

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ГРИЦУК ІГОР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 656.13+621.43+681.518

**КОНЦЕПЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО  
СТАНУ ДВИГУНІВ І ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація  
та ремонт засобів транспорту

**Автореферат**  
на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

ХАРКІВ – 2016



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Волков Володимир Петрович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Кравченко Олександр Петрович,**  
Житомирський державний технологічний університет, м. Житомир, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства;

доктор технічних наук, професор  
**Шаша Ігор Костянтинович,**  
Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин;

доктор технічних наук, доцент  
**Клец Дмитро Михайлович,**  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», професор кафедри автомобілів і транспортної інфраструктури.

Захист відбудеться «28» вересня 2016 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002.

Автореферат розісланий «26» серпня 2016 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.М. Павленко



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Важливу роль у вирішенні проблеми енергетичної безпеки транспортних засобів (ТЗ) грають двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). Підвищення ефективності двигунів передбачає поліпшення їх основних показників, до яких, в першу чергу, слід віднести показники потужності, економічні та екологічні. Однак комплексне покращення названих показників є серйозною проблемою, обумовленою низкою обставин. Необхідною умовою для цього є забезпечення оптимального температурного стану (ОТС) двигунів і ТЗ при низьких температурах оточуючого середовища (ОС) в умовах експлуатації.

Використання транспортних двигунів і ТЗ у холодних умовах супроводжується великими втратами робочого часу, праці і матеріальних засобів на їх експлуатацію, обслуговування, ремонт і зберігання. Пускові якості двигунів ТЗ оцінюються граничною температурою надійного пуску і часом, необхідним для підготовки двигуна до прийняття навантаження. При знижених температурах двигуна і навколишнього повітря пуск утруднюється, надійність його суттєво знижується, а час підготовки до прийняття навантаження суттєво зростає.

Тому, забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації за рахунок процесів передачі потоку теплової енергії за допомогою тих чи інших засобів, інформації про технічний стан і інтелектуальних транспортних систем (ITS) є актуальною проблемою, вирішення якої створить умови для подальшого розвитку та підвищення енергетичної безпеки ТЗ і продуктивності автомобільного транспорту.

Вибір того чи іншого способу забезпечення ОТС двигуна і ТЗ у життєвому циклі (ЖЦ), як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації, повинен здійснюватись на основі всебічної, комплексної оцінки їх ефективності з урахуванням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана згідно Закону України «Про енергозбереження», пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Екологічно чиста енергетика та енергозберігаючі технології», Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» № 2623-14 від 05.12.2012 р.; постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 р.» № 942 від 07.09.2011 р., а також відповідно до державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.03.2010 р. № 243, із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 587 від 14.07.2010, № 447 від 27.04.2011, № 105 від 25.01.2012, а також відповідно до плану НДР №ДР 0112U008416 за темою «Розробка і дослідження теплового акумулятора фазового переходу і системи комбінованого прогріву на основі двигуна внутрішнього згорання K461M1 (6ЧН 12/14)» (2012-2013 р.р.); № ДР 0113U003625 за темою «Розробка і дослідження теплового акумулятора фазового переходу і системи комбінованого прогріву на основі двигуна внутрішнього згорання K159M2 (6Ч 12/14)» (2013-2014 р.р.); № ДР 0113U007127 за темою «Розробка і дослідження системи передпускового прогріву газового двигуна на основі теплового акумулятора в процесі здійснення пуску і прогріву» (2013-2014 р.р.); № ДР

0113U003710 за темою «Удосконалена версія інформаційно-аналітичної системи оцінки забруднення придорожного середовища транспортними потоками шляхом забезпечення її роботи в автоматичному режимі» (2013-2014 р.р.); № ДР 0111U005942 за темою «Розробка комплексу технічних засобів для автоматизованого збору і обробки інформації в інформаційно-аналітичній системі оцінювання забруднення придорожного середовища транспортними потоками» (2013-2014 р.р.).

**Мета і завдання дослідження.** *Метою дослідження є розробка концепції забезпечення оптимального температурного стану двигунів і ТЗ та її реалізація шляхом застосування інтелектуальних систем комбінованого прогріву (СКП), що дозволяє підвищити ефективність використання двигунів і ТЗ в умовах експлуатації.*

*Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:*

- розробити концепцію забезпечення оптимального температурного стану двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інтелектуальних СКП, в основу якої покладено інформаційну складову на основі відомостей про технічний стан та енергетичну складову на різних етапах функціонування у ЖЦ;

- розробити інформаційну систему оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації з можливостями прогнозування параметрів технічного стану у складі інтелектуальної СКП на основі бортового комплексу ITS;

- розробити загальну методологію формування та оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інформації про технічний стан з використанням комплексних систем комбінованого прогріву (КСКП) у складі теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу;

- розробити математичні моделі системи «Комплексний комбінований прогрів (ККП) двигуна і ТЗ» для оцінки ефективності проведення теплової підготовки двигунів і ТЗ в залежності від комплектації системи і умов експлуатації;

- розробити метод дослідження показників паливної економічності та екологічних показників ТЗ з урахуванням прогріву в процесі руху;

- розробити бортовий інформаційний програмно-діагностичний комплекс (БПДК) для підтвердження розробленої концепції та проведення експериментальних випробувань двигуна і ТЗ, оснащеного КСКП у складі інтелектуальної СКП;

- провести експериментальні дослідження ефективності способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації у складі інтелектуальної СКП;

- оцінити вплив характеристик складових систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом на забезпечення стабільності показників ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації;

- розробити загальний метод формування і дослідження інтелектуальної СКП на основі КСКП з ТА фазового переходу для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації та узагальнити результати досліджень;

- розробити рекомендації щодо використання результатів дослідження для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації.

**Об'єктом досліджень** є процес забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації.

**Предметом досліджень** є визначення шляхів забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації і методів їх реалізації.

**Методи досліджень.** Методологічною основою дисертаційної роботи є використання системного підходу. Для моделювання інтелектуальної СКП у складі енергетичної системи і інформаційної системи моніторингу використано методи морфологічного аналізу, теорії множин, математичної статистики, регресійного аналізу, теорії інформації, теорії реляційних баз даних, графів, об'єктно-орієнтованого проектування та програмування, теплообміну, робочих процесів теплових машин, енергетичного і ексергетичного аналізу, теорії теплового акумулювання в матеріалах. Адекватність математичних моделей реальних систем виконувалась методом параметричної ідентифікації і порівнянням розрахункових результатів з експериментальними даними. Комплекс експериментальних досліджень проводився із застосуванням методів планування експерименту і статистичної обробки отриманих результатів, що базуються на теорії похибок та невизначеності вимірювань.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в узагальненні та розвитку існуючих сучасних інформаційних технологій на автомобільному транспорті (АТ) в умовах ITS та теорій теплового акумулювання і використанні фазоперехідних матеріалів, що дозволило вирішити актуальну наукову проблему забезпечення високої ефективності та безпеки використання ТЗ за рахунок забезпечення оптимального температурного стану шляхом застосування інтелектуальних СКП, а також врахування взаємодії її параметрів у змінних експлуатаційних умовах.

При цьому *вперше*:

- запропоновано концепцію забезпечення оптимального температурного стану двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інтелектуальних СКП, яка базується на поєднанні процесів інформаційного дистанційного моніторингу технічного стану і енергетичного забезпечення процесів на різних етапах функціонування у ЖЦ;

- запропоновано метод формування інформаційної предметної області на основі системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ, оснащеного двигуном з КСКП, що відрізняється від існуючих наявністю двох окремих підсистем: двигуна і ТЗ та КСКП, що діють спільно в єдиному комплексі;

- запропоновано інформаційну систему оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації з можливостями прогнозування їх технічного стану у складі інтелектуальної СКП на основі бортового комплексу ITS в умовах експлуатації, що, на відміну від існуючих, базується на предметній області двигуна з КСКП і ТЗ;

- запропоновано загальну методологію формування та оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інформації про технічний стан з використанням КСКП у складі ТА фазового переходу, що, на відміну від існуючих, здійснюється на основі показників, які виступають окремими критеріями ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації;

- запропонований комплекс математичних моделей системи «ККП двигуна і ТЗ» для оцінки ефективності проведення теплової підготовки двигунів і ТЗ, що відрізняється від існуючих виділенням основних процесів теплової підготовки у тісному зв'язку з оптимізацією складових процесу, комплектацією КСКП і характеристикою умов експлуатації;

- розроблений метод дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ в процесі руху, що відрізняється від існуючих урахуванням процесів

прогріву в процесі руху, як в умовах їздових циклів, так і при здійсненні руху на маршруті;

- створено загальний метод формування і дослідження інтелектуальної СКП на основі КСКП для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації, що, на відміну від існуючих, базується на використанні ТА фазового переходу.

*Удосконалені:*

- метод обробки інформації в ІПК, одержуваної від БПДК, що, на відміну від існуючих, передбачає можливість прогнозування параметрів технічного стану двигуна і ТЗ;

- метод оцінки характеристик складових систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом на забезпечення стабільності показників оптимального температурного стану двигунів і ТЗ в умовах експлуатації, що базується на одночасному використанні методів енергетичного і ексергетичного аналізу.

*Дістали подальший розвиток:*

- теорія безпечного використання ТЗ шляхом розроблення і використання інтелектуальної СКП у складі засобів інформаційного дистанційного моніторингу і КСКП на основі ТА фазового переходу, що забезпечує використання ресурсощадних, екологічно чистих технологій експлуатації двигунів і ТЗ;

- прикладні аспекти теорії теплового акумулювання в речовинах, що володіють фазовим переходом, шляхом створення класифікації теплових акумуляторів фазового переходу для використання їх в змінних умовах експлуатації двигунів і ТЗ;

- методи функціонування і системної взаємодії БПДК в межах віртуального підприємства з експлуатації АТ, шляхом розробки і використання в умовах ITS інформаційного програмного комплексу «MonDiaFor «HADI-15».

**Практичне значення одержаних результатів складають:**

- узагальнена схема механізму забезпечення ОТС енергетичних установок за рахунок КСКП на основі ТА фазового переходу і сама КСКП;

- комплексний підхід та загальний метод формування і дослідження КСКП на основі ТА фазового переходу для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі системного підходу;

- методики і моделі для оцінювання впливу характеристик складових систем прогріву КСКП у складі ТА з фазовим переходом на забезпечення стабільності показників ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації;

- алгоритм системної взаємодії і формування циклу забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації з використанням КСКП;

- математична модель розрахунку технічних параметрів і забезпечення робочого процесу комплексного комбінованого прогріву двигуна і ТЗ;

- інформаційна система оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ з можливостями прогнозування їх технічного стану на основі бортового комплексу ITS в умовах експлуатації;

- принципова схема, конструкція, методика формування і алгоритм роботи БПДК;

- підхід, методи функціонування, використання та системної взаємодії БПДК в межах віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту за

допомогою розробленого в умовах ITS інформаційного програмного комплексу «MonDiaFor «HADI-15».

Наукові положення та результати дослідження впроваджено і застосовано в діяльності Державного підприємства (ДП) «ДержавтотрансНДІпроект», ДП «ДерждорНДІ ім. М.П. Шульгіна», Інституті Газу НАН України, Департаменті локомотивного господарства ПАТ «Українська залізниця», ПАО «Харківський тракторний завод», ТОВ «Євродизель», ВП «Запорізька АЕС», а методичні розробки, схеми та алгоритми упроваджено в навчальний процес кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету МОН України.

**Особистий внесок здобувача.** Теоретичні й експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені в основному в роботах, опублікованих без співавторів [4 - 11, 26, 33, 34, 36 - 38]. У колективній монографії [1] автором підготовлені глава 6 і підрозділ 6.8, а також взято участь в написанні розділу 3; у монографії [2] автором підготовлені підрозділи 5.3.2, 5.3.3 - 5.3.5, а також взято участь в написанні підрозділів 4.3.9, 5.4; у монографії [3] автором підготовлені підрозділи 1.3.6, 1.6.9, 1.6.10, 2.1.2.3, 2.1.5, 2.2, 2.3, 3.3.2, а також взято участь в написанні розділів 1 - 3. У спільних роботах [12, 32] авторові належить визначення взаємозв'язку між параметрами умов експлуатації ТЗ; [21 - 23, 29 - 31] – формування прогріву двигуна, визначення показників, взаємозв'язку між ними та критеріїв їх оцінювання; [39] – обґрунтування використання ТА для регулювання мікроклімату ТЗ; [13 - 19, 24 - 26, 28, 35, 40] – обґрунтування параметрів і математичні моделі елементів системи прогріву і моніторингу стану двигуна і ТЗ; [20, 27] – обґрунтування доцільності використання і система моніторингу для визначення параметрів стану ТЗ. В патенті [41] авторові належить методика автоматизованого моніторингу і обстеження технічного стану двигуна із застосуванням інформаційно-телекомунікаційних технологій; в патенті [42] – ідея здійснення повторно-короткочасного режиму роботи двигуна для забезпечення сталої температури теплоносія в ТА.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи доповідались на наукових конференціях: Міжнародний конгрес двигунобудівників, м. Рибаче - Харків, м. Коблево – Харків, 2009, 2012-2014 р.р.; III Міжнародна конференція молодих вчених CSE-2009 «Комп'ютерні науки та інженерія», м. Львів, 2009р.; Міжнародна науково-технічна конференція (МНТК) «Новітні комп'ютерні технології» - NOCOTE, м. Київ - Севастополь, 2009-2011 р.р.; МНТК «Логістика промислових регіонів», м. Донецьк, ДААТ, ПДТУ, 2010, 2012р.; Міжнародна науково-практична конференція (МНПК) «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2011», м. Херсон, 2011, 2015р.р.; МНПК «Стратегія якості в промисловості и образовании», м. Варна, Болгарія, 2011, 2012р.р.; 2-а МНТК «Сучасний стан і проблеми двигунобудування», Миколаїв, НУК, 2012р.; Міжнародній науковій конференції (МНК) «Systemy i srodki transportu samochodowego» - SAKON, м. Жешув – Пшецлав, Польща, 2012-2015р.р.; МНК «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і двигунів», м. Київ, НТУ, 2012 – 2015р.; МНК «Science and Education - a New Dimension», Natural and Technical Science, Budapest,

Угорщина, 2013; Міжнародна науково-методична конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології в науці та освіті», м. Харків, 2013р.; МНТК «Локомотивы. XXI век», г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения», 2013 г.; МНТК «Обчислювальний експеримент (результати, проблеми, перспективи) ComInt-2015», м. Черкаси - Київ, 2013, 2015, 2016; МНТК «Енергоощадні машини і технології», г. Київ, КНУБА, 2013 р.; VI, VII МНТК «Наука и образование транспорта», г. Самара, 2013, 2014 г.г.; XI МНТК «Наука – образованию, производству, экономике», м. Мінськ, БНТУ, 2013р.; МНТК «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы», м. Севастополь, 2013, 2014 р.р.; МНПК «Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту і експертизи автомобілів», м. Харків, ХНАДУ, 2014 р.; VIII МНПК «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» м. Вінниця: ВНТУ, 2015 р.; МНТК «Инновации и исследования в транспортном комплексе», Курган, КИЖТ, 2015 г.; II МНПК «Проблеми розвитку залізничного транспорту» м. Сєверодонецьк, 2015р.; 6-а МНПК «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», Херсон, ХДМА, 2015р.; IV Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», м. Харків, ХНАДУ, 2015; МНТК «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті», м. Харків, ХНАДУ, 2015; Всеукраїнська науково-технічна конференція науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників, м. Первомайськ в 2009, 2011, 2013 р.р.; Всеукраїнська науково-практична конференція (ВНПК) «Інформаційні технології і мехатроніка» м. Харків, ХНАДУ, 2014р.; Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету НТУ в 2009-2010, 2012-2016 р.р.; Міжвузівська науково-технічна конференція «Енерго- і ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування», м. Донецьк, ДонІЗТ, 2009-2013 р.р.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 42 наукових роботах, у тому числі: 3 монографії, 22 статті, що входять до переліку МОН України, 6 публікацій у закордонних виданнях, 12 статей у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, 9 тез у збірниках доповідей на міжнародних наукових конференціях; отримано 2 патенти України на винахід.

