якості одного з прикладів можливого такого використання можна розглядати передпускову і післяпускову теплову підготовку транспортного двигуна і транспортного засобу за допомогою системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

В даному випадку отримана надлишкова електроенергія може використовуватися для додаткового нагріву теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) в теплових акумуляторах фазового переходу системи комбінованої утилізації теплової енергії (рис. 1)

На сьогодні основними напрямками досліджень бортових рекуперативних систем є: підвищення ефективності відбору та перетворення енергії, розробка та вдосконалення накопичувачів енергії, збільшення термінів зберігання накопиченої енергії, створення систем реалізації накопиченої енергії з високим коефіцієнтом корисної дії, розширення сфери використання рекуперативних систем. Відмінною особливістю транспортних бортових рекуперативних систем є те, що їх ефективність зростає з підвищенням нерівномірності руху або ритму роботи.

Так, для транспортних засобів з електричною тягою (гібридних транспортних засобів) особливий інтерес представляє бортова реалізація рекуперативної системи на самоскидах при роботі в кар'єрах або маршрутних автобусах великої місткості при русі на спуск в складних умовах експлуатації, при постійній зміні параметрів руху і навантажень на силові агрегати. Крім того, для описаних транспортних засобів рекуперация може використовуватися для підтримки робочих параметрів автомобілів в допустимих межах. Значний інтерес також представляє спільне використання рекуперативної електричної енергії на борту транспортного засобу з використанням систем прогріву на основі теплових акумуляторів фазового переходу. В цьому випадку оптимальну робочу температуру основних технологічних рідин і салону транспортного засобу можливо

підтримувати за рахунок теплової енергії, відібраної і накопиченої раніше за рахунок теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ) при додатковому нагріванні від системи електричної рекуперації [6].

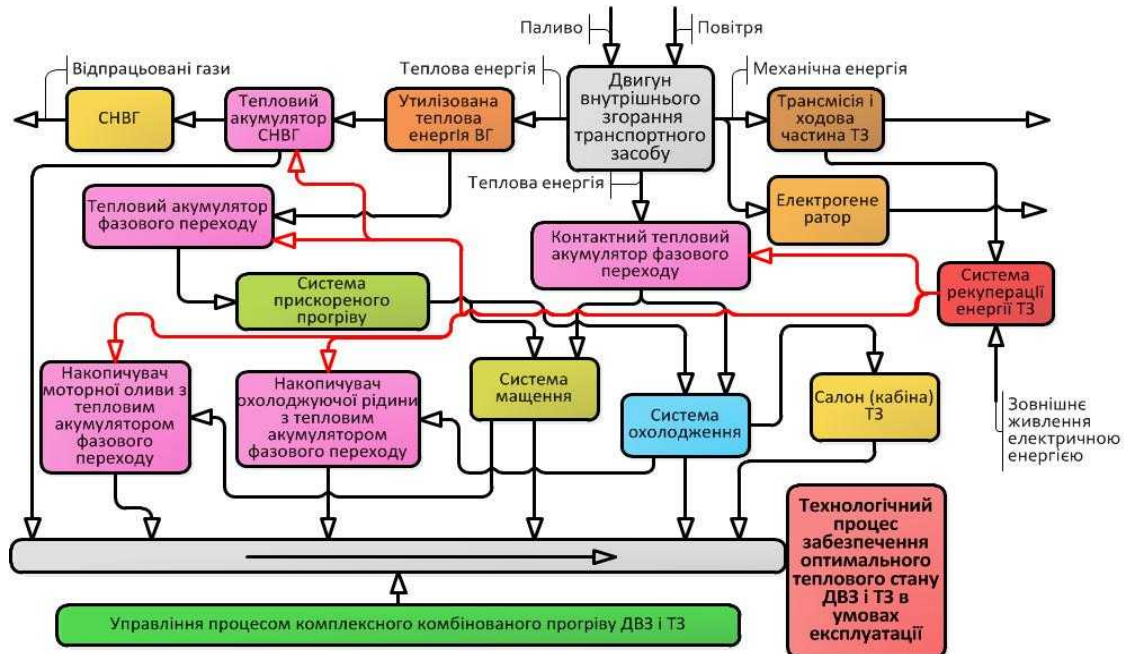


Рис. 1. Формалізована схема комбінованої утилізації теплової та електричної енергії двигуна та транспортного засобу з електричною тягою, оснащеного системою рекуперації енергії, з взаємодією основних енергетичних потоків і їх перетворенням

