

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

## ФОРМУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ КОМБІНОВАНОГО ПРОГРІВУ ДВИГУНА І ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

І.В. Грицук, доц., к.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Запропоновано метод формування оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу за допомогою комплексної системи комбінованого прогріву на основі теплових акумуляторів фазового переходу. Наведена структура комплексної математичної моделі для дослідження і формування комплексної системи комбінованого прогріву при використанні на транспорті.

*Ключові слова:* оптимальний температурний стан, комплексна система комбінованого прогріву, транспортний засіб.

## ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЕЙ И ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

И.В. Грицук, доц., к.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Предложен метод формирования оптимального температурного состояния двигателя и транспортного средства с помощью комплексной системы комбинированного прогрева на основе тепловых аккумуляторов фазового перехода. Представлена структура комплексной математической модели для исследования и формирования комплексной системы комбинированного прогрева при использовании на транспорте.

*Ключевые слова:* оптимальное температурное состояние, комплексная система комбинированного прогрева, транспортное средство.

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE COMPLEX SYSTEM OF COMBINED WARMING UP OF ENGINES AND VEHICLES

I. Grytsuk, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),

Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The method of forming the optimal temperature condition of the engine and the vehicle with the help of a complex system of combined heating based on phase transition heat accumulators is offered. The framework of a complex mathematical model to study and formulate a comprehensive system of combined heating to be used in the transport is offered.

*Key words:* optimal temperature condition, complex system of combined heating, vehicle.

### Вступ

Вирішення проблеми передпускового і післяпускового прогріву двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) і транспортних засобів (ТЗ) може досягатись за допомогою застосування

комплексних систем комбінованого прогріву (КСКП) у складі теплових акумуляторів (ТА) з фазовим переходом [1 – 3]. Розробка і конструювання КСКП включає в себе етапи не тільки технічного використання окремих складових системи, а також етапи дослі-

дження складових елементів комплексної системи прогріву, а саме: теплоакуючих матеріалів (ТАМ) до ТА фазового переходу, вибір і оптимізацію конструкції ТА в залежності від ТАМ і умов експлуатації всієї системи, кліматичних умов тощо [4]. Оптимальними температурними параметрами для двигуна і ТЗ є значення температур: охолоджуючої рідини (ОР) і моторної оливи (МО) в процесі виробничої (комерційної) експлуатації +85-95 °С, що відповідають повному згоранню палива в циліндрі; +50 °С в процесі прийняття навантаження після зберігання і прогріву та зберігання ДВЗ і ТЗ; температура  $\approx +250$  °С для матриці каталітичного нейтралізатора (КН) на початку температурного стрибка (Light-off), коли в КН перетворюється 50% шкідливих речовин (ШР), для салону (кабіни) ТЗ - визначається оптимальними параметрами мікроклімату робочого місця водія тощо. Важливим питанням у цьому напрямку є метод формування оптимального температурного стану двигуна і ТЗ за допомогою КСКП на основі ТА фазового, особливо в умовах інтелектуальних транспортних систем (ITS).

#### Аналіз публікацій

Для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ в умовах експлуатації, при формуванні методики створення КСКП, були проведені експериментальні і розрахункові дослідження на основі стаціонарних і транспортних двигунів [2, 4, 5, 6], а також враховано досвід багатьох авторів [1, 3, 7].

Проведені дослідження щодо встановлення і використання систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом [7–9] на двигунах і ТЗ при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву в різних температурних умовах експлуатації показали скорочення часу прогріву на 16–36 % для ОР і на 20–44 % для МО, зниження шкідливих викидів у відпрацьованих газах (ВГ) для  $\text{NO}_x$  на 93–98 %, а для твердих часток К – на 88–94 % [9–11]. Економія палива при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву може досягати 62–75 % для дизельних і газових двигунів [9–11]. Застосування ТА з фазовим переходом у системі прогріву ОР двигуна ТЗ дозволяє зменшити час прогріву на 17,8–68,4 %, а витрату палива на 19,5–56,25 % [12, 13] при аналогічному здійсненні передпускового і післяпускового прогріву штатним двигуном ТЗ.

КСКП двигунів для здійснення передпускового і післяпускового прогріву включають в себе різноманітні складні підсистеми і елементи прогріву. Для систематизації методик і підходів конструювання таких систем прогріву [14], особливо на основі ТА фазового переходу виникає потреба в наявності методики формування і дослідження систем прогріву ДВЗ і ТЗ при використанні засобів дистанційного моніторингу в умовах ITS.