**Структура дисертації.** Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і 8 додатків. Повний обсяг дисертації складає 552 сторінки, в тому числі обсяг основного тексту - 283 сторінки. Робота ілюстрована 125 рисунками, наведено 58 таблиць. Список використаних джерел містить 602 найменування на 68 сторінках, додатки розміщені на 72 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Вказано напрями впровадження результатів роботи, наведено відомості про апробацію та публікації за темою дослідження.

**У першому розділі** наведено результати аналізу шляхів виконання вимог до формування і забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації, що мають загальні проблеми. Підтверджено, що ефективність забезпечення ОТС двигуна і ТЗ

в умовах експлуатації, в цілому, суттєво залежить від технічного стану ТЗ, його умов експлуатації та засобів забезпечення ОТС для двигуна і ТЗ. При цьому необхідно дотримуватись встановлених вимог щодо температурного стану двигуна і ТЗ в низькотемпературних умовах експлуатації, особливостей температурного стану каталітичних нейтралізаторів (КН) двигунів ТЗ, температурного режиму робочого місця водія. Сформульовані загальні положення щодо систем прогріву двигунів і ТЗ в умовах експлуатації. Виконаний аналіз впливу умов експлуатації на пуск двигунів і аналіз систем прогріву двигунів внутрішнього згорання, визначені основні характеристики і вимоги до забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації.

Для забезпечення ОТС вирішено розробити інтелектуальну систему СКП у складі інформаційної системи моніторингу (ІСМ) і КСКП, яка на основі моніторингу інформації про параметри фактичного технічного стану забезпечує використання ресурсощадної екологічно чистої технології теплового акумулювання. Розглянуті теоретичні основи теплового акумулювання енергії в ТА фазового переходу в умовах експлуатації. Визначено теоретичні засади для використання системного підходу для дослідження комплексних способів формування енергетичних процесів.

Проведення дослідження інтелектуальної системи комбінованого прогріву двигуна і ТЗ в умовах експлуатації з використання технології ТА енергії вимагає наявності енергетичної і інформаційної складових. Обґрунтовано доцільність забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на основі моніторингових систем параметричного діагностування в умовах експлуатації. Розглянуті методи отримання інформації про характеристики ТЗ при використанні засобів електронної автоматичної ідентифікації і моніторингу. Особлива увага приділена аналізу стану і загальним принципам побудови інформаційних систем моніторингу машин, в тому числі, у складі бортових інформаційно-діагностичних комплексів.

Для оцінювання ефективності роботи КСКП при забезпеченні ОТС двигуна і ТЗ виконаний аналіз вимог і показників ефективності ТА фазового переходу та запропоновано проводити оцінку системи прогріву в цілому за результатами попередньо отриманих результатів оцінки ефективності саме ТА фазового переходу.

Аналіз досліджень шляхів підтримання температурного стану двигунів і ТЗ на основі моніторингу їх технічного стану в методичному і методологічному змісті довів, що для підвищення ефективності енерговикористання та екологічної безпеки ТЗ в умовах експлуатації необхідне індивідуальне забезпечення ОТС за рахунок енергозберігаючих технологій теплового акумулювання в процесах реалізації тактик керування ними за фактичним технічним станом транспортних двигунів і ТЗ.

**В другому розділі** розроблена концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інтелектуальних СКП, що базується на процесах інформаційного моніторингу фактичного технічного стану, які формують енергетичні процеси на різних етапах функціонування у ЖЦ і запропонований механізм її реалізації.

Концепція передбачає уточнення для двигуна і ТЗ, як складних систем, понять інформації про фактичний технічний стан, методів і засобів її реалізації, а саме її дистанційне збирання в умовах експлуатації, оцінку, перевірку відповідності тощо, оптимальний температурний стан, засоби для його забезпечення, критерії

оцінювання їхніх показників та визначення взаємозв'язку між ними, на основі яких формуються шляхи, методи і засоби їх реалізації при вирішенні конкретних науково-технічних задач. Крім цього концепція передбачає для вирішення поставлених проблем і задач формування і застосування інтелектуальних СКП на основі ІСМ і КСКП у складі теплових акумуляторів фазового переходу для підвищення ефективності енерговикористання та екологічної безпеки транспортних засобів в умовах експлуатації.

Концепція базується на реалізації системної взаємодії двох взаємопов'язаних її складових: інформаційної і енергетичної (рис. 1). Для функціонування енергетичної складової інформаційна передбачає забезпечення ідентифікації, моніторингу, діагностування і можливості прогнозування ОТС транспортного двигуна і транспортного засобу від сучасного БІПДК в умовах ITS. Енергетична складова забезпечує формування ОТС транспортного двигуна і ТЗ в процесах передпускової, післяпускової теплової підготовки і виробничої експлуатації при виконанні комплексного комбінованого прогріву за рахунок теплової енергії двигуна, яка не використовується в процесі його роботи за призначенням, і може утилізуватися й акумулюватися в спеціальних бортових пристроях – ТА фазового переходу різних температур і різного призначення, що поєднують в КСКП. В попередніх дослідженнях не використовувався підхід до формування структури вирішення проблеми управління процесом забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на основі інформації про фактичні параметри їх технічного стану в ЖЦ, як на стадії проектування, так і на стадії використання в реальних умовах експлуатації.

Задачу забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на основі інформації про фактичні параметри їх технічного стану можливо виразити як побудову функції:

а) в процесах моніторингу і діагностування технічного стану

$$\begin{cases} F_t(\bar{H}_t, t, \Delta t, \bar{X}_i(t), \bar{X}_i(t - \Delta t), \dots, \bar{X}_i(t - n\Delta t), DK_{t_i}) = S_{Q_{\text{опт}}}; \\ \Omega_i^{m_i}(e_q, r)^J = S_{Q_{\text{опт}}}; \end{cases} \quad (1)$$

б) в процесах прогнозування технічного стану

$$F_{(t+k\Delta t)}(\bar{H}_{(t+k\Delta t)}, t, \Delta t, k, \bar{X}_i(t + k\Delta t), \bar{X}_i(t + (k - 1)\Delta t), \dots, \bar{X}_i(t + (k - n)\Delta t)) = S_{Q_{\text{опт}}}(t + k\Delta t); \quad (2)$$

де  $F_t$  – інформація про параметри технічного стану двигуна і ТЗ у відповідний момент часу в процесі забезпечення ОТС;  $\bar{H}_t$  – вектор органа(ів) керування (координата датчика(ів) органа керування) в часі  $t$ ;  $t$  – поточний час;  $\Delta t$  – інтервал часу між вимірюваннями;  $n$  – кількість (число) інтервалів у минулому;  $\bar{X}_i(t)$  при  $i = 1, \dots, m$  – характеристики про технічний стан в процесі забезпечення ОТС двигуна і ТЗ, що виміряні і входять в перелік ретроспективних впливових факторів (крім значень самої температури охолоджуючої рідини (моторної оливи) двигуна – це витрата палива, повітря, температура ОС на вході в двигун ТЗ тощо);  $m$  – кількість вимірюваних характеристик;  $DK_{t_i}$  – результати моніторингу і визначення статусу несправностей ТЗ;  $\Omega$  – оператор відображення;  $S_{Q_{\text{опт}}}$  – система енергетичного забезпечення ОТС двигуна і ТЗ (в представленому випадку система  $S_{Q_{\text{опт}}}$  являє

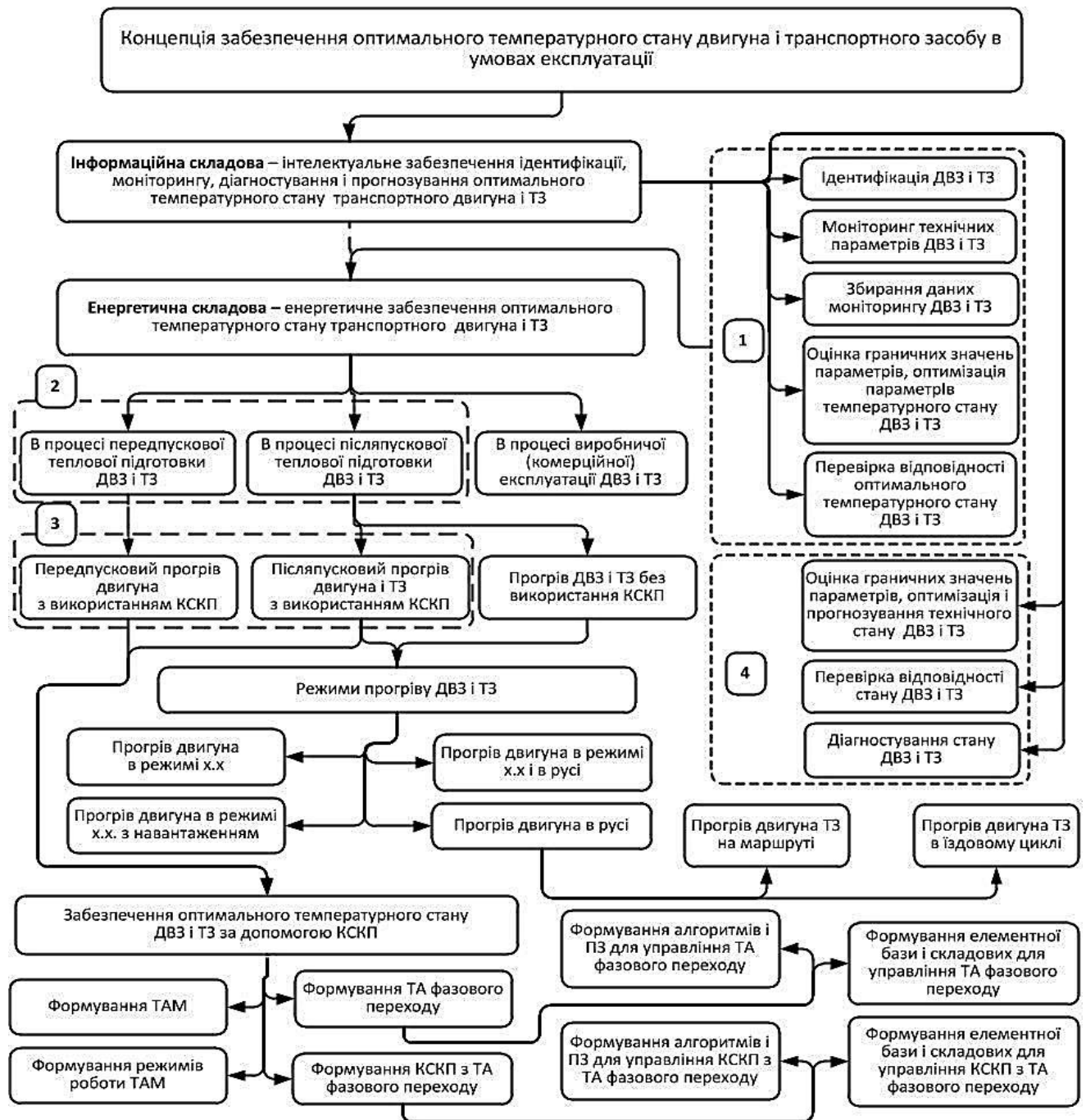


Рисунок 1 - Схема системної взаємодії при розробці і реалізації концепції забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації на основі інтелектуальної СКП

собою відображення властивостей підоб'єктів  $e_Q$  та їх відношень  $r$  для  $m_i$  по  $J$  в  $l$ );  $m_i$  – кількість засобів спостереження (отримання інформації);  $l$  – зв'язки між засобами спостереження і підоб'єктами забезпечення ОТС;  $e_Q$  - множина підоб'єктів забезпечення ОТС;  $r$  - множина відношень між ними;  $J$  – завдання;  $F_{(t + k\Delta t)}$  – прогнозована інформація про технічний стан двигуна і ТЗ у відповідний момент часу в процесі забезпечення ОТС в майбутньому на інтервалі упередження довжиною  $t + k\Delta t$  в залежності від відомих значень у минулому, в заданому інтервалі прогнозування  $\delta$  с заданою довірчою ймовірністю  $p$ ;  $k$  – кількість (число) інтервалів у майбутнє, визначає тип прогнозу – короткотерміновий тощо.

Сформульовані основні напрямки реалізації концепції забезпечення ОТС

двигуна і ТЗ в частині формування енергетичної складової за рахунок створення і використання ресурсощадних, екологічно чистих технологій експлуатації засобів транспорту. Розроблена формалізована схема КСКП двигуна і ТЗ з взаємодією основних енергетичних потоків та їх перетворенням, реалізована схема КСКП для виконання теплової підготовки транспортного двигуна і ТЗ, що забезпечує ОТС.

Розроблена комплексна математична модель для реалізації концепції забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на основі інтелектуальної СКП в умовах експлуатації, що відрізняється урахуванням системного підходу і складних взаємозв'язків між інформаційною моделлю і енергетичною моделлю забезпечення ОТС з урахування умов експлуатації на різних етапах ЖЦ, базою даних і зовнішніми інформаційними системами, що дозволяє автоматизувати інтелектуальні процедури прийняття рішень щодо забезпечення ОТС двигуна і ТЗ та забезпечити системні взаємозв'язки всіх складових в єдиному інформаційному просторі.