Обґрунтування можливості застосування і схеми системи комбінованої утилізації теплової та електричної енергії двигуна і транспортного засобу в складі системи рекуперації енергії і принцип її роботи. Для формування системи прогріву двигуна і транспортного засобу вирішено використовувати комбінацію теплових акумуляторів фазового переходу при одночасному використанні електричних нагрівачів. Особливості застосування та використання в транспортних засобах теплових акумуляторів фазового переходу описані в роботах [1–4]. Принципова схема системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі теплових акумуляторів фазового переходу, розроблена авторами, показана в роботі [5] і на рис. 2. В [5] описані особливості роботи складових (компонентів) системи комбінованої утилізації теплової енергії і процесу формування теплової підготовки транспортного двигуна і транспортного засобу. Описана в [5] система комбінованої утилізації теплової енергії транспортного двигуна і транспортного засобу (рис. 2) складається з наступних підсистем: прискореного прогріву двигуна (СППД), утилізації теплової енергії ВГ з ТА фазового переходу (СУТТА), контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторного масла з тепловим

акумулятором (НМОТА), накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором (НОРТ), ТА каталізатора системи нейтралізації ВГ (ТАСНВГ). Система комбінованої утилізації теплової енергії транспортного двигуна і транспортного засобу виконує частину функцій систем охолодження, змащення і випуску ВГ, а також здійснює визначальний вплив на перебіг робочого процесу транспортного двигуна і салону транспортного засобу [5].

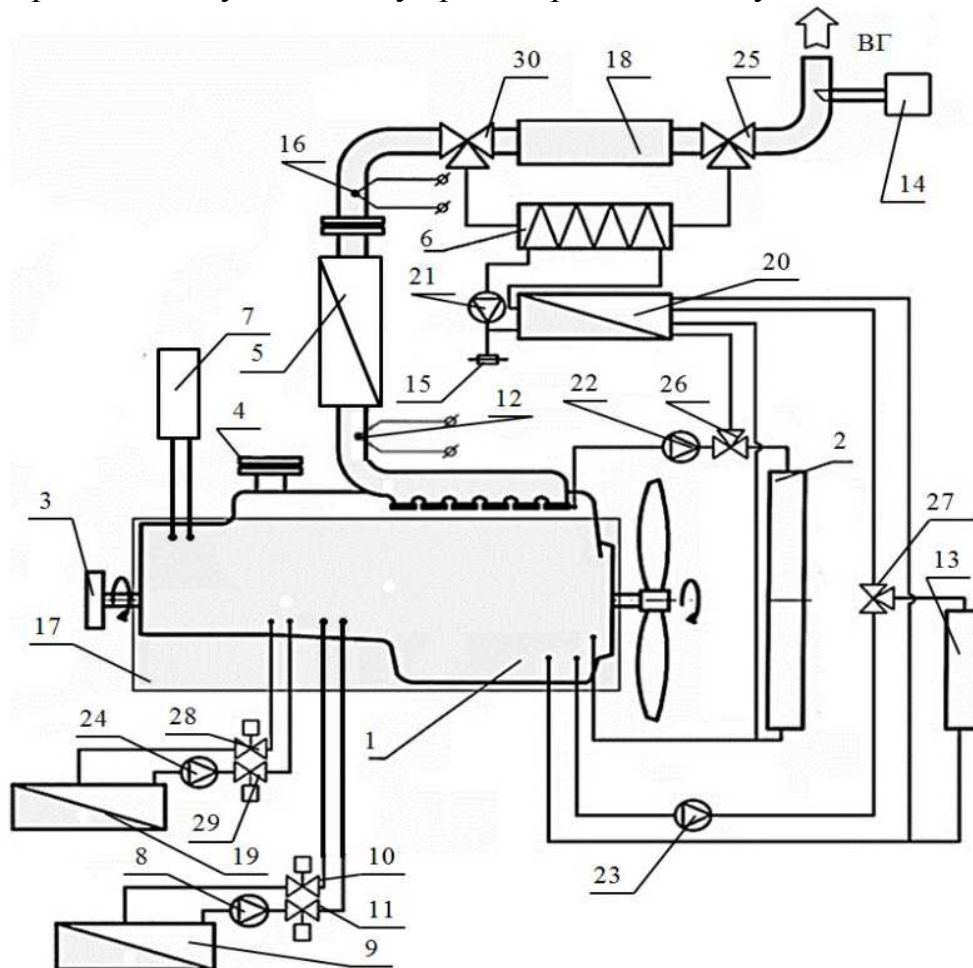


Рис. 2. Схема системи комбінованої утилізації теплової енергії транспортного двигуна та транспортного засобу [5]

