

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

ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГУНА ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКСНОГО КОМБІНОВАНОГО ПРОГРІВУ

**В.П. Волков, проф., д.т.н., І.В. Грицук, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Виконано обґрунтування доцільності формування оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу в процесі експлуатації за рахунок використання комплексного комбінованого прогріву. Визначено основні складові комплексної системи комбінованого прогріву для застосування на транспорті.

Ключові слова: комплексний комбінований прогрів, транспортний двигун, оптимальний температурний стан, транспортний засіб.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ КОМПЛЕКСНОГО КОМБИНИРОВАННОГО ПРОГРЕВА

**В.П. Волков, проф., д.т.н., И.В. Грицук, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Выполнено обоснование целесообразности формирования оптимального температурного состояния двигателя и транспортного средства в процессе эксплуатации за счет использования комплексного комбинированного прогрева. Определены основные составляющие комплексной системы комбинированного прогрева для применения на транспорте.

Ключевые слова: комплексный комбинированный прогрев, транспортный двигатель, оптимальное температурное состояние, транспортное средство.

FORMATION OF THE OPTIMAL TEMPERATURE STATE OF THE VEHICLE ENGINE THROUGH COMPLEX COMBINED HEATING

**V. Volkov, Prof., D. Sc. (Eng.), I. Grytsuk, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. Substantiation of the expediency of forming the optimal temperature state of the engine and the vehicle in the process of operation at the expense of usage of integrated combined heating is carried out. The basic components of a complex system of combined heating to be applied in transport means are determined.

Key words: complex combined heating, vehicle engine, optimal temperature state, vehicle.

Вступ

Сучасний транспортний засіб (ТЗ) як складна інженерно-технічна система забезпечення потреб процесу перевезень вантажів і пасажирів має задовольняти поєднання вимог якості щодо функціональності, ефективності

й безпеки експлуатації, серед яких вагоме місце займають неодмінно показники працездатності, економічності, технічної справності, надійності, адаптації до різних умов експлуатації, безпеки використання ТЗ, екологічної безпеки, комфортності й ергономічності. Усі перераховані властивості транс-

портних засобів у більшості своїй залежать від оптимального теплового стану (ОТС) в умовах експлуатації, в першу чергу двигуна, вузлів і агрегатів трансмісії, каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів, а також кабіни водія і пасажирського салону.

Аналіз публікацій

Питання забезпечення оптимального температурного стану двигунів транспортних засобів в умовах експлуатації достатньо широко розглянуті в роботах багатьох авторів [1–3]. Але використання комплексних систем комбінованого прогріву в літературі розглянуто не достатньо повно, тому вважаємо розгляд цього питання доцільним.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є методологічне обґрунтування формування ОТС двигуна і транспортного засобу в процесі експлуатації за рахунок використання комплексного комбінованого прогріву. Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі:

- виконано формування ОТС транспортного двигуна у процесі передпускової й післяпускової теплової підготовки за рахунок комплексного комбінованого прогріву (ККП);
- обґрунтовано наукові основи забезпечення комплексної стабілізації ОТС двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) і ТЗ у процесі експлуатації;
- сформовано основні стратегічні напрями вирішення науково-технічної проблеми комплексного забезпечення ОТС ТЗ.

Формування ОТС транспортного двигуна у процесі передпускової й післяпускової теплової підготовки за рахунок ККП

Взято за правило повноту корисних енергетичних перетворень у транспортному двигуні, як і досконалість організації його робочого процесу, характеризувати значеннями складових зовнішнього теплового балансу, за допомогою якого існує можливість виявити недовикористані «резерви» в теплових втратах [1, 3, 4]. Відомо, що тепловий баланс двигуна, або зовнішній тепловий баланс, являє собою визначений дослідним шляхом розподіл теплоти, яка вводиться у двигун із паливом на утворення теплоти, що використовується корисно, і окремі види втрат. Тепловий баланс двигуна складається з кількості теплоти, що перетворюється в корисну роботу, кількості теплоти, що передається охоло-

джуючій рідині та моторній оливі, втрат теплоти з ВГ, втрат теплоти через неповноту згорання палива та інших втрат [4, 5].