В **третьому розділі** розглядаються можливості аналізу інформації про параметри технічного стану, оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ та можливості прогнозування параметрів стану в умовах експлуатації. Також розглядаються питання дослідження і побудови загальної інформаційної моделі інтелектуальної СКП у складі двигуна і ТЗ та КСКП з використанням системної декомпозиції на складові елементи і інформаційні зв'язки між ними. Для формування предметної області ТЗ, оснащеного двигуном з КСКП, використовувались принципи, що орієнтовані на конкретні завдання отримання, обробки і аналізу даних дистанційного моніторингу та функціональні потреби обслуговуючого персоналу інтелектуальної системи комбінованого прогріву і ТЗ.

На основі бортового комплексу ITS розроблена загальна структура системи моніторингу ТЗ. Запропонована інформаційна взаємодія між елементами ITS в процесах моніторингу ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП (рис. 2). Для дистанційного моніторингу параметрів робочих процесів двигунів і ТЗ в реальному часі була використана інтелектуальна структура системи моніторингу (діагностування) ТЗ у складі автоматизованого робочого місця внутрішньої мережі, що може працювати в ручному, автоматизованому і автоматичному режимах.

Принцип роботи абонентського устаткування, заснований на можливості визначення фактичних технічних параметрів стану двигуна з КСКП і ТЗ, а також точного визначення місця розташування і точного часу за параметрами, прийнятими від навігаційних супутникових систем, що виконується *GPRS* приймачем, та обміну цією інформацією з автоматизованим робочим місцем внутрішньої мережі.

Розроблено і сформовано на основі DFD-діаграми потоків даних аналітичну, теоретико-графову модель предметної області інформаційної системи оцінювання способів забезпечення ОТС двигуна з КСКП і ТЗ в умовах експлуатації, як складної системи. З точки зору побудови інформаційної системи на DFD-діаграмі, джерелами первинної інформації про стан ТЗ з двигуном і КСКП, є пристрої збирання і передачі інформації про базу(и) даних, учасників процесу моніторингу, умови експлуатації тощо, що вважаємо «зовнішніми сутностями». До функціональних завдань «Інформаційною системою моніторингу» відносимо ідентифікацію, моніторинг стану технічних параметрів ТЗ з двигуном і КСКП, діагностування та прогнозування параметрів технічного стану двигуна з КСКП і ТЗ.

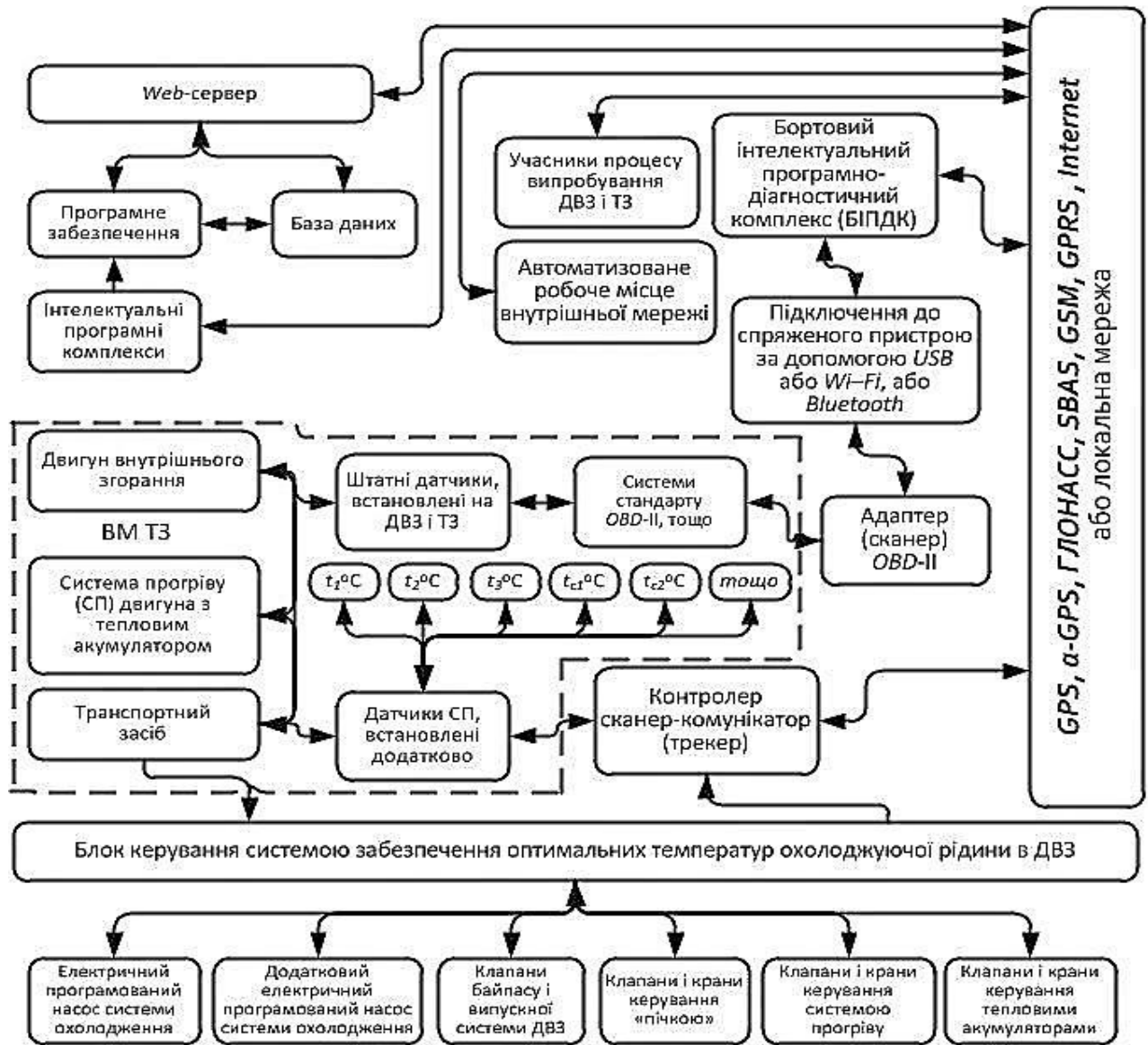


Рисунок 2 - Схема інформаційної взаємодії між елементами ITS в процесах дистанційного моніторингу ТЗ і двигуна, оснащеного ІСМ і КСКП в умовах експлуатації

Базуючись на основних методах оцінки кількості інформації сформований підхід і модель предметної області дослідження. Модель предметної області для досліджуваної системи моніторингу, діагностування і можливості прогнозування технічного стану представлена окремо для кожної з підсистем, а саме для ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП, і показана у вигляді наступних множин для вказаних підсистем: 1 - двигун, ТЗ і умови експлуатації (УЕ) та 2 – КСКП, пристрої моніторингу (ПМ) і УЕ а саме:

$$M_{np.o.} = \begin{cases} M_{np.o.1} = \langle O_1, V_{ex.1}, V_{vix.1}, F_1, H_1, P_1, R_1 \rangle, \text{двигун, ТЗ і УЕ} \\ M_{np.o.2} = \langle O_2, V_{ex.2}, V_{vix.2}, F_2, H_2, P_2, R_2 \rangle, \text{КСКП, ТЗ, ПМ і УЕ} \end{cases}, \quad (3)$$

де, в межах підсистем:  $O_1 = \{ o_{m.1} / m_1 = 1, M \}$  – об'єкти автоматизації двигуна і ТЗ, які можливо представити самостійними частинами в межах підсистеми 1 – блок збирання і передачі інформації (БЗПІ) від двигуна ТЗ, БЗПІ від ТЗ і БЗПІ про умови експлуатації ДВЗ і ТЗ;  $O_2 = \{ o_{m.2} / m_2 = 1, M \}$  - об'єкти автоматизації КСКП, ТЗ,

пристроїв моніторингу, які можливо представити самостійними частинами в межах підсистеми 2 - блок збирання і передачі інформації від КСКП; БЗП від ТЗ; блок збирання інформації про стан і умови експлуатації пристроїв моніторингу і ТЗ;  $V_1 = \{ v_{l,1} / l_1 = 1, L \}$  - інформаційні елементи (вхідні  $V_{ex,1}$  і вихідні  $V_{вих,1}$  дані) двигуна і ТЗ;  $V_2 = \{ v_{l,2} / l_2 = 1, L \}$  - інформаційні елементи (вхідні  $V_{ex,2}$  і вихідні  $V_{вих,2}$  дані) КСКП, ТЗ і пристроїв моніторингу;  $F_1 = \{ f_{i,1} / i_1 = 1, I \}$  - функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу і прогнозування параметрів двигуна і ТЗ;  $F_2 = \{ f_{i,2} / i_2 = 1, I \}$  - функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу і прогнозування параметрів КСКП, ТЗ і ПМ;  $H_1 = \{ h_{j,1} / j_1 = 1, J \}$  - завдання обробки даних системи моніторингу та прогнозування параметрів двигуна і ТЗ;  $H_2 = \{ h_{j,2} / j_2 = 1, J \}$  - завдання обробки даних системи моніторингу та прогнозування параметрів КСКП, ТЗ і ПМ;  $P_1 = \{ p_{k,1} / k_1 = 1, k \}$  - множина значень, що характеризує кількість і склад персоналу, який забезпечує роботу з системою моніторингу та прогнозування параметрів двигуна і ТЗ;  $P_2 = \{ p_{k,2} / k_2 = 1, k \}$  - множина значень, що характеризує кількість і склад персоналу, який забезпечує роботу з системою моніторингу та прогнозування параметрів КСКП, ТЗ і ПМ;  $R_1 = \{ r_{y,1} / y_1 = 1, Y \}$  - множина відносин (взаємозв'язків) між компонентами  $M_{np.o.1}$  предметної області (3);  $R_2 = \{ r_{y,2} / y_2 = 1, Y \}$  - множина відносин (взаємозв'язків) між компонентами  $M_{np.o.2}$  предметної області (3).

Процес формування та аналізу графів інформаційних структур моделі системи «Інформаційна система моніторингу» у складі підсистем (3) включав в себе: побудову множин структурних елементів на основі моделей предметної області підсистем і системи в цілому; формування матриць семантичної суміжності на множинах структурних елементів підсистем і побудову орієнтованих графів їх інформаційних структур; формування матриць семантичної досяжності на множинах структурних елементів підсистем; визначення інформаційних і групових елементів структурних множин підсистем; упорядкування груп структурних елементів за рівнями ієрархії, виділення і формування множині ключів і атрибутів в групах даних підсистем; побудова канонічних моделей підсистем баз даних системи.

Для аналітичного опису семантики (формалізованої побудови) інформаційної системи опис її виконано за допомогою булевих матриць суміжності, які описують відповідні відносини  $R_1$  і  $R_2$  між компонентами  $M_{np.o.1}$  і  $M_{np.o.2}$  предметної області системи (3). Для предметної області системи дослідження (на прикладі підсистеми 2) виділяли види відносин в підсистемах між множинами предметної області ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП:  $OV_2 = \|ov_{ml2}\|$ ,  $FV_2 = \|fv_{il2}\|$ ,  $FH_2 = \|fh_{ij2}\|$ ,  $FP_2 = \|fp_{ik2}\|$ ,  $FO_2 = \|fo_{im2}\|$ ,  $HP_2 = \|hp_{jk2}\|$ ,  $HO_2 = \|ho_{jm2}\|$ ,  $HV_2 = \|hv_{il2}\|$ .

Структурними елементами моделі інформаційної системи в підсистемах 1 і 2 елементи множин  $O_1$  і  $V_1$  та  $O_2$  і  $V_2$ , які формують елементи множини всієї системи в цілому:

$$D_1 = \{d_{l,1} \mid l = 1,63\}, P(D_1) = 63; \quad (4)$$

$$D_2 = \{d_{l,2} \mid l = 1,43\}, P(D_2) = 43; \quad (5)$$

$$D = D_1 + D_2 = \{d_l \mid l = 1,106\}, P(D) = 106. \quad (6)$$

Для предметної області, відповідно для підсистем 1 і 2, під матрицями семантичної суміжності  $B_1 = ||b_{ij1}||$ ,  $B_2 = ||b_{ij2}||$  розуміємо квадратні бінарні матриці проіндексовані за обома осями множини структурних елементів  $D_1$  і  $D_2$ . Матрицям  $B_1$  і  $B_2$  підсистем ставляться у відповідність граfi інформаційних структур  $G_1 (D_1, U_1)$  і  $G_2 (D_2, U_2)$ , множинами вершин яких є структурні елементи множин підсистем  $D_1$  і  $D_2$ , а дуги  $(d_{i1}, d_{j1})$  і  $(d_{i2}, d_{j2})$  відповідають записам  $b_{ij1} = 1$  і  $b_{ij2} = 1$ , в матрицях підсистем  $B_1$  і  $B_2$ . Дуги орграфів  $G_1$  і  $G_2$  підсистем відображають наявність або відсутність семантичної зв'язності між їх структурними елементами. Зображення орієнтованого орграфа  $G_2$  для підсистеми 2 представлено на рис. 3 а.

Під матрицями досяжності  $A_1$  і  $A_2$  підсистем розуміємо квадратні бінарні матриці. Записи  $a_{ij1} = 1$  і  $a_{ij2} = 1$  матриць  $A_1$  і  $A_2$  підсистем відповідають наявності або смислового відношенню досяжності  $R_{01}$  і  $R_{02}$  елементів підсистем  $d_{j1}$  і  $d_{j2}$  з елементами  $d_{i1}$ ,  $d_{i1}R_{01}d_{j1}$  і  $d_{i2}$ ,  $d_{i2}R_{02}d_{j2}$ . В процесі аналізу вважали, що елементи  $d_{j1}$  і  $d_{j2}$  семантично досяжні з елементами  $d_{i1}$  і  $d_{i2}$ , якщо на графах  $G_1$  і  $G_2$  підсистем існують шляхи від вершин  $d_{i1}$  і  $d_{i2}$  до вершин  $d_{j1}$  і  $d_{j2}$ , що мають відповідний смисловий зміст.

Для отримання матриць досяжності, матриці  $B_1$  і  $B_2$  послідовно возводили у цілі позитивні ступені  $n$  ( $n = 2, 3, \dots, / L / - 1$ ). В результаті утворювались деякі множини матриць шляхів доступу  $B_1^2, B_1^3, \dots, B_1 / L_1 / - 1$  і  $B_2^2, B_2^3, \dots, B_2 / L_2 / - 1$ . Процес возведення в ступінь припинявся, коли після чергового возведення в ступінь, матриці шляхів складалися з одних нулів. У нашому випадку, друга ступінь матриць  $B_1$  і  $B_2$  являє собою винароджені матриці, тому матриці семантичної досяжності  $A_1$  і  $A_2$  збігається з матрицями семантичної суміжності  $B_1$  і  $B_2$ .