Усі перераховані підсистеми можуть працювати спільно у складі та за алгоритмом роботи системи комбінованої утилізації теплової енергії, або окремо одна від одної з виконанням властивих їм особистих функцій [5,6]. Принцип роботи комплексної системи комбінованого прогріву в режимі накопичення теплоти в цілому полягає в комплексному накопиченні теплової енергії, а саме накопиченні теплової енергії саме ВГ тепловим акумулятором фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії ВГ, в накопиченні теплової енергії двигуна у вигляді конвекції і теплового випромінювання контактним тепловим акумулятором транспортного

двигуна під час експлуатації. Означена «вільна» теплова енергія утворюється при згоранні палива в процесі роботи ДВЗ і викидається в атмосферу та не перетворюється на корисну роботу.

Результатів спільного використання систем комбінованої утилізації теплової енергії на основі теплових акумуляторів фазового переходу і систем рекуперації енергії транспортних засобів з електричною тягою для теплової підготовки двигунів і транспортних засобів в холодних умовах експлуатації нами не виявлено [7–9].

На рис. 1 представлена формалізована схема об'єкту дослідження – системи комбінованої утилізації теплової енергії із взаємодією основних енергетичних потоків і їх перетворенням від входу до виходу системи.

У даній системі основним джерелом первинної енергії транспортного двигуна є органічне паливо та повітря, призначені для роботи поршневого двигуна транспортного засобу (рис. 1). Як джерело енергії системи комбінованої утилізації теплової енергії: для роботи теплових акумуляторів фазового переходу підсистеми утилізації теплової енергії відпрацьованих газів і теплового акумулятора фазового переходу системи нейтралізації відпрацьованих газів використовується теплота відпрацьованих газів двигуна, а для роботи контактного теплового акумулятора – теплота двигуна у вигляді конвекції і теплового випромінювання в процесі експлуатації, а крім цього, для всіх теплових акумуляторів фазового переходу електрична енергія з системи рекуперації транспортного засобу з електричною тягою. Всі складові системи за своїм енергетичному потенціалу і питомою вагою нижче основної, однак, діючи системно за певним алгоритмом, дозволяють створити більш гнучку і адаптовану систему для виконання властивих їй функцій в умовах експлуатації.

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

Основним завданням при проведенні досліджень став розгляд питань використання утилізованої електричної енергії в складі системи комбінованої утилізації теплової та електричної енергії транспортного двигуна і транспортного засобу в реальних умовах експлуатації, а також вплив процесів рекуперації на роботу системи

комбінованої утилізації теплової енергії транспортного двигуна і транспортного засобу [6 – 12].

Методика формування циклу забезпечення теплової підготовки двигуна і транспортного засобу в умовах експлуатації з використанням системи комбінованої утилізації теплової енергії на основі теплових акумуляторів. Застосування системи комбінованої утилізації теплової та електричної енергії на основі теплових акумуляторів для транспортного двигуна і гібридного ТЗ дає можливість виконувати:

- швидкий передпусковий прогрів двигуна ТЗ без його пуску від фазоперехідного ТА СУТТА та підсистеми СППД на рівні 40–60 °С,

- швидкий прогрів до температури, при якій можливе навантаження двигуна ТЗ,

- скоротити час прогріву до оптимальної, з точки зору робочого процесу двигуна ТЗ, температури ОР і МО (на рівні 85±5 (95±2) °С) та підтримувати її на заданому рівні,

- швидкий прогрів салону гібридного ТЗ до температури, при якій можлива експлуатація ТЗ без використання високовольтної батареї;

- забезпечувати стаке підтримання температури двигуна ТЗ під час зупинки (в міжзмінний період) до температури 40–50 °С без його роботи в режимі холостого ходу;

- забезпечувати стаке підтримання температури високовольтної батареї гібридного ТЗ в умовах експлуатації за низьких температур.