Під ефективним ККД двигуна η_e взято за правило розуміти відношення ефективної роботи на валу двигуна до кількості теплової енергії використаного палива [6] (у системі одиниць СІ і теплота, і робота вимірюються в одних одиницях – Дж). При цьому мова може йти тільки про те, що «цільовим продуктом» ДВЗ є механічна робота, а теплова енергія, що відводиться у системи охолодження (СОД) і мащення (СМ) та з відпрацьованими газами (ВГ), є втратами, як і інші складові теплового балансу. Сумарний ефективний ККД транспортного двигуна має враховувати основні складові експлуатаційного процесу, такі як ефективний ККД двигуна в режимі прогріву і ефективний ККД двигуна у процесі виконання транспортної роботи [6].

Серед різних режимів роботи транспортного двигуна найбільш складним, утрудненим і аварійним є режим пуску і прогріву «холодного» двигуна в умовах низьких температур навколишнього середовища (НС). У процесі прогріву двигуна в режимі х.х., після запуску, зовнішнє навантаження на двигун відсутнє, ДВЗ розвиває потужність тільки на подолання опору в самому двигуні і приводах навісного обладнання. Для оцінки ефективності роботи двигуна ТЗ із ДВЗ в режимі прогріву на х.х. «цільовим продуктом» необхідно вважати теплову енергію, яка використовується для прогріву двигуна і ТЗ, що відводиться (утилізується) у системи охолодження і мащення, а також до навколишнього середовища через систему випуску і конвекцію. Тому можна говорити про ефективний ККД транспортного двигуна ТЗ, як ККД суто нагрівального пристрою.

Як впливає з аналізу даних, поданих в [7], у процесі транспортної роботи значна кількість теплової енергії двигунів віддається ВГ (до 40–45 % за стандартних кліматичних умов) і відводиться системами охолодження і мащення (до 35 % за тих самих умов). Розглядаючи роботу транспортного двигуна в цілому, виходить, що загальний ККД кращих бензинових двигунів (з іскровим примусовим запалюванням) не перевищує 25–30 %, а ККД кращих дизельних двигунів в їх найбільш економічних великогабаритних варіантах багато десятиліть не перевищує 40–45 %. У малих дизелів ККД орієнтовно від-

сотків на 10 нижче [8], й такі значення досягаються тільки в зоні максимального крутного моменту двигуна. При цьому корисна потужність від згорілого палива знижується до 5–10 %. Решта 90–95 % потужності виділяється у вигляді теплоти і розсіюється трьома основними шляхами: через охолоджуючу рідину (ОР) і моторну оливу (МО), через відпрацьовані гази та у вигляді конвекції й теплового випромінювання. Тому в ТЗ «цільовим продуктом» двигуна необхідно вважати теплоту і правильніше називати його пересувним підігрівачем навколишнього середовища (НС) [9].

Таким чином, у процесі експлуатації ТЗ їх двигуни володіють значним енергетичним потенціалом теплової енергії, яка недовикористовується і відводиться в більшості в навколишнє середовище. При цьому відкривається суттєвий парадокс: за наявності великої кількості невикористаної теплової енергії двигуна ТЗ він потребує післяпускового прогріву до 30–40 °С, щоб розпочати рух, а для того щоб здійснити приймання навантаження, потрібен розігрів двигуна ТЗ до 50–60 °С.

У сучасних ТЗ тепла енергія ВГ і ОР частково утилізується для різних власних потреб. Наприклад, тепла енергія ОР широко використовується для обігріву салону (кабіни) ТЗ, а тепла енергія ВГ – для підігріву кузовів самоскидів, нейтралізації шкідливих викидів у каталітичних нейтралізаторах. Відомі також й інші варіанти корисного використання теплової енергії ВГ і ОР двигунів ТЗ: підігрів палива і повітря, що надходять у камеру згорання двигуна; обігрів акумуляторних батарей, елементів трансмісії тощо. Експлуатація ТЗ як складної технічної системи в різних природно-кліматичних умовах вимагає пошуку нових технічних рішень, що підвищують його стійкість до впливів низьких температур НС.

Наукові основи забезпечення комплексної стабілізації ОТС двигуна і ТЗ у процесі їх експлуатації

Під час здійснення аналізу численних проблем, що виникають у процесі функціонування двигунів і ТЗ, висунуто наукову ідею їх вирішення шляхом забезпечення комплексної стабілізації ОТС двигуна і ТЗ не тільки утилізацією, а й акумулюванням теплової енергії, що відводиться ВГ та технологічними рідинами двигуна (ОР і МО), а також у

вигляді конвекції й теплового випромінювання транспортних двигунів у процесі їх експлуатації. Суть науково-технічної проблеми полягає в оптимізації температурного стану ТЗ в умовах експлуатації, що забезпечується за рахунок теплової енергії транспортного двигуна, яка не використовується у процесі його роботи за призначенням і може не тільки утилізуватися на власні потреби ТЗ, а й акумулюватися у спеціальних бортових пристроях – комплексних системах комбінованого прогріву (КСКП).