Матриці  $A_1$  і  $A_2$  утворюють можливість до визначення множин передування  $C_1(d_{i1})$  і  $C_2(d_{i2})$  та досяжності  $F_1(d_{i1}) \forall d_{i1} \in D_1$  і  $F_2(d_{i2}) \forall d_{i2} \in D_2$ . Множини  $C_1(d_{i1})$  і  $C_2(d_{i2})$  формуються з елементів, які відповідають одиничним записам у  $i$ -му стовпці, а множини  $F_1(d_{i1})$  і  $F_2(d_{i2})$  - з елементів, які відповідають одиничним записам у  $i$ -му рядку матриць  $A_1$  і  $A_2$ . Аналіз множин  $C_1(d_{i1})$  і  $C_2(d_{i2})$  дозволяє виділити базові типи структурних елементів - інформаційні елементи та групи. Інформаційним елементам відповідають ті структури, для яких  $C_1(d_{i1}) = 0$  і  $C_2(d_{i2}) = 0$ . На графах  $G_1$  і  $G_2$  їм відповідають висячі вершини (отримані матриці показані в тексті дисертації).

Розрахунковим шляхом, згідно наведеного, визначені множини передування і досяжності для кожного структурного елементу у відповідних підсистемах 1 і 2:

$$\begin{aligned} \forall i, i = 1, \dots, 59 \quad C_1(d_{i1}) = \emptyset; \quad C_1(d_{61}) = \{d_{i1} / i = 1, \dots, 35, 60\}; \\ C_1(d_{62}) = \{d_{i1} / i = 36, \dots, 54, 60\}; \quad C_1(d_{63}) = \{d_{i1} / i = 55, \dots, 60\}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \forall i, i = 61, \dots, 63 \quad F_1(d_{i1}) = \emptyset; \quad \forall i, i = 1, \dots, 35 \quad F_1(d_{i1}) = \{d_{61}\}; \\ \forall i, i = 36, \dots, 54 \quad F_1(d_{i1}) = \{d_{62}\}; \quad \forall i, i = 55, \dots, 60 \quad F_1(d_{i1}) = \{d_{63}\}; \\ F_1(d_{60}) = \{d_{61}, d_{62}, d_{63}\}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \forall i, i = 64, \dots, 102 \quad C_2(d_{i2}) = \emptyset; \quad C_2(d_{104}) = \{d_{i2} / i = 64, \dots, 83, 103\}; \\ C_2(d_{105}) = \{d_{i2} / i = 84, \dots, 93, 105\}; \quad C_2(d_{106}) = \{d_{i2} / i = 94, \dots, 103\}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \forall i, i = 104, \dots, 106 \quad F_2(d_{i2}) = \emptyset; \quad \forall i, i = 64, \dots, 83 \quad F_2(d_{i2}) = \{d_{104}\}; \\ \forall i, i = 84, \dots, 93 \quad F_2(d_{i2}) = \{d_{105}\}; \quad \forall i, i = 94, \dots, 103 \quad F_2(d_{i2}) = \{d_{106}\}; \\ F_2(d_{103}) = \{d_{104}, d_{105}, d_{106}\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для визначення інформаційних елементів підсумовували елементи кожного з стовпців  $j_1$  і  $j_2$  матриць  $A_1$  і  $A_2$  підсистем. Якщо  $\sum_{i=1}^{P_1(D_1)} a_{1i j} = 0$  та  $\sum_{i=1}^{P_2(D_2)} a_{2i j} = 0$  то  $j$ -і елементи структурних множин підсистем є інформаційними, а в іншому випадку, структурні елементи - є груповими елементами (групою) підсистем, тобто:

$$\sum_{i=1}^{63} a_{i1} = \sum_{i=1}^{63} a_{i2} = \sum_{i=1}^{63} a_{i3} = \dots = \sum_{i=1}^{63} a_{i60} = 0; \quad \sum_{i=1}^{63} a_{i61} > 0, \sum_{i=1}^{63} a_{i62} > 0, \sum_{i=1}^{63} a_{i63} > 0; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{106} a_{i64} = \sum_{i=1}^{106} a_{i65} = \sum_{i=1}^{106} a_{i66} = \dots = \sum_{i=1}^{106} a_{i103} = 0; \quad \sum_{i=1}^{106} a_{i104} > 0, \sum_{i=1}^{106} a_{i105} > 0, \sum_{i=1}^{106} a_{i106} > 0. \quad (12)$$

Множини інформаційних елементів підсистем 1 і 2 позначили через  $D_1^\circ$  і  $D_2^\circ$ :

$$D_1^\circ = \{d_1 - d_{60}\}; \quad (13)$$

$$D_2^\circ = \{d_{64} - d_{103}\}. \quad (14)$$

Множини груп  $D_1^\circ$  і  $D_2^\circ$  для підсистем 1 і 2 визначили з виразів:

$$D_1^\circ = D \setminus D_1^\circ = \{d_{61}, d_{62}, d_{63}\}; \quad (15)$$

$$D_2^\circ = D \setminus D_2^\circ = \{d_{104}, d_{105}, d_{106}\}. \quad (16)$$

З метою упорядкування груп за рівнями ієрархії в матрицях  $A_1$  і  $A_2$  виділяли підматриці (видаленням індексів елементів множин  $D_1^\circ$  і  $D_2^\circ$ ):

$$A_1^\circ = \|a_{ij1}^\circ\| \quad \text{та} \quad A_2^\circ = \|a_{ij2}^\circ\|, \quad (17)$$

де запис  $a_{ij1}^\circ = 1$  і  $a_{ij2}^\circ = 1$  яких позначає наявність зв'язку між групами  $d_i^\circ$ ,  $d_j^\circ$ ;  $d_i^\circ, d_j^\circ \in D_1^\circ$  і  $d_i^\circ, d_j^\circ$ ;  $d_i^\circ, d_j^\circ \in D_2^\circ$ . У нашому випадку,  $A_1^\circ$  і  $A_2^\circ$  винароджені, тобто всі їх елементи дорівнюють 0. На основі проведеного формування і аналізу системи можливо зробити наступний висновок: інформаційна структура предметної області *не має* багаторівневої ієрархічної організації, тому немає необхідності проводити *процедури упорядкування і нормалізації*. В нашому випадку, достатньо дослідити інформаційні склади груп підсистем на предмет наявності в них спільних елементів.

У випадку інформаційної системи предметної області ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП у складі підсистем 1 і 2, існують загальні інформаційні елементи для всіх трьох груп в кожній з підсистем. Ці елементи «Час збирання інформації», а саме,  $d_{60}$  в підсистемі 1 і  $d_{103}$  в підсистемі 2, які є ключовими з причини семантичної залежності одержуваних даних від часу збирання інформації. Таким чином, з урахуванням особливостей побудови системи, а саме наявності підсистем 1 і 2 у інформаційній системі, множини ключів:

$$W_{11} = \{d_{60}\}, W_{12} = \{d_{103}\}, \quad (18)$$

а множини атрибутів:

$$W_{21} = \{d_i / i = 1, \dots, 59\}, W_{22} = \{d_i / i = 64, \dots, 102\}. \quad (19)$$

Граф канонічної структури для підсистеми 2 представлений на рис. 3 б.

З метою формування інформаційної моделі і прогнозуючих алгоритмів був створений інформаційно-програмний комплекс (ІПК) «*MonDiaFor (monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS)*» «HADI-15» в межах

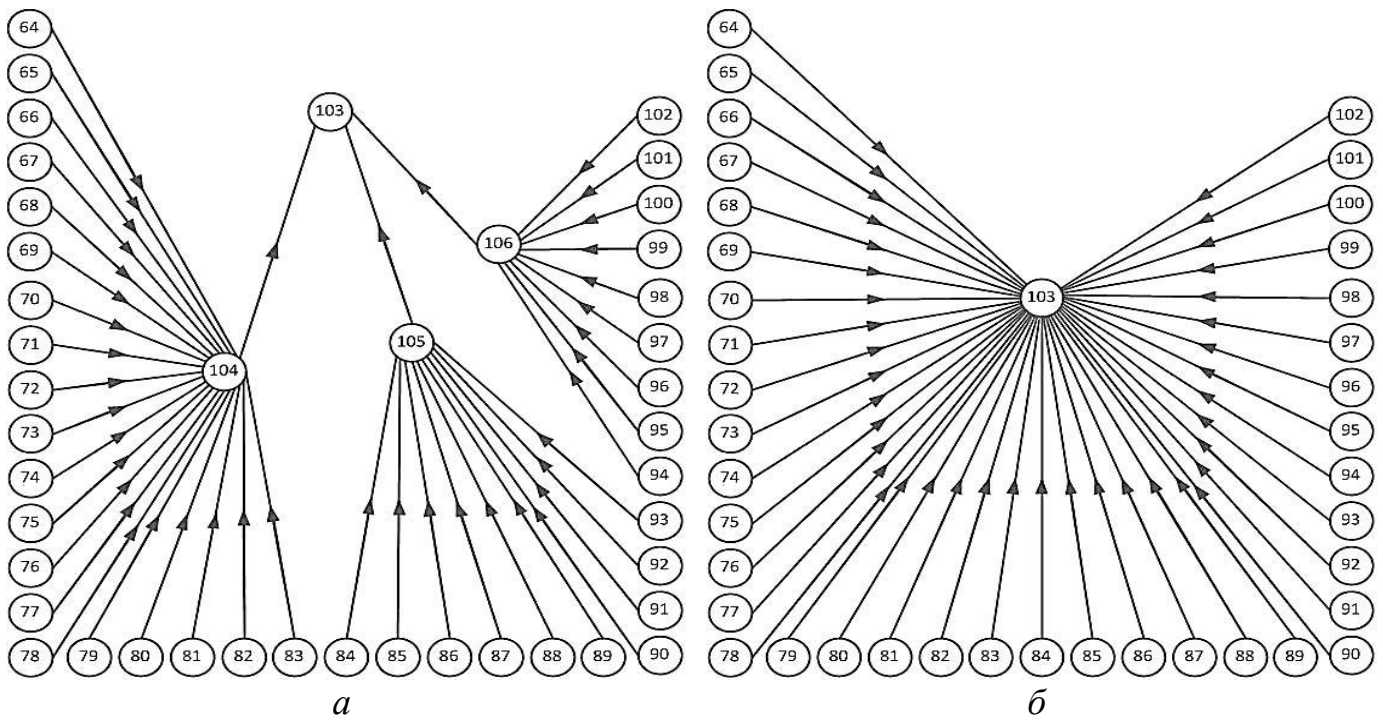


Рисунок 3 - Граф  $G_2$  моделі системи «Інформаційна система моніторингу» в підсистемі 2: інформаційної (а) і канонічної структури (б)

віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту, в основу якого покладені наступні алгоритми: процесу збору даних про технічний стан системи моніторингу параметрів ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП; процесу діагностування стану і визначення статусу несправностей ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП; а також алгоритми для можливого виконання прогнозування значень контрольованих параметрів стану ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП, в умовах експлуатації.

**Четвертий розділ** присвячений обґрунтуванню загальної методології формування та оцінювання способів забезпечення ОТС двигуна, оснащеного КСКП, і ТЗ в умовах експлуатації на основі інформації про технічний стан на різних етапах функціонування у ЖЦ. Особливістю методології є підхід щодо представлення досліджуваних систем в системних об'єктах, який побудований на виділенні основних процесів системи за цільовими функціями, визначенні основних функціональних елементів, зворотних зв'язків, як параметрів управління процесами, так зв'язків з середовищем.

В попередніх дослідженнях не використовувався підхід до представлення досліджуваних двигунів і ТЗ у складі КСКП в основних системних об'єктах на основі інформації про фактичний технічний стан складових процесів забезпечення ОТС, який побудований за вказаним принципом. В досліджуваній системі двигуна і ТЗ підсистемою, яка визначає рівень забезпечення ОТС в умовах експлуатації за критеріями ефективності є КСКП двигуна і ТЗ на основі інформації ІСМ, а запропонований підхід дозволяє систематизувати можливі схеми КСКП та досліджувати вплив різних конструкцій двигуна, ТЗ і КСКП на забезпечення ОТС в розробленій моделі функціонування системи.

Застосування системних принципів дозволило представити ККП двигуна і ТЗ як систему, що показана на рис. 4. В системі виділено чотири основних робочих

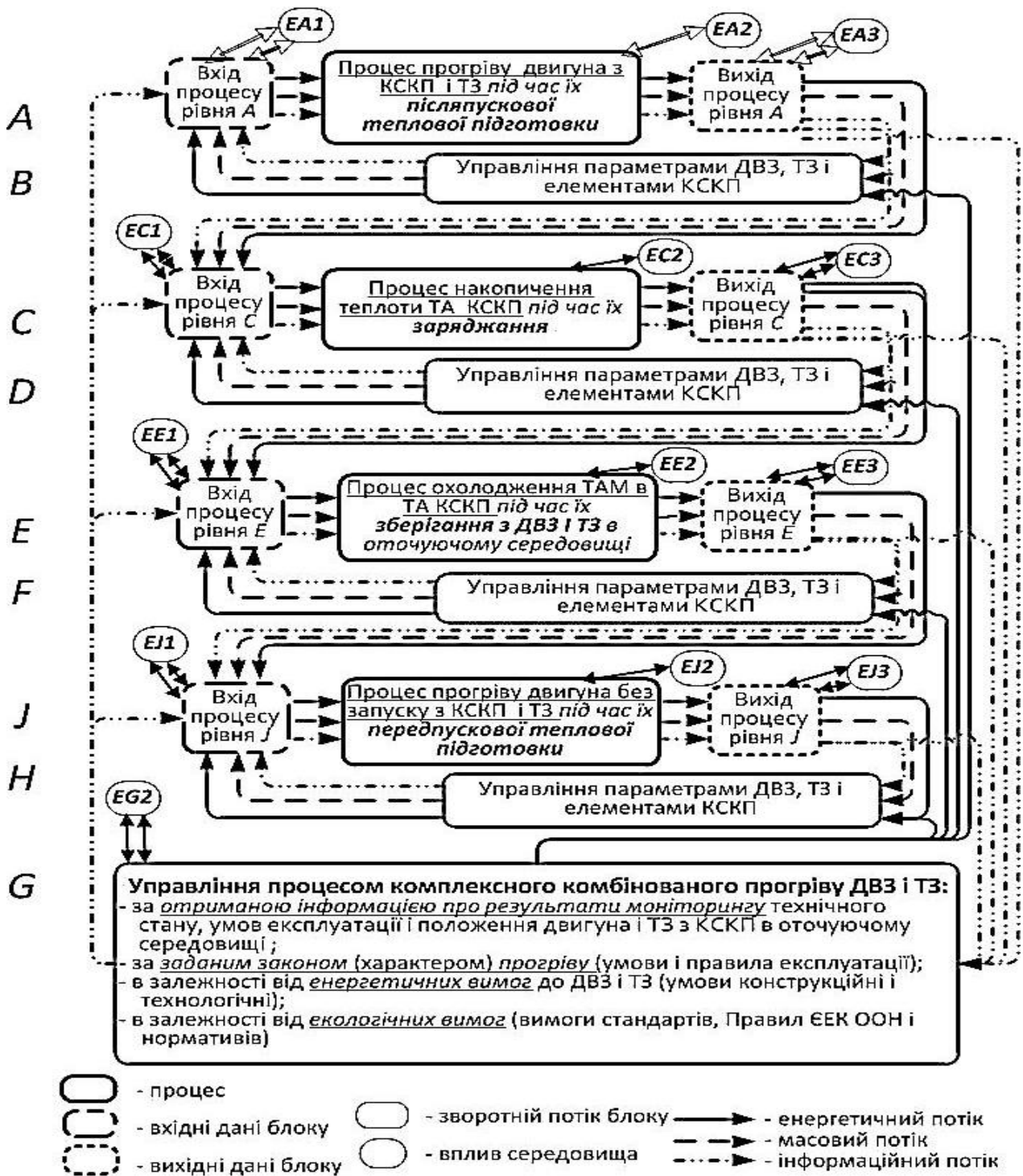


Рисунок 4 - Система «Комплексний комбінований прогрів двигуна і ТЗ»

процеси, які послідовно пов'язані між собою: прогріву двигуна з КСКП і ТЗ *під час їх післяпускової теплової підготовки* (рівень А); накопичення теплоти ТА КСКП *під час їх заряджання* (рівень С); охолодження теплоакумуючих матеріалів (ТАМ) в ТА КСКП *під час їх зберігання з двигуном і ТЗ в ОС* (рівень Е); прогріву двигуна без запуску з КСКП і ТЗ *під час їх передпускової теплової підготовки* (рівень І).