#### Мета і постановка завдання

Метою роботи є методологічне обґрунтування процесу формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу в процесі експлуатації для забезпечення їх оптимального температурного стану. Для виконання поставленої мети вирішені такі завдання:

- обґрунтування складових процесу формування оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ;
- формування комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ.

#### Обґрунтування складових процесу формування оптимального температурного стану двигуна і ТЗ

Формування науково-технічної проблеми забезпечення оптимального температурного стану (ОТС) ДВЗ і ТЗ в умовах експлуатації на основі використання КСКП у складі ТА фазового переходу показав, що широкомасштабне їх використання є одним з перспективних методів підвищення ефективності експлуатації ТЗ та їх функціональних систем і напрямків дослідження та розроблення комплексних способів гарантування безпеки на транспорті (КСГБТ). До КСГБТ прийнято відносити системи безпеки використання ТЗ, екологічної безпеки тощо. Вирішення проблеми забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі використання КСКП у складі ТА фазового переходу є ефективним кроком для розроблення сучасних ресурсо- і енергозберігаючих, екологічно чистих технологій експлуатації двигунів і ТЗ. Крім цього, подальший розвиток комплексних систем забезпечення оптимальних температур за допомогою КСКП дозволяє підвищити ефективність контролю технічного стану транспортної техніки, встановлює закономірності змінювання параметрів стану в

процесі експлуатації, впроваджує методи і засоби діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання.

Для забезпечення потреб процесу перевезень вантажів і пасажирів двигун і сам ТЗ повинен задовольняти поєднанню вимог якості щодо функціональності, ефективності і безпеки експлуатації, які, в свою чергу, здебільшого залежать від оптимального теплового (тем-

пературного) стану в умовах експлуатації, в першу чергу, двигуна, вузлів і агрегатів трансмісії, каталітичного нейтралізатора (КН) ВГ, а також кабіни водія і пасажирського салону тощо.

На рис. 1 показаний системний підхід до вирішення проблеми (управління процесом) формування ОТС двигуна і ТЗ в процесі експлуатації. У відповідних умовах експлуатації