Ці системи поєднують у собі теплові акумулятори фазового переходу різних температур і різного призначення, для виконання ефективного комбінованого підтримання температурного стану ТЗ і транспортного двигуна за рахунок єдиного підходу, ґрунтованого на здійсненні моніторингу їх теплових і експлуатаційних параметрів, та визначення умов і режимів їх ефективного функціонування (рис. 1).

Теплові акумулятори (ТА) фазового переходу як складові елементи КСКП можуть одночасно застосовуватись як перспективні індивідуальні накопичувачі теплової енергії, що призначені для передпускової й післяпускової теплової підготовки двигуна як енергетичної, так і транспортної машини, прогрівання її кабіни й обігріву агрегатів трансмісії при непрацюючому ДВЗ, а також стабілізації теплового стану транспортного двигуна у процесі роботи [1, 2, 13].

Таке відношення до ТА фазового переходу стало можливим завдяки тому, що, по-перше, існує досить велика кількість різних апробованих і перспективних технічних рішень у цьому напрямку; по-друге, в останні роки з'явилося багато різноманітних нових типів і конструкцій ТА фазового переходу; а по-третє, ТА випускаються невеликими партіями вітчизняними й закордонними підприємствами [2, 13]. ТА фазового переходу являє собою такий теплообмінний апарат, який дозволяє накопичувати теплову енергію, що відводиться ВГ та технологічними рідинами двигуна (ОР і МО), а також у вигляді конвекції й теплового випромінювання транспортних двигунів у процесі експлуатації, шляхом теплообміну між вказаними теплоносіями (середовищем) з фазоперехідним теплоакуюлюючим матеріалом (ТАМ), що зазнає оборотних фазових переходів плавлення – кристалізації, зберігає її тривалий час і в подальшому віддає споживачеві [2, 13].