Системні об'єкти рівнів А і В описують післяпусковий прогрів ДВЗ від працюючого двигуна (і елементів КСКП) і(або) ТЗ. Входом системи загалом і процесу рівня А служать паливо  $m_n$  (хімічна енергія) і повітря  $m_{нов}$ , які поступають в робочий процес двигуна, а також накопичена теплова енергія ТАМ  $E_{там}$  елементів

КСКП в процесі післяпускової підготовки двигуна і(або) ТЗ. На вході рівня  $A$  відбуваються процеси прогріву двигуна з КСКП  $Q_{КСКП}$ , після запуску  $Q_n$ , і ТЗ, а саме охолоджуючої рідини (ОР)  $Q_{ОР}$  і (або) моторної оливи (МО)  $Q_{МО}$ , салону ТЗ  $Q_{с. ТЗ}$  та системи нейтралізації відпрацьованих газів (СНВГ)  $Q_{СНВГ}$ :

$$Q_{онм.А} = Q_n + Q_{КСКП} (Q_{ОР} + Q_{МО}) + Q_{с. ТЗ} + Q_{СНВГ}. \quad (20)$$

В результаті робочого процесу двигуна з КСКП з ТА поряд з корисним виходом (механічна енергія  $E_M$ , яка характеризується крутним моментом  $M_e$  і частотою обертання  $n_\theta$  транспортного двигуна) утворюється супутній або некорисний вихід (продукти згорання  $M_{пз}$  двигуна, як сукупність великої кількості шкідливих та нешкідливих компонентів  $\Sigma m_i$ , невикористана теплова енергія  $E_T$ ). Для управління робочим процесом двигуна, оснащеного КСКП, з метою зближення показників виходу рівня  $A$  із заданими показниками служить «зворотній зв'язок» (рівень  $B$ ), який забезпечує, для процесу післяпускового прогріву двигуна, управління складом суміші, кількістю циліндрів, параметрами випередження запалювання і (або) впорскування, рециркуляцією ВГ, турбонаддувом тощо, а для КСКП управління складом, параметрами і особливостями конструкції ТА для забезпечення прогріву ОР і МО, салону ТЗ та СНВГ. Системні об'єкти «вхід - процес - вихід» (рівень  $A$ ) та «зворотній зв'язок» (рівень  $B$ ) утворюють післяпусковий процес прогріву двигуна, оснащений КСКП, і ТЗ, як підсистему зі своїми системними властивостями.

Системні об'єкти рівнів  $C$  і  $D$  описують процес заряджання (накопичення теплоти) ТА фазового переходу КСКП в процесі роботи двигуна ТЗ. Результатом перетворень енергії палива, працюючого двигуна, в теплову і механічну енергію та теплової енергії в процесі заряджання ТА, а саме контактного теплового акумулятора (КТА)  $Q_{КТА}$ , ТА системи утилізації теплової енергії тепловим акумулятором (СУТТА) для ОР і МО  $Q_{ТА}$ , ТА СНВГ  $Q_{ТА СНВГ}$  і ТА накопичувачів моторної оливи (НМОТА)  $Q_{НМОТА}$  і охолоджуючої рідини (НОРТА)  $Q_{НОРТА}$  є час заряджання ТА  $t_{зар}$  і температура ТАМ  $T_{там}$ , величина яких залежить від параметрів роботи ДВЗ і стану та властивостей ТАМ і конструкції ТА:

$$Q_{онм. зар.КСКП. C} = Q_n \rightarrow Q_{ТА} + Q_{КТА} + Q_{ТА СНВГ} + [Q_{НМОТА} + Q_{НОРТА}]. \quad (21)$$

Для управління робочим процесом двигуна, оснащеного КСКП, з метою зближення показників виходу рівня  $C$  із заданими показниками служить «зворотній зв'язок» (рівень  $D$ ), який забезпечує для ДВЗ управління складом суміші, випередженням запалювання (впорскування), кількістю циліндрів, тощо, а для ТА - управління складом, параметрами і особливостями конструкції, що здійснюють вплив на процеси накопичення теплоти.

Після заряджання ТА фазового переходу КСКП здатна виконувати зберігання теплової енергії двигуна ТЗ (рівень  $E$ ). Входом процесу рівня  $E$  при перетворенні накопиченої ТАМ теплової енергії під час зберігання двигуна і ТЗ в умовах ОС, тобто при здійсненні процесів охолодження ТАМ в ТА КСКП при не працюючому двигуні ТЗ, є початкові параметри утилізації накопиченої теплової енергії ТА КСКП:

$$Q_{онм. збер.КСКП. E} = f(Q_{ТА}; Q_{КТА}; Q_{ТА СНВГ}; Q_{НМОТА}; Q_{НОРТА}). \quad (22)$$

«Зворотній зв'язок» (рівень  $F$ ) управляє складом, параметрами і особливостями конструкції ТА КСКП, а саме: КТА, НМОТА, НОРТА, ТА СУТТА для ОР і МО і ТАСНВГ.

Після тривалого зберігання теплової енергії двигуна за допомогою ТА фазового переходу КСКП здатна виконувати передпускову теплову підготовку двигуна ТЗ до температури «гарячого пуску» без фактичної роботи ДВЗ в режимі холостого ходу (х.х.) (рівень  $J$ ). Входом процесу рівня  $J$  при перетворенні накопиченої ТАМ теплової енергії елементами КСКП під час передпускової підготовки двигуна ТЗ, а саме процесів прогріву без запуску ДВЗ, є залишкові параметри зберігання теплової енергії в міжзмінний період експлуатації ТЗ:

$$Q_{n.n.КСКП, J} = Q_{ТА} + Q_{ТА СНВГ} + [Q_{КТА} + Q_{НМОТА} + Q_{НОРТА}] \rightarrow Q_{omm}. \quad (23)$$

«Зворотній зв'язок» (рівень  $H$ ) управляє складом, параметрами і особливостями конструкції ТА КСКП, а саме: ТА СУТТА, КТА, НМОТА, НОРТА та ТАСНВГ.

Системні об'єкти «вхід - процес - вихід» (рівень  $A, E$  і  $J$ ) зі своїми «зворотними зв'язками» (рівень  $B, F$  і  $H$ ) в процесі експлуатації двигуна і ТЗ можуть бути початковими етапами при здійсненні теплової підготовки двигуна за допомогою КСКП і на кожному з них формуються параметри, які визначають режими роботи двигуна, КСКП і ТЗ.

Система «ККП двигуна і ТЗ» функціонує в ОС, є відкритою тому, що обмінюється з ОС речовиною, енергією і інформацією. Крім того, двигун, КСКП і ТЗ – це складні самостійні інформаційні складові елементи системи, яким властиві системні особливості і власна ієрархічна інформаційна структура, що існують в процесах їх експлуатації в ОС. Тому для урахування означеного в процесах роботи системи «ККП двигуна і ТЗ» і забезпечення інформацією системних об'єктів на рівнях  $A - H$  на рівні  $G$  вводиться формування і введення результатів моніторингу та вхідних параметрів і даних про технічний стан, умови експлуатації і положення системи (двигуна і ТЗ) в ОС за допомогою технічних засобів ІТС, які отримують всі основні процеси системи. Також, мають місце взаємозв'язки із ОС, які враховуються при дослідженні системи (рис. 4).

В якості обмежень для двигуна і КСКП розглядаються визначені величини, характерні як для окремих складових, так і для системи взагалі: температура і період (час) підтримання двигуном (ОР і МО) і ТЗ ОТС, температура і період (час) накопичення / охолодження ТАМ в ТА фазового переходу КСКП, °С / хв. (г), витрати (питомі) палива та викидів забруднюючих речовин, г/(кВт·год), тобто цілі функціонування системи, які визначають рівень забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації, що дозволяє систематизувати можливі схеми КСКП та досліджувати вплив різних конструкцій двигуна, КСКП і ТЗ на забезпечення ОТС в умовах експлуатації в розробленій моделі функціонування системи.

Використовуючи метод морфологічного (структурного) аналізу, проведено синтез та аналіз, сформовані можливі існуючі і перспективні схеми двигуна з КСКП за вказаними функціональними елементами на різних етапах виконання властивих їй функцій в умовах експлуатації двигуна і (або) ТЗ. Систематизація можливих схем

двигуна, оснащеного КСКП, і ТЗ виконана з використанням методу морфологічного (структурного) аналізу (рис. 5 (тільки КСКП)). Для цього виділено основні функціональні елементи: паливо, повітря, ДВЗ, система охолодження (СОД) і система мащення (СМ) двигуна, продукти згорання, КСКП (в процесах рівнів).

Комплексна система комбінованого прогріву

|                                                                         |                       |                                  |                  |                                                    |                                                 |                                                           |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Процес післяпускової теплової підготовки ДВЗ і ТЗ                       | 29. ОР в СОД          | 29.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          |                  |                                                    |                                                 | 29.2. СППД                                                |                                               | 29.3. ТА фазового переходу СУТТА                                                          |                                                                                                     |
|                                                                         | 30. МО в СМ           | 30.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          |                  |                                                    |                                                 | 30.2. СППД                                                |                                               | 30.3. ТА фазового переходу СУТТА                                                          |                                                                                                     |
|                                                                         | 31. Салон (кабіна) ТЗ | 31.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          |                  |                                                    |                                                 | 31.2. СППД                                                |                                               | 31.3. ТА фазового переходу СУТТА                                                          |                                                                                                     |
|                                                                         | 32. СНВГ              | 32.1. ТАСНВГ                     |                  |                                                    |                                                 | 32.2. ТА в попередній і в основній СНВГ                   |                                               |                                                                                           | 32.3. ШС - СНВГ                                                                                     |
| Процес заряджання ТА фазового переходу КСКП                             | 33. ОР в СОД          | 33.1. ТА фазового переходу СУТТА |                  | 33.2. КТА                                          |                                                 | 33.3. ТА фазового переходу СУТТА + КТА                    |                                               | 33.4. Відсутній                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         | 34. МО в СМ           | 34.1. ТА фазового переходу СУТТА |                  | 34.2. КТА                                          |                                                 | 34.3. ТА фазового переходу СУТТА + КТА                    |                                               | 34.4. Відсутній                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         | 35. СНВГ              | 35.1. ТАСНВГ                     |                  | 35.2. ТА в попередній і в основній СНВГ            |                                                 |                                                           | 35.3. Відсутній                               |                                                                                           |                                                                                                     |
| Процес зберігання теплової енергії ДВЗ в міжзмішній період експлуатації | 36. ОР в СОД          | 36.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          | 36.2. ШС з СППД  | 36.3. ТА фазового переходу СУТТА                   | 36.4. КТА                                       | 36.5. НОРТА ( $T_{ТМ} = T_{о.с.}$ )                       | 36.6. НОРТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) | 36.12. ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТМ} = T_{о.с.}$ ) + НОРТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) | 36.13. ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) + НОРТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) |
|                                                                         |                       | 36.7. ТА + КТА                   | 36.8. ТА + НОРТА | 36.9. ТА + НОРТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) | 36.10. ТА + КТА + НОРТА ( $T_{ТМ} = T_{о.с.}$ ) | 36.11. ТА + КТА + НОРТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         | 37. МО в СМ           | 37.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          | 37.2. ШС з СППД  | 37.3. ТА фазового переходу СУТТА                   | 37.4. КТА                                       | 37.5. НМОТА ( $T_{ТМ} = T_{о.с.}$ )                       | 37.6. НМОТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) |                                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         |                       | 37.7. ТА + КТА                   | 37.8. ТА + НМОТА | 37.9. ТА + НМОТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) | 37.10. ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТМ} = T_{о.с.}$ ) | 37.11. ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТМ} = 85^{\circ}\text{C}$ ) |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         | 38. СНВГ              | 38.1. ТАСНВГ                     |                  |                                                    |                                                 | 38.2. ТА в попередній і в основній СНВГ                   |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |
| Процес передпускової теплової підготовки ДВЗ за допомогою КСКП          | 39. ОР в СОД          | 39.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          |                  |                                                    |                                                 | 39.2. ТА фазового переходу СУТТА                          |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |
|                                                                         | 40. МО в СМ           | 40.1. ДВЗ (ШС без КСКП)          |                  |                                                    |                                                 | 40.2. ТА фазового переходу СУТТА                          |                                               |                                                                                           |                                                                                                     |

Рисунок 5 - Морфологічна матриця схем КСКП в основних процесах роботи

Для вибраних 40 основних морфологічних ознак функціональних елементів двигуна, оснащеного КСКП, і ТЗ складено перелік конкретних варіантів (від 2 до 13) їх конструктивної реалізації, від яких залежить досягнення мети функціонування системи. В роботі досліджувались схеми КСКП двигунів ТЗ і (або) ЕУ з різною компоновкою, морфологічні формули яких складались на початку дослідження. Одним з основних питань організації забезпечення ОТС двигуна і ТЗ була розробка методики формування циклу забезпечення ОТС з використанням КСКП. Логічна організація процесу управління формуванням ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації, а саме вибором тієї чи іншої схеми КСКП показана на рис. 6. Основні стадії і етапи вибору способу забезпечення і оцінювання ОТС двигуна ТЗ в умовах експлуатації показані на стадії 3 на рис. 6. Схема алгоритму визначення окремих критеріїв вибору і оцінювання способу забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації показана на рис. 7, який здійснюється на основі показників, що виступають окремими критеріями ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації.