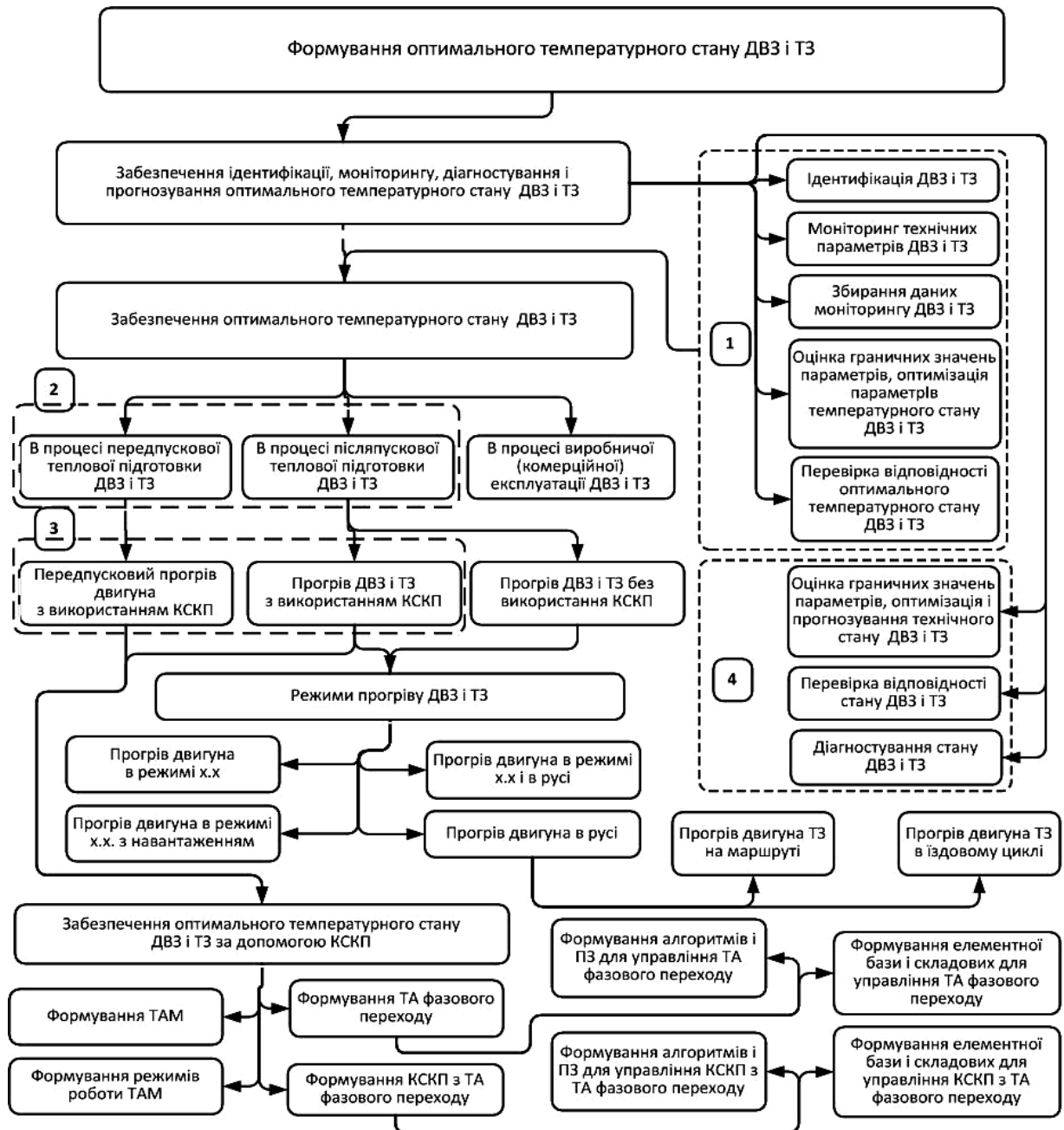


Рис. 1. Система формування оптимального температурного стану двигуна і ТЗ у процесі експлуатації

вибір конкретного способу формування оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ із можливих варіантів, можливо визначити, як прийняття рішення щодо вибору і використання того чи іншого способу удосконалення двигуна і ТЗ при здійсненні комплексного комбінованого прогріву (КСП) з використанням сучасного інформаційно-вимірювального комплексу (ІВК) ТЗ в умовах *ITS*. Відповідне рішення про застосування одного або іншого способу може бути прийняте тільки на основі логічного обґрунтування того, що вибраний варіант є найкращим з точки зору оптимального формування ОТС за визначених умов експлуатації. Кінцеве рішення щодо забезпечення ОТС не є результатом однозначної відповіді, оскільки в кожному конкретному випадку потрібно визначити, з якої точки зору і за допомогою якого підходу найкращим буде той або інший варіант (спосіб).

Розглянемо структуру вирішення проблеми управління процесом формування оптимального температурного стану в процесі експлуатації ДВЗ і ТЗ (рис. 1). З рисунка видно, що в процесі управління забезпеченням ОТС виділяється дві взаємопов'язані складові процеси:

- забезпечення ідентифікації, моніторингу, діагностування і прогнозування оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ;
- забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації.

Особливістю інформаційної взаємодії визначених процесів є наступне. Процес забезпечення ОТС може здійснюватись на основі інформації, що отримується з першої складової процесу, тобто в процесі забезпечення ідентифікації, моніторингу, діагностування і прогнозування оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ (стадія 1). На початку процесу управління ОТС відбувається ідентифікація теплових параметрів, технічного стану і самих ДВЗ і ТЗ за допомогою ІВК і загальної системи моніторингу в структурі *ITS*. Після виконання цього етапу відбувається моніторинг технічних параметрів ДВЗ і ТЗ (в першу чергу теплових) і збирання даних в процесі моніторингу. Під час його здійснення відбувається оцінка граничних значень отриманих параметрів, оптимізація в часі значень параметрів температурного стану ДВЗ і ТЗ. Наприкінці етапу моніторингу і підготовки інформації про поточний тепло-

вий стан відбувається перевірка відповідності ОТС двигуна і ТЗ умовам експлуатації. На основі отриманої інформації в процесі моніторингу починає здійснюватись енергетичне управління процесом забезпечення ОТС двигуна і ТЗ за допомогою КСП, яка працює на основі екологічно чистої технології експлуатації транспорту, що базується на теорії теплового акумулювання і фазоперехідних процесів [2, 4].