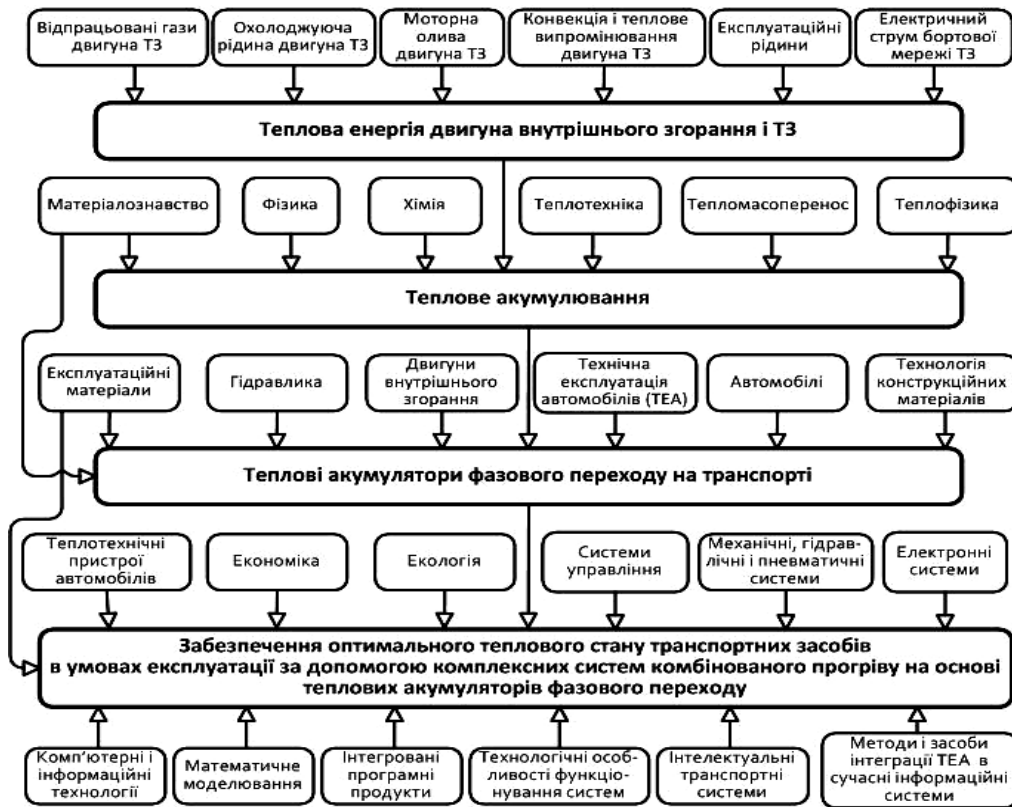


Рис. 1. Формування наукової ідеї й підходу до забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації за допомогою КСКП на основі теплових акумуляторів фазового переходу

Основні напрями вирішення науково-технічної проблеми комплексного забезпечення ОТС транспортного засобу

Для використання на борту сучасних ТЗ технології комплексного комбінованого прогріву за допомогою КСКП на основі ТА фазового переходу істотно значення мають їх масогабаритні показники; це, в першу чергу, пов'язано з компонуванням і розміщенням КСКП на ТЗ [1, 2, 13]. Для формування КСКП як складних систем у процесі забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації за допомогою КСКП на основі ТА фазового переходу в процесі передпускової та післяпускової теплової підготовки можна використовувати різні, попередньо підготовлені, взаємопов'язані і взаємодіючі між собою блоки або модулі й елементи різних типів, різні технічні рішення, що об'єднуються між собою єдиною метою і базуються на попередньо виконаному аналізі (рис. 1). Основними стратегічними напрямами вирішення науково-технічної проблеми комплексного забезпечення ОТС двигуна і ТЗ за рахунок розроблення ресурсоощадних, екологічно чистих технологій експлуатації, з викорис-

танням сучасних ресурсо- і енергозберігаючих технологій утилізації й накопичення теплової енергії в умовах експлуатації, є (рис. 2 і 3):

1. Забезпечення стабілізації температури робочих тіл (ОР в СОД і МО в СМ) ДВЗ із метою формування ОТС двигуна ТЗ у міжмінний період у процесі безгаражного зберігання в умовах низьких температур.
2. Забезпечення стабілізації температури робочих тіл (ОР в СОД і МО в СМ) ДВЗ із метою формування ОТС двигуна і ТЗ для здійснення «гарячого» пуску і прискореного прогріву після пуску двигуна і ТЗ, а також для вирішення проблем екологічної безпеки ТЗ завдяки прискореній підготовці до роботи каталітичного нейтралізатора ТЗ.
3. Формування характеристик прогріву і зберігання ДВЗ і ТЗ за допомогою відповідних елементів і програмних комплексів для здійснення дистанційного моніторингу теплового стану, діагностування і прогнозування стану ТЗ та керування елементами КСКП для забезпечення двигуна і ТЗ в ОТС.