**П'ятий розділ** присвячений математичному моделюванню системних об'єктів досліджуваної системи.

Запропоновано основні припущення і положення моделювання системних об'єктів досліджуваної системи, в основі яких лежать процеси фазових переходів у речовинах ТА, як у складових КСКП. В основу функціонування математичної

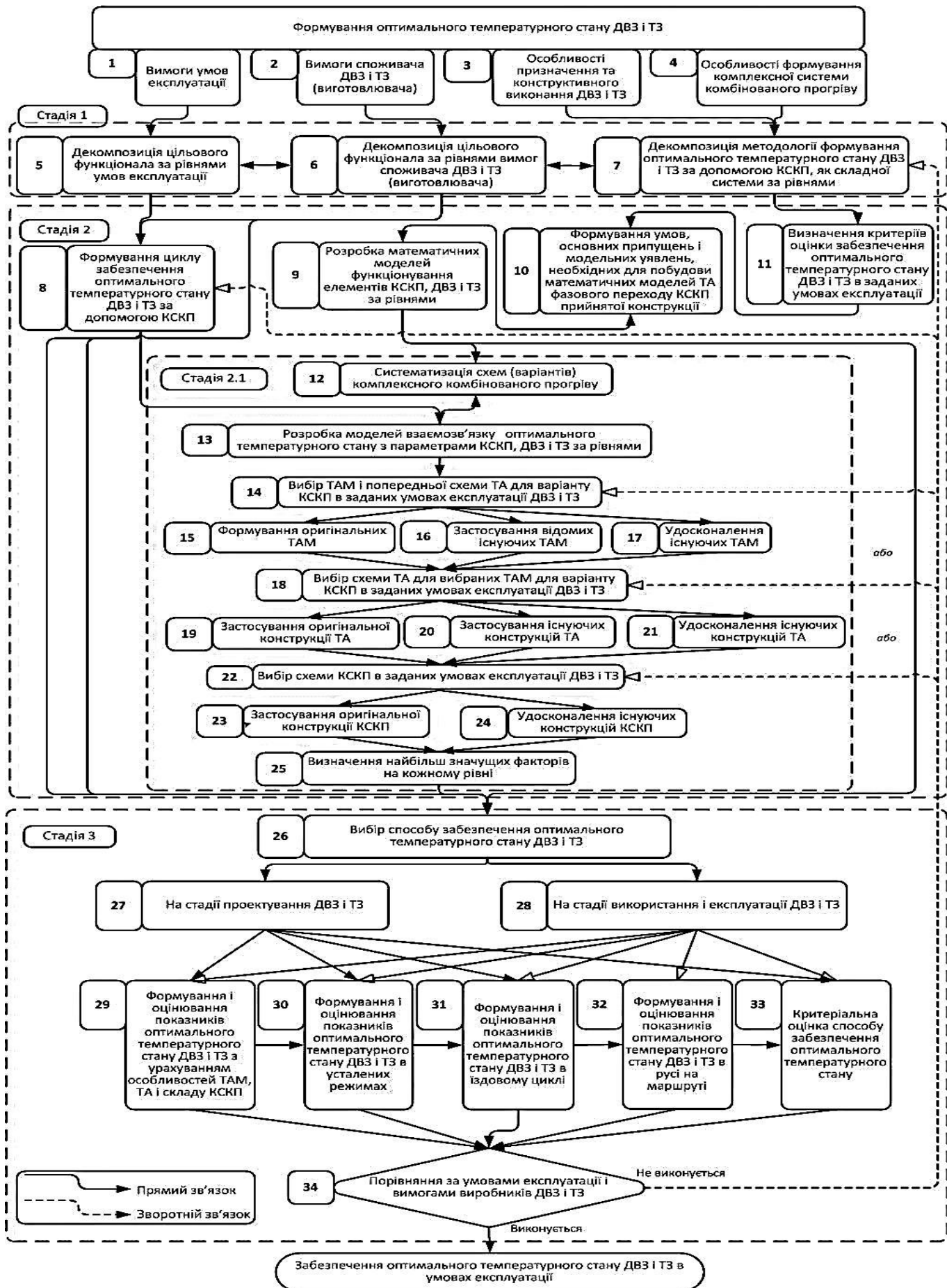


Рисунок 6 - Логічна організація процесу управління ОТС на різних етапах експлуатації двигуна з КСКП і ТЗ

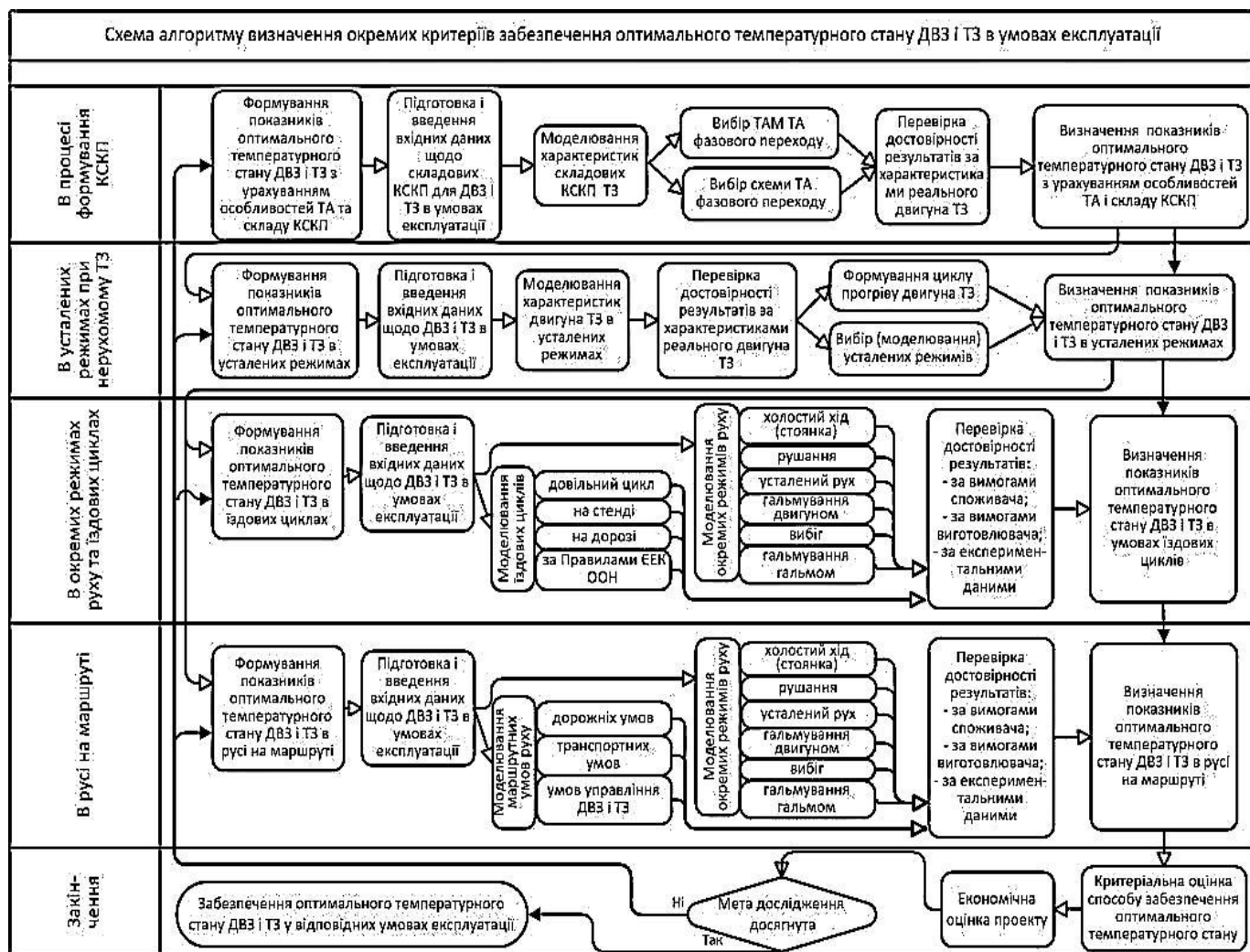


Рисунок 7 - Схема алгоритму визначення і оцінювання окремих критеріїв забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації

моделі роботи КСКП двигуна і ТЗ покладене рівняння теплового балансу двигуна в процесах здійснення передпускового і післяпускового прогріву. Розроблена модель та її програмна реалізація дозволяють розраховувати із задовільною точністю енергетичні показники та паливну економічність двигуна, оснащеного КСКП, на різних рівнях його теплової підготовки. В основі моделі лежать рівняння функціонування основних процесів системи, моделі зворотних зв'язків та зв'язків з ОС, що мають місце в реальних експлуатаційних умовах.

Узагальнені закономірності протікання процесів теплової підготовки двигуна, оснащеного КСКП, і ТЗ в основних процесах рівнів, створені їх універсальні моделі на основі квазіізотермічних теплових процесів, які дозволяють “настроювати” отримані моделі під конкретний двигун з використанням значень показників у відповідній точці.

Підсистема зворотного зв'язку системи управляє процесами ККП двигуна і ТЗ з метою адаптації робочих процесів теплової підготовки з умовами їх експлуатації за отриманою інформацією про результати моніторингу технічного стану, умов експлуатації і положення ТЗ з двигуном, оснащеним КСКП в ОС; з метою реалізації заданого закону (характеру) прогріву, який може бути встановлений умовами і

правилами експлуатації двигуна і ТЗ; з метою задоволення енергетичних вимог до виконання теплової підготовки двигуна і ТЗ за умовами: конструкційними – щодо двигуна і ТЗ і технологічними – щодо технологічної адаптованості їх до проведення теплової підготовки), а також екологічних вимог щодо використання двигуна і ТЗ у відповідних умовах експлуатації, які обумовлені вимогами існуючих стандартів, Правил ЄЕК ООН і відповідних нормативів.

На основі системної взаємодії процесів і зворотних зв'язків рівнів при використанні складових КСКП для забезпечення теплової підготовки двигуна і ТЗ здійснюється не тільки управління процесом прогріву, але й формування якісних показників кожного з ТА фазового переходу, що працюють у складі єдиної системи. Тобто, запропонований і вище описаний програмний комплекс дає можливість проводити проектування, дослідження і оцінювання КСКП транспортного двигуна у складі ТА з фазовим переходом.

В системі «ККП двигуна і ТЗ» розглядалися такі 4 основні експлуатаційні режими теплової підготовки двигуна і ТЗ (як в усталених і перехідних режимах роботи двигуна при зупиненому ТЗ, так і в процесі руху ТЗ), а саме: 1- прогрів транспортного двигуна в режимі х.х. при зупиненому ТЗ; 2 - прогрів транспортного двигуна в режимі х.х. з навантаженням при зупиненому ТЗ; 3 - прогрів транспортного двигуна в режимі х.х. при зупиненому ТЗ та в подальшому русі ТЗ; 4 - прогрів двигуна і ТЗ в русі. Дослідження післяпускового прогріву двигуна ТЗ в русі проводили як в режимі їздового циклу, так і в русі на маршруті. Для проведення системного аналізу забезпечення ОТС нерухомого ТЗ з двигуном, оснащеним КСКП, запропоновано моделювання проводити за допомогою досліджуємої системи «ККП двигуна і ТЗ» і програмного комплексу Diesel-RK.

Для проведення системного аналізу забезпечення ОТС двигуна з КСКП і ТЗ в русі, запропоновано моделювання їздових циклів ТЗ і руху на маршруті проводити за допомогою досліджуємої системи «ККП двигуна і ТЗ» і розробленого методу моделювання процесів прогрівання в процесах руху ТЗ. В основу математичної моделі вирішення поставленої проблеми покладені методики дослідження основних експлуатаційних показників ТЗ в режимах їздового циклу ТЗ згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05.

Розроблений метод і пакет прикладних програм дозволяють досліджувати ефективність способів теплової підготовки двигунів і ТЗ (рис. 8), способи регулювання її інтенсивності, для забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в експлуатаційних умовах: в окремих режимах, їздових циклах та на встановлених експлуатаційних маршрутах.

Для перевірки адекватності математичних моделей та визначення характеристик ОТС двигунів і ТЗ співставляли характеристики теплової підготовки ТЗ і двигуна, оснащеного елементами КСКП, знятих експериментально і отриманих розрахунковим шляхом, а також експериментальних і розрахункових кривих перехідних процесів досліджуваних параметрів в процесах передпускового і післяпускового прогріву в основних експлуатаційних режимах теплової підготовки двигуна і ТЗ (як в усталених і перехідних режимах роботи двигуна при зупиненому ТЗ, так і в процесі руху ТЗ (їздові цикли)). При перевірці адекватності

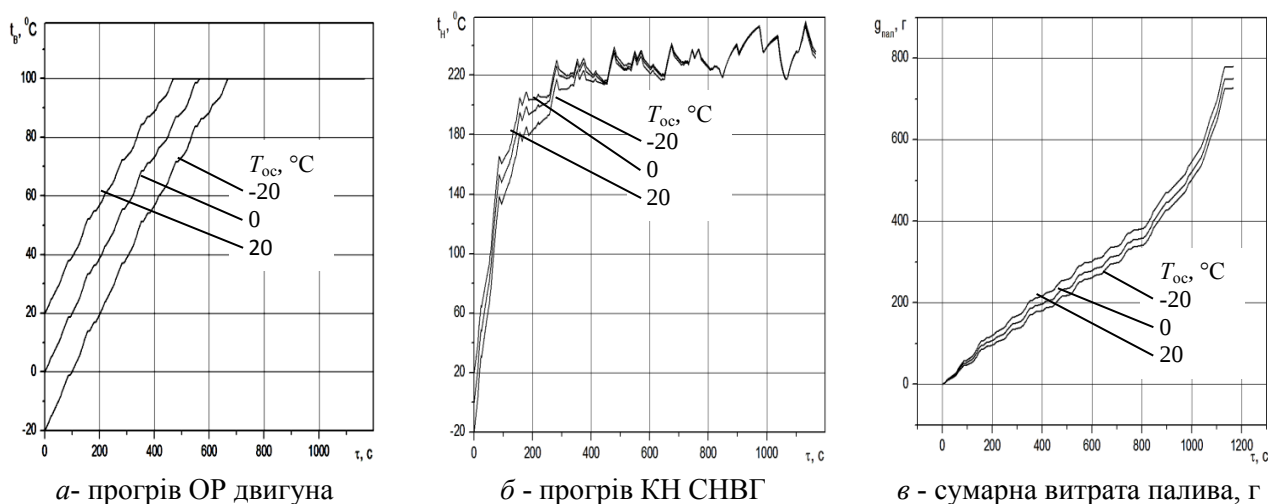


Рисунок 8 - Основні експлуатаційні показники ТЗ при здійсненні прогріву транспортного двигуна в русі в режимах їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 в залежності від часу при різних температурах ОС

використовували табличні дані  $F$ -критерію для 5% рівня значущості. Надійна ймовірність складає 95%.