Загальний процес забезпечення ОТС під час експлуатації двигуна і ТЗ можливо розділяти на складові: процес передпускової і післяпускової теплової підготовки та процес виробничої (комерційної) експлуатації ДВЗ і ТЗ (стадія 2). Процес передпускового прогріву ДВЗ без фактичної роботи двигуна в режимі холостого ходу (х.х.) можливо виконати тільки за допомогою використання розробленої КСП (стадія 3), що являє собою адаптований до умов експлуатації набір підсистем, елементів і засобів теплової підготовки і підтримання ОТС двигуна і ТЗ на основі ТА фазового переходу. Серед складових формування КСП можливо виділити наступні процеси: формування ТАМ, формування режимів роботи ТАМ, формування ТА фазового переходу і формування саме КСП з ТА фазового переходу. При здійсненні післяпускової теплової підготовки ДВЗ і ТЗ можливе здійснення прогріву як без використання КСП (штатні системи ДВЗ і ТЗ), так і з використанням КСП (стадія 3). В процесі виробничої (комерційної) експлуатації ДВЗ і ТЗ використання КСП проводиться тільки в тому випадку, коли не вдається в умовах експлуатації підтримувати ОТС двигуна і ТЗ у відповідних межах. Інформаційна складова процесу формування ОТС двигуна і ТЗ на стадії 4, крім вище описаних можливостей на стадії 1, може забезпечувати оцінку граничних значень параметрів, оптимізацію і прогнозування технічного стану ДВЗ і ТЗ, перевірку відповідності поточного технічного стану умовам експлуатації і вимогам виготовлювача або замовника (експлуатанта) ДВЗ і ТЗ, а, крім цього, виконувати діагностування стану ДВЗ і ТЗ за відповідними параметрами [15, 16].

Як видно з рис. 1, післяпусковий прогрів ДВЗ і ТЗ можливо проводити в різних режимах експлуатації ТЗ (як в усталених і перехідних режимах роботи двигуна при зупиненому ТЗ, так і в процесі руху ТЗ), а саме:

прогрів двигуна в режимі х.х. і зупиненого ТЗ; прогрів двигуна в режимі х.х. з навантаженням і зупиненого ТЗ; прогрів двигуна в режимі х.х. і зупиненого ТЗ та в подальшому русі ТЗ; прогрів двигуна і ТЗ в русі. Також післяпусковий прогрів двигуна ТЗ в русі можливо проводити як у режимі їздового циклу, так і в русі на маршруті.

### Формування комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ

Процес формування комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ, показаний на рис. 2, включає в себе 5 основних послідовних етапів, які дозволяють