Одним з основних питань організації передпускового і післяпускового прогріву двигуна до температури, що дозволяє здійснювати приймання навантаження після пуску, забезпечення зберігання двигуна і гібридного ТЗ в міжзмінний період в тривалому інтервалі часу і забезпечувати температурний стан високовольтної батареї і салону ТЗ в межах умов експлуатації, є вибір режимів роботи системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів [13, 14]. Ці режими мають відповідати експлуатаційним вимогам до транспортного двигуна і салону гібридного ТЗ. Зважаючи на те, що питання прискореної теплової підготовки перед пуском двигуна гібридного ТЗ для здійснення руху і виконання встановленої роботи має першочергове значення для організації їх застосування, то доцільно в якості основних режимів теплової підготовки використовувати спеціально розроблений цикл передпускової і післяпускової теплової підготовки двигуна і гібридного ТЗ, оснащеного тепловими акумуляторами (рис. 3).

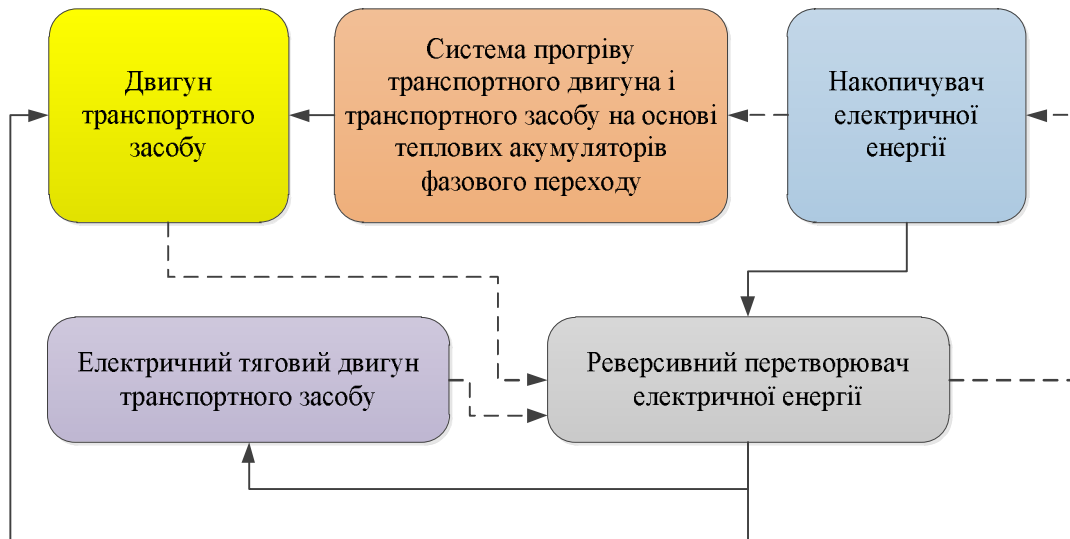


Рис. 3. Схема функціональної реалізації системи рекуперації енергії на транспортному засобі з електричною передачею і утилізацією теплової енергії в процесах накопичення енергії (пунктирні лінії) і реалізації накопиченої енергії (суцільні лінії)

Авторами розроблено цикл забезпечення теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу, який складається з послідовних стадій накопичення теплоти в процесах зарядки ТА різними джерелами енергії гібридного транспортного засобу, її зберігання та використання (розрядка ТА) для прискореного прогріву окремих підсистем гібридного транспортного засобу: ДВЗ, салону транспортного засобу, високовольтної батареї і інші описані в [13, 14].

Результати використання різних складових комплексної системи комбінованого прогріву на транспортному засобі достатньо повно описано в [5, 6]. Для оцінки спільної дії в ТА 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 ТА фазового переходу дозволяє диверсифікувати енергетичні потоки забезпечення роботоздатності ТА в процесах експлуатації ТЗ, що змінюються.

Висновки. Дослідження на фізичній моделі бортової системи рекуперації з утилізацією енергій в транспортних засобах з електричною тягою підтвердили можливість забезпечення утилізації різних видів енергії в теплових акумуляторах фазового переходу і подальше її використання для теплової підготовки різних підсистем гібридних транспортних засобів, що дозволяє істотно підвищити

ефективність їх експлуатації. В роботі була досліджена система комбінованої утилізації теплової та електричної енергії в теплових акумуляторах фазового переходу. Отримана в процесі експлуатації гібридного ТЗ енергія може використовуватися для зарядки ТА від теплової енергії відпрацьованих газів, охолоджуючої рідини і моторного масла двигуна внутрішнього згорання. Також використовується електрична енергія, яка утилізується системою рекуперації при гальмуванні гібридного транспортного засобу. Представлений розроблений цикл забезпечення теплової підготовки підсистем гібридного транспортного засобу.