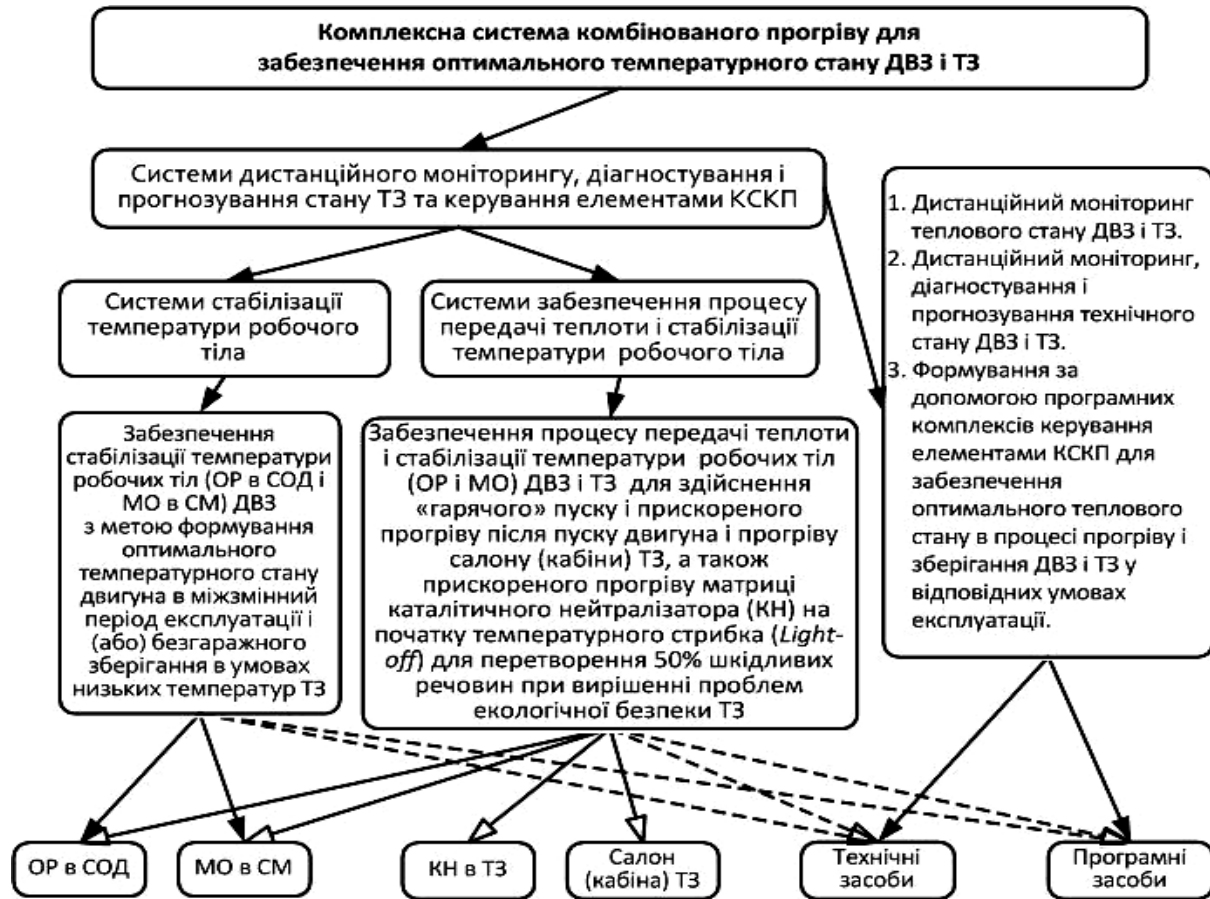


Рис. 2. Використання комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ



Рис. 3. Формування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення оптимального температурного стану ДВЗ і ТЗ

Перший напрям дозволяє вирішити проблеми теплової підготовки ДВЗ при непрацюючому двигуні за рахунок забезпечення стабілізації температури робочих тіл (ОР і МО) з метою формування ОТС двигуна ТЗ у міжзмінний період в умовах безгаражного зберігання ТЗ за низьких температур НС, тобто довготривалого зберігання теплового стану ДВЗ при непрацюючому двигуні ТЗ. На цьому етапі вирішуються деякі проблеми екологічної безпеки ТЗ, а саме виключається з практики експлуатації ТЗ міжзмінний прогрів їх двигунів і використання деяких індивідуальних способів передпускової теплової підготовки ДВЗ, що забруднюють НС [2].

Другий напрям дозволяє вирішити проблеми теплової підготовки ДВЗ і ТЗ при непрацюючому і працюючому двигуні за рахунок забезпечення стабілізації температури робочих тіл (ОР і МО) з метою формування ОТС двигуна і ТЗ для здійснення «гарячого» пуску і прискореного прогріву після пуску двигуна і ТЗ, а також для вирішення проблем екологічної безпеки ТЗ завдяки прискореній підготовці до роботи каталітичного нейтралізатора ТЗ. Цей напрям дозволяє вирішити проблеми передпускової теплової підготовки ДВЗ при непрацюючому двигуні; проблеми прискореної післяпускової теплової підготовки ДВЗ, обігріву салону (кабіни) ТЗ (розігрівання агрегатів трансмісії) за низьких температур НС. На цьому етапі також вирішуються і деякі проблеми екологічної безпеки ТЗ, а саме – виключається із практики експлуатації ТЗ післяпусковий прогрів їх двигунів до досягнення відповідної температури за рахунок теплової енергії палива працюючого двигуна, що забруднює НС [2]. Крім цього, на цьому етапі відбувається підвищення ефективності роботи каталітичних нейтралізаторів (КН) ВГ за рахунок забезпечення оптимальних температур прогріву їх матриці до ефективного режиму роботи за рахунок застосування ТА фазового переходу в конструкції КН, що конструктивно пов'язаний з каталітичним конвертором.