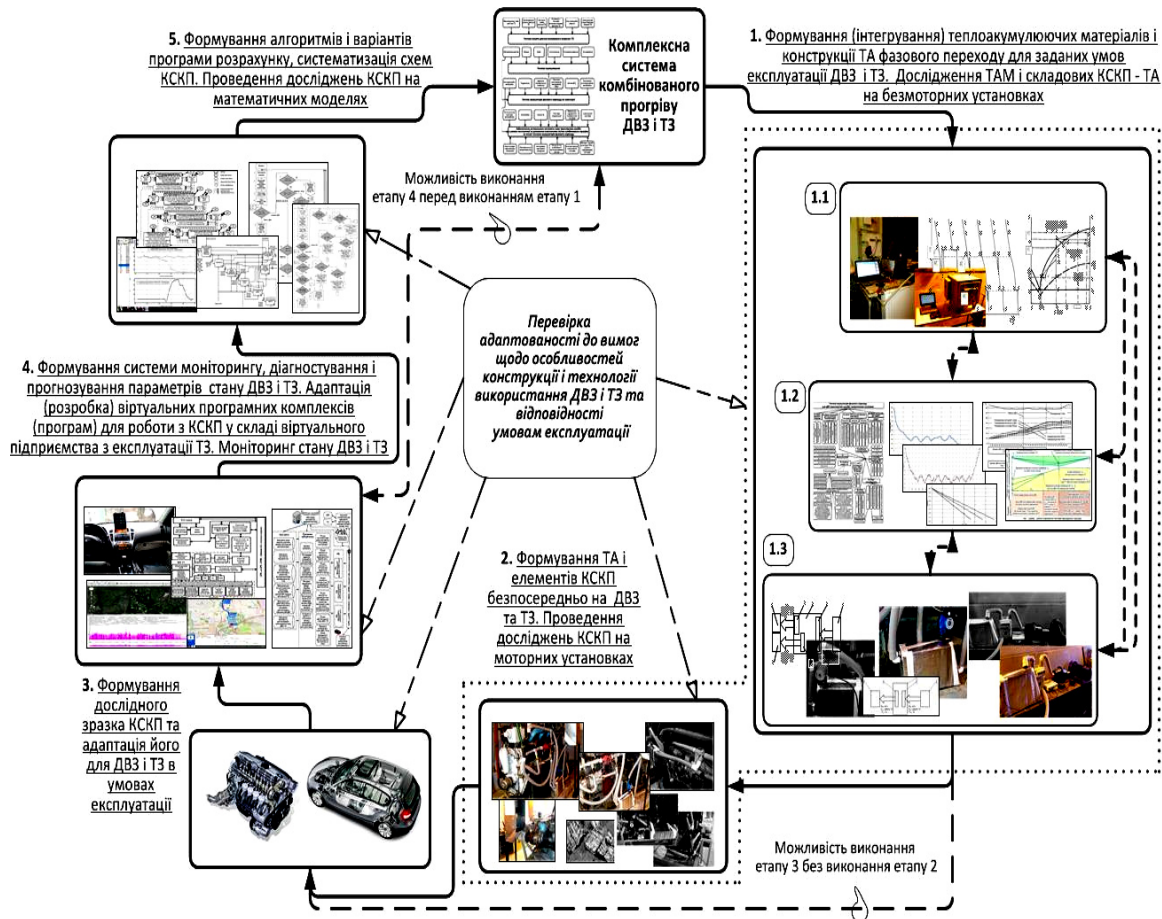


Рис. 2. Формування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ

здійснювати оптимізацію формування варіантів складових і перевірку адаптованості розроблених варіантів КСКП до вимог щодо конструкції і технології використання ДВЗ і ТЗ та відповідності до умов експлуатації [2, 17].

На 1 етапі відбувається формування (інтегрування) теплоакумуючих матеріалів і конструкції ТА фазового переходу для заданих умов експлуатації ДВЗ і ТЗ, дослідження ТАМ і складових КСКП - ТА на безмоторних установках. В цьому етапі формування КСКП можливо виділити 3 основних пункти, а саме: вибір (виготовлення) ТАМ для ТА

фазового переходу (матеріалознавче дослідження); вибір (виготовлення) на основі основних класифікаційних ознак конструкцію ТА фазового переходу та отримання основних експлуатаційних характеристик ТАМ ТА фазового переходу, формування циклів прогріву ДВЗ і ТЗ за допомогою ТА; виготовлення і натурне дослідження ТА фазового переходу, отримання характеристик ТА фазового переходу.

Під час оптимального вибору ТАМ враховується широкий спектр зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на роботу ТАМ КСКП, точність її роботи, надійність та зру-

чність в експлуатації, а крім цього відповідають вимогам безпеки за токсичністю, вибухобезпечністю і пожежобезпечністю, а також радіаційною безпекою матеріалів, що використовуються. До основних особливостей розробки або формування ТАМ КСКП можливо віднести положення, що стосуються всіх елементів системи, яка проектується або формується. Вони базуються на проведених багаторічних теоретичних і експериментальних дослідженнях [2, 4–6, 8–12, 14].

Вибір ТАМ починається з визначення параметрів основного теплового акумулятора (ТА) фазового переходу, обумовлених умовами експлуатації двигуна і ТЗ. Вибір оптимального фазоперехідного ТАМ ТА завжди являє собою певний компроміс між властивостями речовин, що забезпечують працездатність конструкції ТА фазового переходу ДВЗ і ТЗ та сприяють його ефективному функціонуванню, і небажаними його властивостями, які ускладнюють і здорожчують ТА фазового переходу.

Крім того, на 1 етапі проводяться експериментальні дослідження не тільки з метою вивчення теплофізичних та фізико-хімічних характеристик нових перспективних сполук, придатних для акумуляування теплоти в ТА двигунів, ТЗ і ЕУ, а й для уточнення характеристик добре відомих матеріалів [1, 2, 4].

Ефективне теплоакumuлююче середовище ТАМ на основі фазового переходу повинно мати такі властивості [1, 2, 4]:

- високу ентальпію фазового переходу і щільність;
- зручну для експлуатаційних умов температуру плавлення;
- високу теплоємність у твердій і рідкій фазах;
- високу теплопровідність у твердій і рідкій фазах;
- відсутність тенденції до розшарування теплоакumuлюючого матеріалу і температурну стабільність;
- відсутність можливості переохолодження при затвердінні і перегріву при плавленні;
- низьке термічне розширення і незначну зміну обсягу при плавленні;
- слабку хімічну активність, що дозволяє використовувати недорогі конструкційні матеріали для виготовлення теплових акумуляторів і допоміжного обладнання;

- безпеку (відсутність отруйних парів, а також небезпечних реакцій з робочим або теплообмінним середовищем);
- значні ресурси роботи.