Виявлено, що використання накопиченої в конденсаторах надвеликої місткості електричної енергії для забезпечення зарядки ТА дозволяє диверсифікувати енергетичні потоки забезпечення працездатності ТА в умовах, що змінюються експлуатації та здійснювати без паливної передпускової прогрів ДВЗ і салону гібридного транспортного засобу без використання високовольтної батареї в умовах низьких температур.

Література:

1. 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.

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

3. 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.

4. Лосавио Г.С. Пуск автомобильных двигателей без разогрева / Г. С. Лосавио. – М.: Транспорт, 1965. – 103 с.

5. 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.

6. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / Волков В. П., Грицук І. В., Гутаревич Ю. Ф., Александров В. Д., Поддубняк В. Й., Прилепський Ю. В., Комов П. Б., Адров Д. С., Вербовський В. С., Краснокутська З. І., Волкова Т. В. – Донецьк: ЛАНДОН–ХХІ, 2015.– 314 с.

7. Falendysh, A. Calculation of the Parameters of Hybrid Shunting Locomotive / *A. Falendysh, P. Kharlamov, O. Kletska, N. Volodarets* // *Transportation Research Procedia* Volume 14, 2016, Elsevier B.V. Pp. 665–671. – DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.32.

8. Falendysh, A. The impact of the type of operation on the parameters of a shunting diesel locomotive with hybrid power plant / *A. Falendysh, M. Volodarets, V. Hatchenko, O. Kletska* // *MATEC Web of Conferences: BulTrans–2017: 9th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies*. – 2017. – Vol. 133. – Article number 03003. – 4 p. – DOI: 10.1051/mateconf/201713303003.

9. Volodarets, M. Determination Parameters of a Hybrid vehicle in Its Life Cycle / *M. Volodarets, O. Kletska, V. Hatchenko, D. Shuleshko, O. Kosariev* // *International Journal of Engineering & Technology*. – 2018. – Vol. 7, №. 4.3. – Pp. 339–343. – DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19830.

10. 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.

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

12. 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.: НИИ Транснавигация, Минтранс России. С. 45–48.

13. 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.

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.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Грицук І. В., Володарець М. В., Погорлецький Д. С.,
Курносенко Д. В., Левченко Д. І.

Аннотация – использование разных видов энергии в фазово–переходных тепловых аккумуляторах и ее дальнейшее использование для теплового развития разных подсистем гибридных транспортных средств позволяет значительно повысить их эксплуатационную эффективность. Предложена система комбинированного использования тепловой и электрической энергии в фазово–переходных тепловых аккумуляторах (ТА). Для зарядки ТА используется тепловая энергия выхлопных газов, охлаждающая жидкость и моторное масло двигателя внутреннего сгорания, а также электрическая энергия, которая используется системой рекуперации энергии при торможении автомобиля. Он состоит из последовательных этапов накопления тепла при зарядке ТА от разных источников энергии гибридного транспортного средства, его хранения и использования для быстрого нагрева отдельных подсистем транспортного средства. Особенности оборудования и технологии использования исследуемой системы подбираются в зависимости от эксплуатационных требований, климатических условий и назначения транспортного средства.

FEATURES OF THE MODELING AND HEAT PREPARATION FORMING IN OPERATION OF THE VEHICLE ENGINE, BASED ON THERMAL PHASE ACCUMULATORS

Gritsuk I., Volodarets N., Pohorletskyi D., Kurnosenko D., Levchenko D.

Summary

The use of various types of energy in phase–transient thermal accumulators and its further use for the thermal development of various subsystems of hybrid vehicles can significantly improve their operational efficiency. A system for the combined use of thermal and electrical energy in phase–transient thermal batteries (TA) is proposed. For TA charging, exhaust heat energy, coolant and engine oil of an internal combustion engine are used, as well as electrical energy that is used by the energy recovery system when braking a car. It consists of successive stages of heat accumulation during charging of TA from various sources of energy of a hybrid vehicle, its storage and use for the rapid heating of individual vehicle subsystems. Features of the equipment and technology of use of the system under study are selected depending on the operational requirements, climatic conditions and the purpose of the vehicle.