В шостому розділі викладено мету, програму, методику та результати експериментальних досліджень.

Метою експериментальних досліджень в роботі є визначення дослідних даних для перевірки адекватності та побудови математичних моделей окремих елементів, підсистем та системи в цілому при застосуванні ІСМ та способів забезпечення ОТС двигунів з КСКП і ТЗ в умовах експлуатації у складі інтелектуальної СКП, які отримані удосконаленням конструкції транспортних двигунів, оснащенням ТЗ засобами дистанційного моніторингу і КСКП на основі ТА фазового переходу в умовах ITS.

На лабораторних установках досліджувались енергетичні процеси в ТАМ, що знаходяться в стані фазових перетворень, а також закономірності зміни температури ТАМ для ТА і їх параметри робочих процесів при здійсненні теплової підготовки.

На безмоторних стендах з ТА фазового переходу та елементах КСКП досліджувались основні закономірності роботи її складових і системи в цілому для подальшого використання її на ТЗ. Результатом дослідження було отримання експериментальних даних, щодо терміну (часу) заряджання ТА в залежності від зміни температури самого теплоносія, та терміну (часу) розряджання в залежності від швидкості циркуляції теплоносія в контурі ТА при відбиранні теплоти.

Для використання в складових компонентах КСКП експериментально підібрані ТАМ в ТА фазового переходу. Для використання в ТА підібраний ТАМ (рис. 9) - поліетилен високої густини низького тиску ( $T_{\text{фп}} = 408 \text{ K}$ ), для використання в КТА, НОРТА, НМОТА – парафін Т-3 ( $T_{\text{фп}} = 318-325 \text{ K}$ ) – суміш високомолекулярних вуглеводнів  $C_{18}-C_{35}$ , для використання в ТАСНВГ - гідрохінон  $C_6H_4(OH)_2$  ( $T_{\text{фп}} = 443 \text{ K}$ ) і їдкий натр  $NaOH$  ( $T_{\text{фп}} = 591 \text{ K}$ ), а також отримані їх основні фазоперехідні характеристики. Сконструйовані і виготовлені ТА фазового переходу КСКП для забезпечення ОТС ТЗ і транспортного двигуна (патенти України на винахід № 103729 і № 106525).

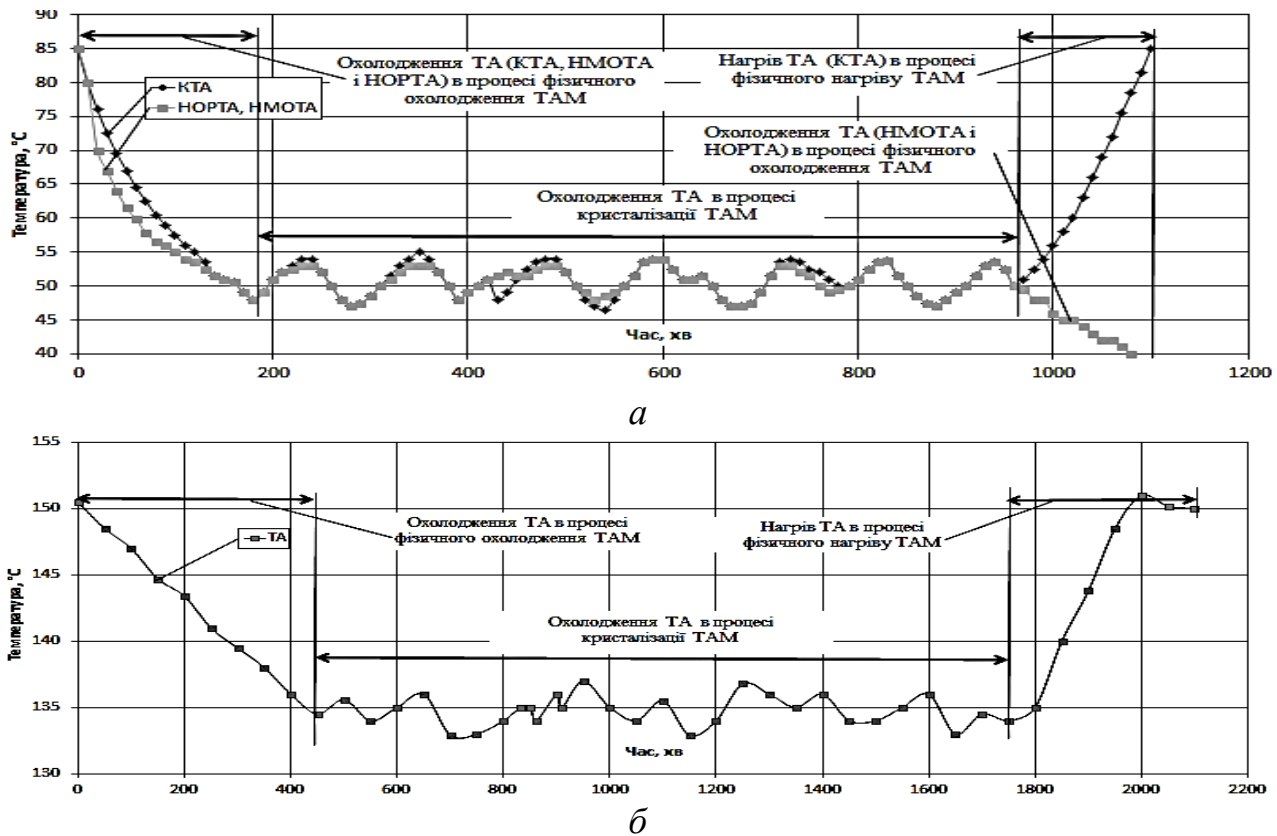


Рисунок 9 - Результати дослідження ТАМ у режимі розряджання – зберігання – заряджання теплоти при  $T_{OC} = +20^{\circ}\text{C}$ : в КТА, НОРТА і НМОТА (а) і в ТА (б)

Для забезпечення процесів теплової підготовки двигунів і ТЗ до температури, що дозволяє здійснювати приймання навантаження відразу після пуску двигуна і вибору режимів роботи КСКП на основі ТА фазового переходу, розроблено цикл взаємодії системних об'єктів на відповідних рівнях роботи системи «ККП двигуна і ТЗ» в процесах передпускового і післяпускового прогріву транспортного двигуна.

Дослідна ресурсозберігаюча екологічно чиста технологія експлуатації засобів транспорту в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки для використання в транспортних двигунах і ТЗ апробована в умовах спеціалізованих лабораторій на стаціонарних двигунах 6Ч 12/14 (К-461М1 (дизельне паливо) і К-159 М2 (природний газ)). Використання КСКП дозволило суттєво покращити показники термінів прогріву: ОР (до 23-44%) і МО двигуна – до 20-44% у порівнянні зі штатними системами (ШС) двигунів. При цьому сумарна витрата палива на прогрів двигуна зменшена на 69-80%, викиди шкідливих речовин у ВГ – на 85-97%.

Для дистанційного дослідження і оцінки процесів, способів і засобів забезпечення ОТС двигуна і ТЗ за допомогою КСКП в умовах експлуатації був розроблений, розроблена схема інформаційного обміну між елементами вимірювального комплексу БПДК в умовах ITS.

У процесі експериментальних досліджень в ТЗ під час передпускового і післяпускового прогріву ОР автомобільного двигуна G4GC (4Ч 8,2/9,35) в ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2, використовуючи ICM і КСКП з фазоперехідним ТА, досягнуто скорочення терміну нагрівання ОР на 17,8 - 68,4% і витрати палива на 19,5 - 56,25% в різних умовах експлуатації, при використанні різних варіантів здійснення прогріву ТЗ (табл. 1).

Таблиця 1 - Порівняння середніх значень параметрів, що характеризують економію часу та витрати палива на прогрів ОР автомобільного двигуна 4Ч 8,2/9,35 при різних варіантах здійснення прогріву та різних температурах ОС

| Варіанти прогріву                                              | Економія   | від 40 °С до 85 °С |        |        | від 50 °С до 85 °С |        |        | від 60 °С до 85 °С |        |        |
|----------------------------------------------------------------|------------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
|                                                                |            | -5 °С              | -10 °С | -20 °С | -5 °С              | -10 °С | -20 °С | -5 °С              | -10 °С | -20 °С |
| 1 - прогрів тільки на режимі х.х.                              | час, хв.   | 6                  | 8      | 15     | 7                  | 12     | 20     | 9                  | 15     | 23     |
|                                                                |            | 22,2               | 17,8   | 24,2   | 25,9               | 26,7   | 32,3   | 33,3               | 33,3   | 37,1   |
|                                                                | паливо, кг | 0,134              | 0,25   | 0,46   | 0,189              | 0,366  | 0,55   | 0,21               | 0,41   | 0,596  |
|                                                                |            | 27,3               | 29,3   | 39,66  | 38,6               | 42,9   | 47,4   | 42,86              | 48,1   | 51,4   |
| 2 - прогрів на режимі х.х. з включенням електричних споживачів | час, хв.   | 6                  | 10     | 17     | 8                  | 13     | 21     | 12                 | 17     | 29     |
|                                                                |            | 19,35              | 19,23  | 25,37  | 25,81              | 25     | 31,3   | 38,71              | 32,69  | 43,28  |
|                                                                | паливо, кг | 0,135              | 0,277  | 0,49   | 0,22               | 0,359  | 0,586  | 0,333              | 0,48   | 0,75   |
|                                                                |            | 19,5               | 25,45  | 34,75  | 31,9               | 32,99  | 41,56  | 48,3               | 44,12  | 53,2   |
| 3 - прогрів на режимі х.х. з поступовим прогрівом у русі       | час, хв.   | 7                  | 13     | 21     | 10                 | 15     | 25     | 13                 | 17     | 27     |
|                                                                |            | 25,9               | 43,3   | 45,65  | 52,6               | 50     | 54,35  | 68,4               | 56,67  | 58,69  |
|                                                                | паливо, кг | 0,155              | 0,368  | 0,61   | 0,257              | 0,485  | 0,91   | 0,44               | 0,617  | 0,959  |
|                                                                |            | 20,75              | 31,2   | 31,9   | 34,4               | 41,2   | 47,6   | 58,9               | 52,38  | 50,21  |
| 4 - прогрів у русі                                             | час, хв.   | 6                  | 10     | 17     | 8                  | 13     | 22     | 9                  | 16     | 25     |
|                                                                |            | 33,3               | 34,48  | 38,64  | 44,4               | 44,8   | 50     | 50                 | 55,17  | 56,8   |
|                                                                | паливо, кг | 0,192              | 0,369  | 0,66   | 0,247              | 0,478  | 0,81   | 0,347              | 0,53   | 0,99   |
|                                                                |            | 27,08              | 32,37  | 37,5   | 34,84              | 41,9   | 46,02  | 48,9               | 46,49  | 56,25  |

Для двигуна ЗМЗ-66-06 (8Ч 9,2/8) вантажного автомобіля ГАЗ-66-11 – досягнуто скорочення терміну нагрівання ОР на 53 - 69% в різних умовах експлуатації, при використанні різних варіантів здійснення прогріву ТС. Найбільш раціональним з точки зору компромісу між часом прогріву транспортного двигуна від КСКП з ТА фазового переходу від температури ОС до температури 85 °С (50 °С), відстані пробігу ТЗ для здійснення прогріву в русі і витратою палива є варіант прогріву двигуна в режимі х.х. при нерухомому ТЗ і з подальшим рухом ТЗ.

Дослідження каталітичного нейтралізатора (КН) в системі випуску транспортного двигуна 4Ч 8,2/9,35 без КСКП автомобіля KIA CEE'D 2.0 5MT2 з метою досягнення температури в точці Light-off (250 °С/ 523 К) кривої прогріву проводилось, як і в попередньому дослідженні, для основних 4 режимів прогріву. Виходячи з отриманих результатів, для найкращих варіантів час досягнення необхідної температури для 3-го і 4-го варіантів (табл. 2), відповідно, досягається за 12,3 і 7,3 хв.

Виконано порівняння термінів прогріву різних зон салону ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2 і водія у відповідності до існуючих вимог. Для забезпечення виконання вимог щодо термінів прогріву різних зон салону ТЗ і водія для ТЗ без КСКП можливо використовувати штатну СОД тільки до - 5 °С. При подальшому зниженні температур необхідно використовувати КСКП для прогріву салону ТЗ.

У **сьомому розділі** наведені результати досліджень на математичних моделях ефективності застосування КСКП для забезпечення ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації.

Запропоновано підхід і загальний метод формування КСКП для забезпечення ОТС двигуна і ТЗ. Для формування ОТС двигуна і ТЗ і оцінювання конструкції складових КСКП запропоновано використання методу замкнутої оптимізації для енергетичних і ексергетичних показників ТА фазового переходу. Метод замкнутої

оптимізації дозволяє приймати для оптимізації практично будь-який параметр системи прогріву з ТА фазового переходу - ККД, режим роботи двигуна з ТА при здійсненні його прогріву (зарядки ТА), конструкційні параметри ТА фазового переходу тощо. Це, в кінцевому підсумку, дає можливість оцінювати досконалість систем прогріву двигуна з ТА фазового переходу при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву ТЗ.

Таблиця 2 - Порівняння параметрів прогріву КН (Т, К) двигуна ТЗ від терміну прогріву ( $\tau$ , хв.) в перехідному процесі при здійсненні пуску ( $t_{oc} = -5^\circ\text{C}$ )

| № варіанту досліджень | Інтервал часу на попередній прогрів | Інтервал часу на прогрів «тіла» | Робочий стан при прогріві | Час прогріву ОР при роботі двигуна на х.х. / в русі, хв |                                | Інтервал часу при $\alpha < 1$ , хв |                       | Інтервал часу при $\alpha \geq 1$ , хв |                       |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------|
|                       |                                     |                                 |                           | каталітичного нейтралізатора, хв                        |                                | стале $\alpha < 1$                  | не стале $\alpha < 1$ | не стале $\alpha \geq 1$               | стале $\alpha \geq 1$ |
|                       |                                     |                                 |                           | до $t_{op} = 50^\circ\text{C}$                          | до $t_{op} = 85^\circ\text{C}$ |                                     |                       |                                        |                       |
|                       | $t_1$                               | $t_2$                           | $t_3$                     | $t_4$                                                   | $t_2$                          | $t_6$                               | $t_7$                 | $t_8$                                  | $t_9$                 |
| 1                     | 3                                   | 6                               | 17                        | 6                                                       | 26                             | 6                                   | -                     | -                                      | 20                    |
| 2                     | 2                                   | 5                               | 23                        | 6                                                       | 31                             | 20                                  | -                     | -                                      | 11                    |
| 3                     | 2                                   | 7                               | 9                         | 10                                                      | 19                             | 16                                  | -                     | -                                      | 3                     |
| 4                     | 2                                   | 3                               | 12                        | 8                                                       | 18                             | 8                                   | 4                     | -                                      | 6                     |

Використання отриманих моделей у складі БПДК на основі розробленого віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту дозволяє забезпечити моніторинг параметрів робочого стану двигуна і ТЗ в процесі експлуатації в умовах ITS.