Теплоакumuлюючі матеріали, що здатні накопичувати теплову енергію за рахунок фазових переходів і мають відповідні теплофізичні та енергетичні характеристики. Для прикладу, основні теплофізичні та енергетичні характеристики деяких ТАМ наведені в [1, 2, 4].

Аналіз виконаних теоретичних і експериментальних досліджень деяких класів речовин, що є перспективними ТАМ, переконливо свідчить про те, що вибір ТАМ, який задовольняє всім вимогам, є досить складним завданням. Як правило, реальні речовин та їх суміші одночасно поєднують в собі як позитивні з точки зору теплового акумуляування властивості, так і негативні, небажані властивості, виключити які або хоча б зменшити їх вплив вдасться далеко не завжди. Складність вибору ТАМ обумовлена ще й тією обставиною, що проєктований для двигуна і ТЗ ТА повинен бути компактним пристроєм, що забезпечує можливість його монтажу на борту транспортного засобу або енергетичної установки при «щільному» компонуванні основних вузлів і агрегатів [1].

У спеціальній літературі сформульований ряд термодинамічних, кінетичних, хімічних і економічних критеріїв вибору ТАМ, а також їх застосування в ТА [1, 2, 4, 18]. В табл. 2 [1] представлені показники ефективності теплових акумуляторів фазового переходу, яким повинен задовольняти як ТАМ, так і цілком ТА [18]. Цілком очевидно, що в даний час практично не існує ТАМ для ТА, що відповідають одночасно всім перерахованим вище вимогам. В якості джерел енергії для роботи ТА в ТЗ можливо використовувати наступні енергетичні потоки ДВЗ і ТЗ: ВГ, ОР, МО, енергія гальмування електричних ТЗ при здійсненні рекуперації [19] тощо.

На 2 етапі відбувається формування ТА і елементів КСКП безпосередньо на ДВЗ та ТЗ, проведення досліджень КСКП на моторних установках. На цьому етапі відбувається доводка розроблених ТА фазового переходу і адаптація їх до роботи з реальним ДВЗ і ТЗ в умовах експлуатації. Експериментальні дослідження дизеля К-461М1 (6ЧН 12/14) і газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14) показали, що для полегшення пуску і швидкого прогрі-

ву охолоджуючої рідини (ОР) і моторної оливи (МО) двигуна доцільно використовувати цей етап при формуванні і дослідженні КСКП [2, 4 – 6, 8 – 12, 14].

На 3 етапі відбувається формування дослідного зразка КСКП, та адаптація його для ДВЗ і ТЗ. Для дослідження і оцінки роботи ДВЗ і ТЗ під час пуску і прогріву необхідно вимірювати щонайменше наступні параметри (при зупиненому ТЗ і в процесі руху): швидкість ТЗ, частоту обертання, витрату палива, коефіцієнт надлишку повітря, температуру ОР, температуру КН, напругу на датчиках  $O_2$  каталізатора, абсолютне значення навантаження двигуна; тиск у впускному колекторі, температуру повітря на впуску, напругу бортової мережі – зарядки акумулятора і живлення системи керування приладів тощо. У випадку дослідження параметрів двигуна, оснащеного КСКП, з ТА в процесі пуску і прогріву додатково – температури теплоносіїв в ТА, СОД і СМ,  $t$ ,  $^{\circ}C$  ( $T$ ,  $K$ ).

Сучасним розв'язком вказаної задачі в КСКП є застосування дистанційного моніторингу за процесами прогріву теплоносіїв ДВЗ при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву до температури не менше  $50^{\circ}C$  для забезпечення можливості прийняття зовнішнього навантаження. Для того, щоб отримувати дистанційно під час пуску і прогріву двигуна ТЗ в режимі «on-line» необхідну інформацію про теплові процеси, запропоновано оснастити ДВЗ трекерами, а в плані функціональних доповнень, підключити ряд датчиків [15]. Для апробації можливостей системи формування КСКП були використані багаторічні експериментальні та розрахункові дослідження складових елементів КСКП на дизелі К-461М1 (6ЧН 12/14) і газовому двигуні К-159М2 (6Ч 12/14) [2], а також на бензиновому автомобільному двигуні G4GC (4Ч 7,72/8,45) транспортного засобу KIA CEE'D 2.0 5MT2 і автомобільному двигуні 8Ч 9,2/8 транспортного засобу ГАЗ-66-11 [10–12]. Для дистанційного моніторингу параметрів робочих процесів двигуна і ТЗ в реальному часі в процесі дослідження був використаний програмно-діагностичний комплекс у складі віртуального підприємства «ХНАДУ-ТЕСА» [15]. Дослідження проводились при різних варіантах здійснення прогріву, а саме: 1 – прогрів тільки на режимі х.х.; 2 – прогрів на режимі х.х. з включенням електричних споживачів; 3 – прогрів на ре-