Третій напрям дозволяє вирішити проблеми формування характеристик прогріву ДВЗ із використанням засобів інтелектуальних транспортних систем (ITS), для чого потрібно здійснити розробку і формування технічним і програмним забезпеченням системи моніторингу теплових параметрів, діагностування і прогнозування стану ТЗ й автоматичної сис-

теми її керування у складі КСКП, що дозволяють у повному обсязі здійснювати керування тепловими потоками двигуна для забезпечення ОТС ТЗ і його двигуна в межах єдиної системи забезпечення працездатності [10].

Процес формування комплексних систем комбінованого прогріву для забезпечення ОТС двигуна і ТЗ показано на рис. 3. Він включає в себе 5 основних послідовних етапів, які дозволяють здійснювати оптимізацію формування варіантів складових і перевірку адаптованості розроблених варіантів КСКП до вимог щодо конструкції й технології використання ДВЗ і ТЗ та відповідності до умов експлуатації [11, 12]. Формування стратегічних напрямів вирішення науково-технічної проблеми забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації на основі використання КСКП у складі ТА фазового переходу для забезпечення передпускової й післяпускової теплової підготовки ДВЗ показало, що широкомасштабне їх використання є одним із перспективних методів підвищення ефективності експлуатації ТЗ та їх функціональних систем і напрямів дослідження та розроблення комплексних способів гарантування безпеки на транспорті, тобто безпеки використання ТЗ, екологічної безпеки, ефективним кроком для розроблення ресурсозберігальних, екологічно чистих технологій експлуатації, а саме розвитку сучасних систем забезпечення ОТС ТЗ в умовах експлуатації з використанням сучасних ресурсо- і енергозберігальних технологій. Крім цього, подальший розвиток 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.

Висновки

Комплексний комбінований прогрів двигуна ТЗ, що забезпечується КСКП у складі ТА фазового переходу, є системою автономних і досить енергоємних накопичувачів енергії, що функціонують за рахунок утилізації й накопичення теплової енергії, що відводиться ВГ та технологічними рідинами двигуна

(ОР і МО), а також у вигляді конвекції й теплового випромінювання транспортних двигунів у процесі експлуатації. Крім цього, КСКП дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг теплового стану двигуна ТЗ і керування елементами КСКП для забезпечення цього стану в умовах *ITS*.

Актуальність розробленої наукової концепції підтверджується вимогами, викладеними в державних стандартах і правових нормативних актах України, що регулюють відносини у сфері експлуатації ТЗ та їх функціональних систем, їх безпеки використання з експлуатацією сучасних ресурсо- і енергозберігальних технологій та захисту навколишнього середовища.

Література

1. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В.В. Шульгин. – С.Пб.: Изд-во политехн. 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. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др. – М.: Высшая школа, 2007. – 480 с.
6. Сергієнко М.І. Середньо-експлуатаційна витрата палива тепловозними двигунами та її оцінка / М.І. Сергієнко, С.А. Ероценков, А.А. Каграманян // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 2. – С. 9–10.
7. Тимошевский Б.Г. Эффективность стационарных электростанций на базе двигателей внутреннего сгорания / Б.Г. Тимошевский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 2. – С. 24–28.
8. Исаев И. КПД и топливной эффективности. КПД двигателя – тюнинг глобальных идей, есть ли перспективы совершенствования двигателей? [Электронный ресурс] // Роторные двигатели. Прошлое, настоящее, будущее. – Режим доступа: <http://www.rotor-motor.ru/page08.htm> – 30.03.2015 г.
9. Исаев И. Терморегим двигателя при эксплуатации автомобиля [Электронный ресурс] // Доктор Avik. – Режим доступа: http://im.lipetsk.ru/a_mo.htm – 30/03/2015 г.
10. 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. В.П. Волкова. – Донецк: Ноулідж, 2013. – 400 с.
11. Александров А. Первый принцип GMP: постоянное совершенствование системы качества / А. Александров / [Электронный ресурс] // Новости GMP. – Режим доступа: <http://gmpnews.ru/2011/07/pervyj-princip-gmp-postoyannoe-sovershenstvovanie-sistemy-kachestva/> – 08.04.2015 г.
12. Валидация, верификация, специальный процесс [Электронный ресурс] // Сертиком. – Режим доступа: <http://www.certicom.kiev.ua/vvsp.html>- 08.04.2015 г.
13. 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.

Рецензент: Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 25 червня 2015 р.