жимі х.х. з поступовим прогрівом в русі; 4 – прогрів в русі.

На 4 етапі відбувається формування системи моніторингу, діагностування і прогнозування параметрів стану ДВЗ і ТЗ, адаптація (розробка) інформаційних програмних комплексів (програм) для роботи з КСКП у складі віртуального підприємства з експлуатації ТЗ, моніторинг стану ДВЗ і ТЗ. Детально цей етап формування КСКП описаний в роботах [15, 16]. Для моніторингу параметрів систем прогріву ТЗ і ЕУ бажано використовувати технічні засоби, що працюють в умовах інтелектуальних транспортних систем [15]. До основних особливостей формування КСКП двигунів ТЗ на основі ТА фазового переходу в умовах ITS, що базуються на проведених багаторічних теоретичних і експериментальних дослідженнях [15], віднесені положення, описані в роботі [20, 21].

На 5 етапі відбувається формування комплексної математичної моделі забезпечення оптимального температурного стану ТЗ в умовах експлуатації, алгоритмів і варіантів програми розрахунку, систематизація схем КСКП, проведення досліджень КСКП на математичних моделях тощо. Як складові комплексної математичної моделі забезпечення оптимального температурного стану ТЗ в умовах експлуатації використовувались наступні (рис. 3):

- математична модель системи «Двигун з КСКП» в режимах їздового циклу ТЗ згідно з Правилами ЄЕК ООН № 83-04;
- математична модель «Розрахунок роботи ДВЗ»;
- математична модель «Комплексний комбінований прогрів»;
- інформаційний програмний комплекс моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ в умовах ITS «MonDiaFor «HADI-15».

У математичну модель «Комплексний комбінований прогрів» входять складові, що дозволяють розраховувати параметри робочих процесів ДВЗ і ТЗ в процесі передпускової і післяпускової теплової підготовки ДВЗ і ТЗ, а також у процесі виробничої (комерційної) експлуатації ТЗ. До цієї моделі віднесені такі складові:

- математична модель роботи ТА фазового переходу;

- математична модель роботи підсистеми прискореного прогріву двигуна;
- математична модель роботи підсистеми утилізації теплової енергії ВГ ТА фазового переходу;
- математична модель роботи контактної ТА фазового переходу;
- математична модель роботи накопичувача МО або ОР з ТА фазового переходу;
- математична модель роботи ТА катализатора системи нейтралізації ВГ.

Інформаційний програмний комплекс моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ в умовах ІТS «MonDiaFor «HADI-15»» включає в себе такі підсистеми:

- збирання даних моніторингу ДВЗ і ТЗ;
- математична модель визначення граничних характеристик ДВЗ і ТЗ;
- математична модель формування оптимальних характеристик і прогнозування стану ДВЗ та ТЗ.



Рис. 3. Складові комплексної математичної моделі забезпечення оптимального температурного стану ТЗ в умовах експлуатації

Між етапами 1, 2, 3 і 5 протягом процесів формування оптимального температурного стану двигуна і ТЗ за допомогою КСКП на основі ТА фазового переходу відбувається перевірка адаптованості створюваної системи до вимог конструкції і технології використання ДВЗ і ТЗ та відповідності умовам їх експлуатації. Перевірка адаптованості виконується методом замкнутої оптимізації [22], який дозволяє приймати для оптимізації практично будь-який параметр системи прогріву - ККД, режим роботи КСКП двигуна і ТЗ з ТА при здійсненні його прогріву, конструкційні параметри ТА фазового переходу

тощо. Це в кінцевому підсумку дає можливість оцінювати досконалість КСКП двигуна і ТЗ з ТА фазового переходу при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву ДВЗ і ТЗ і комерційній експлуатації ТЗ.

## Висновки

Запропонований підхід до формування комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ.



Наведена структура комплексної математичної моделі для дослідження і формування КСКП при використанні на транспорті.

Запропонований метод замкнутої оптимізації при формуванні оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ зручний для практики і дозволяє здійснювати як пошукові дослідження КСКП двигунів і ТЗ з ТА фазового переходу, так і отримувати результати в процесі їх проектування. Проведення досліджень для формування КСКП дозволяють вибирати оптимальні параметри ТА фазового переходу з урахуванням особливостей їх конструкції і технології використання в умовах експлуатації, а також визначати вплив окремих параметрів ТА фазового переходу на ефективність КСКП для двигунів і ТЗ в реальних умовах експлуатації.

### Література

1. Шульгин В. В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В. В. Шульгин. – С.Пб.: Издательство политех. ун-та, 2005. – 268 с.
2. Волков В. П. Системы прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров, та ін. – Донецьк: Ноулідж, 2015. – 316 с.
3. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2001. – 148 с.
4. Александров В. Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів: монографія / В. Д. Александров, Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, та ін. – Донецьк: Ноулідж, 2014. – 230 с.
5. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2011. – №27. – С. 117–126.
6. Адров Д. С. Експериментальні дослідження системи комбінованого прогріву двигуна з тепловим акумулятором / Д. С. Адров, І. В. Грицук, В. Д. Александров, та ін. // Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2012. – №31. – С. 158–167.
7. Schatz D. Latentwärmespeicher für Kaltstartverbesserung von Kraftfahrzeugen / D. Schatz // Brennst. – Wärme-Kraft. – 1991. – №6. – P. 333–340.
8. Вербовський В.С. Дослідження системи передпускового розігріву газового двигуна на основі використання теплового акумулятора з теплоакumuлюючим матеріалом, що має фазовий перехід / В.С. Вербовський, І.В. Грицук, Д.С. Адров, З.І. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания: научно-технический журнал. – 2013. – №1. – С. 110–116.
9. Вербовський В.С. Особливості передпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / В.С. Вербовський, І.В. Грицук, Д.С. Адров, З.І. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – 2014. – №2. – С. 85–90.
10. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження системи комбінованого прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук // Двигатели внутреннего сгорания: научно-технический журнал. – 2014. – №1. – С. 67–73.
11. Грицук І.В. Особливості дослідження системи прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / І.В.Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 38. – С. 117–133.
12. Гутаревич Ю.Ф. Вплив системи прогріву з тепловим акумулятором фазового переходу на показники пуску і прогріву транспортного двигуна / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr. 5. Seria: Transport. - Rzeszow. 2014. – P. 155–160.
13. Rosen M. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems / M. Rosen, F.Hooper, L. Barbaris // J. of Solar Energy Engineering. – 1988. Nov. – V. 110. – P. 255-262.
14. Грицук І.В. Системний підхід до проектування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву ДВЗ /

- І.В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2012. – № 30. – С. 106–117.
15. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография / В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов и др.; под. ред. Волкова В.П. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 400 с.
16. Волков В.П. Формування інформаційної системи моніторингу та прогнозування технічного стану транспортних засобів / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук // Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками та напрямки їх розв'язання» (26-28 березня 2015 р.). – Львів: Вид-во Львівської політехніки, НУ “Львівська політехніка”, 2015. – С. 117.
17. Валидация, верификация, специальный процесс // СертиКом -Режим доступа: <http://www.certicom.kiev.ua/vvsp.html> – 08.04.2015 г.
18. Грицук І.В. Особливості дослідження системи прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / І.В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2014. – №38. – С. 117–133.
19. Черняк Ю.В. Фізична модель рекуперативної системи маневрового тепловозу: монографія / Ю.В. Черняк, Ю.В. Прилепський, І.В. Грицук. – Донецьк: Ноулідж, 2010. – 196 с.
20. Гутаревич Ю.Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Д.С. Адров, та ін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2014. – № 10 (1053). – С. 55–62.
21. Матейчик В.П. Особливості структури систем моніторингу транспортних засобів на основі бортового комплексу *ITS* / В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман, Ю.В. Волков // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – 2014. – Випуск 2. – С. 180–188.
22. Горожанкин С.А. Метод замкнутой оптимизации для анализа параметров действительных циклов машин Стирлинга // Вісник Донбаської держ. акад. буд. і арх. – 2000. – Вип. 2000-5(25). – С. 14–18.

Рецензент: О.М. Врублевський, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 1 липня 2015 р.

---