Виходячи з розроблених алгоритмів передпускового і післяпускового прогріву ОР і МО транспортного двигуна були складені 19 комбінацій варіантів для виконання аналізу впливу комплектацій використання складових розробленої КСКП на забезпечення ОТС, а саме: вар. 1 - штатні системи двигуна без КСКП – ШС без КСПП; вар. 2 - штатні системи двигуна з підсистемою прискореного прогріву КСКП – ШС з СППД; вар. 3 - тепловий акумулятор фазового переходу – ТА; вар. 4 - контактний тепловий акумулятор фазового переходу – КТА; вар. 5 - накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу при  $T_{TAM} = T_{o.c}$  – НМОТА ( $T_{TAM} = T_{o.c}$ ); вар. 6 - накопичувач моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу при  $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$  – НМОТА ( $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$ ); вар. 7 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора і контактного теплового акумулятора (вар. 3 і 4): ТА + КТА; вар. 8 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{TAM} = T_{o.c}$  (вар. 3 і 5): ТА + НМОТА ( $T_{TAM} = T_{o.c}$ ); вар. 9 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$  (вар. 3 і 6): ТА + НМОТА ( $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$ ); вар. 10 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{TAM} = T_{o.c}$  (вар. 3, 4 і 5): ТА + КТА + НМОТА ( $T_{TAM} = T_{o.c}$ ); вар. 11 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$  (вар. 3, 4 і 6): ТА + КТА + НМОТА ( $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$ ); вар. 12 - накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим

акумулятором фазового переходу при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  – НОРТА ( $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ ); вар.13 - накопичувач охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором фазового переходу при  $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  – НОРТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); вар. 14 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  (вар. 3 і 12): ТА + НОРТА ( $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ ); вар. 15 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  (вар. 3 і 13): ТА + НОРТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); вар.16 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  (вар. 3, 4 і 12): ТА + КТА + НОРТА ( $T_{ТАМ} = T_{о.с}$ ); вар. 17 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  (вар. 3, 4 і 13): ТА + КТА + НОРТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); вар. 18 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = T_{о.с}$  (вар. 3, 4, 5 і 12): ТА + КТА + НМОТА + НОРТА; вар. 19 - поєднання окремих складових КСКП, а саме теплового акумулятора, контактного теплового акумулятора, накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  і накопичувача охолоджуючої рідини з тепловим акумулятором при  $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  (вар. 3, 4, 6 і 13): ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) + НОРТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

При цьому, для всіх складених варіантів, під час здійснення передпускового і післяпускового прогріву транспортного двигуна з КСКП, оцінювались наступні режимні параметри його роботи за тривалістю: прогрівання ОР і МО від  $T_{о.с}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хв., прогрівання ОР і МО від  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хв., підтримання  $T_{ОР} \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $T_{МО} \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хв. Аналіз параметрів роботи проводився окремо для ОР і МО транспортного двигуна, при різних температурах ОС, а саме:  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Порівнюючи за результатами дослідження показники теплового стану при здійсненні *передпускового прогріву ОР і МО* транспортного двигуна з КСКП у порівнянні з варіантом зі ШС двигуна від  $T_{о.с}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хв. отримали найбільше скорочення тривалості часу прогріву у варіантах 3, 7 – 11, 14.- 19 для всіх варіантів температур ОС, тобто при  $T_{о.с} = 20\text{ (0/-20) }^{\circ}\text{C}$ . При цьому скорочується тривалість прогріву відповідно до значень 14,4 (24/33,3) хв. для ОР і 14,2 (25/35) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі ШС двигуна, тобто 22,8 (31/47,5) хв. для ОР і 24,2 (33,3/50,5) хв. для МО. Таким чином, скорочується тривалість прогріву відповідно на 8,4 (7,1/14,2) хв. або на 36,9 (22,9/29,9) % для ОР і на 10 (8,3/15,5) хв. або на 41,3 (25/30,8) % для МО.

Порівнюючи показники теплового стану при здійсненні *прискореного післяпускового прогріву ОР і МО* транспортного двигуна з КСКП у порівнянні з варіантом зі ШС двигуна від  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хв. отримали найбільше скорочення тривалості часу прогріву аналогічно у варіантах 3, 7 – 11, 14.- 19 для варіантів температур оточуючого середовища  $T_{о.с} = 20\text{ (0/-20) }^{\circ}\text{C}$ . При цьому скорочується тривалість прогріву відповідно до значень 9,7 (19,2/26,2) хв. для ОР і 10,5 (21,2/28,2) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі ШС двигуна, тобто 22,8 (31/47,5) хв. для ОР і

24,2 (33,3/50,5) хв. для МО. Таким чином, скорочується тривалість прогріву відповідно на 13,1 (11,8/21,3) хв. або на 57,5 (38/44,8) % для ОР і на 13,7 (12,1/22,3) хв. або на 57 (36/44,2) % для МО.

Порівнюючи показники теплового стану за тривалістю підтримання  $T_{OP} \approx 50^\circ\text{C}$  і  $T_{MO} \approx 50^\circ\text{C}$ , хв. двигуна, оснащеного КСКП, і ТЗ з варіантом зі ШС (вар.1) отримали суттєве збільшення тривалості періоду довготривалої міжзмінної зупинки двигуна з КСКП транспортного засобу без роботи двигуна в режимі холостого ходу. Не змінилась тривалість зберігання у варіанті 2 для ОР і МО, у варіантах 5 і 6 для ОР і у варіантах 12 і 13 для МО транспортного двигуна. Збільшення тривалості зберігання відбулось відповідно у варіантах 3 - 18, як для ОР, так і для МО двигуна для варіантів температур оточуючого середовища  $T_{oc} = 20$  (0/-20)  $^\circ\text{C}$ . відповідно. Найбільш суттєве збільшення тривалості зберігання відбулось у варіанті 19, у варіантах 15 і 17 для ОР і у варіантах 9 і 11 для МО транспортного двигуна відповідно. Такі значення для указаних варіантів характеризуються включенням в роботу ТА фазового переходу одночасно з роботою підсистеми СППД, КТА, і попередньо прогрітих до  $T_{TAM} = 85^\circ\text{C}$  НМОТА й НОРТА. При цьому збільшується тривалість підтримання  $T_{OP} \approx 50^\circ\text{C}$  і  $T_{MO} \approx 50^\circ\text{C}$  відповідно до значень від 720 (600/510) хв. до 2410 (2078/1870) хв. для ОР і від 720 (600/510) хв. до 2410 (2078/1870) хв. для МО у порівнянні з варіантом зі штатними системами двигуна, тобто на 80 (40/20) хв. для ОР і на 100 (60/30) хв. для МО. Таким чином, збільшується тривалість підтримання встановлених температур відповідно від 640 (560/490) хв. до 2330 (2038/1850) хв. або в інтервалі від 9 (14/24) до 29,13 (50,95/92,50) разів для ОР і від 620 (540/480) хв. до 2310 (2018/1840) хв. або в інтервалі від 6,2 (9/16) до 15,9 (33,63/61,33) разів для МО для відповідних умов експлуатації.

Особливості комплектації і технології використання представленої КСКП запропоновано вибирати в залежності від експлуатаційних потреб, кліматичних умов і призначення ТЗ.

В результаті аналізу впливу варіантів комплектації КСКП на процеси передпускового прогріву двигуна були встановлені найбільш значущі із складових КСКП, а саме у варіантах 2 і 3. Для них додатково проводили дослідження щодо визначення питомих показників сумарного впливу варіантів комплектації КСКП на час прогріву ОР і МО транспортного двигуна від  $T_{o.c.}$  до  $50^\circ\text{C}$  і від  $50^\circ\text{C}$  до  $85^\circ\text{C}$ . На рис. 10 а показані основні найбільш значущі показники теплової підготовки транспортного двигуна вантажного ТЗ при здійсненні прогріву ОР і МО  $T_{o.c.}$  до  $50^\circ\text{C}$ . Найбільший вплив на показники прогріву двигуна здійснює ТА фазового переходу при  $T_{oc} = 20$  (0/-20)  $^\circ\text{C}$ , для ОР – відповідно 0,085 (0,134 / 0,168) кг / год; а для МО - відповідно 0,085 (0,133 / 0,167) кг / год. Для оцінки сумарного впливу варіантів впливу компонентів КСКП на час прогріву ОР і МО транспортного двигуна були вибрані найбільш значущі комплектації, а саме у варіантах 3 - 6, 12, 13 і 19. В якості сумарного впливу на теплові процеси вибирали сумарний час на здійснення передпускового (від  $T_{o.c.}$  до  $50^\circ\text{C}$ ) і післяпускового (від  $50^\circ\text{C}$  до  $85^\circ\text{C}$ ) прогріву та на час підтримання температури ОР і МО транспортного двигуна ОР і МО в межах  $\approx 50^\circ\text{C}$  по відношенню до витраченого палива на здійснення всієї теплової підготовки. На рис. 10 б показані основні результати дослідження впливу

варіантів комплектації КСКП на сумарний час теплової підготовки ОР і МО транспортного двигуна у питомих показниках витрати палива, кг/год. Найнижчі показники витрати палива отримані для варіанту комплектації КСКП у варіанті 19. Не менш цікавими виглядають і показники ТА фазового переходу, які є оптимальними для всіх варіантів прогріву, як за варіантами прогріву, так і за температурами ОС.

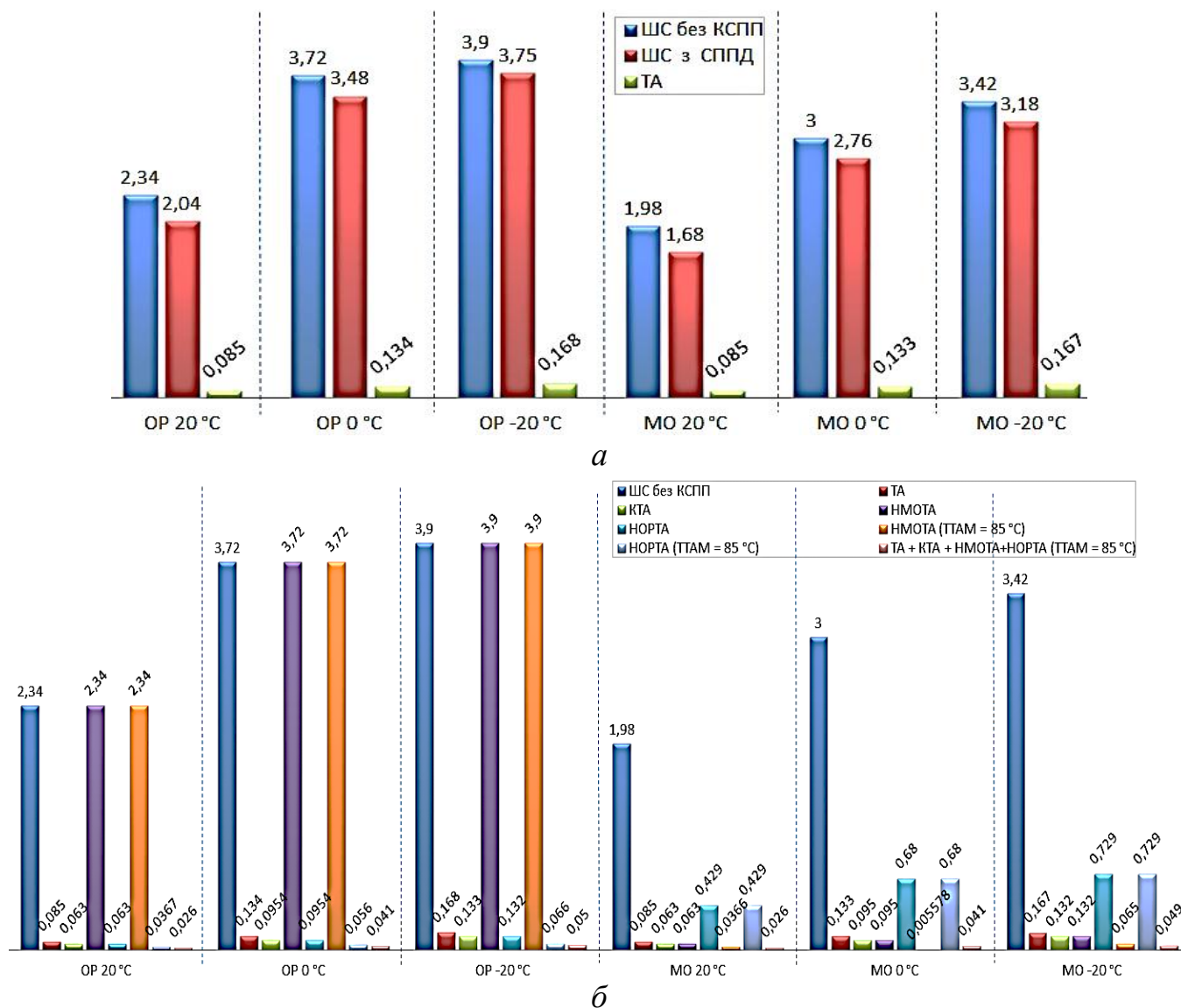


Рисунок 10 - Результати дослідження впливу варіантів комплектації КСКП для транспортного двигуна на час прогріву ОР і МО (а); на сумарний час теплової підготовки ОР і МО (б) у показниках витрати палива (кг/год)

В цілому, для забезпечення ОТС двигуна при використанні КСКП доцільно використовувати всі варіанти одночасного впливу на ОР і МО транспортного двигуна.

Для забезпечення температурного впливу на показники КН СНВГ доцільно використовувати ТА, встановлений в системі випуску ВГ двигуна. При застосуванні ТА СНВГ, в залежності від варіанту прогріву двигуна, для всіх варіантів термін досягнення температури в точці Light-off (250 °C/ 523 K) кривої прогріву КН

досягається вже на 3 – 5 хв. експлуатації КН системи випуску двигуна. Цей показник майже вдвічі краще отриманих експериментально показників прогріву КН. Для забезпечення виконання вимог щодо термінів прогріву різних зон салону ТЗ і водія використання КСКП без змін конструкції ТЗ повністю забезпечує виконання вимог існуючих стандартів в частині вимог до ефективності і безпеки системи опалення.

Таким чином, для забезпечення транспортної безпеки в частині вимог підтримання ОТС двигуна і ТЗ доцільно використовувати наступні варіанти комплектації КСКП:

- прогрів від  $T_{o.c.}$  до 50 °С – варіант 2 і 3;
- прогрів від 50 °С до 85 °С – варіант 2 і 3;
- забезпечення підтримання температури ОР і МО двигуна в межах  $\approx 50$  °С

зупиненого ТЗ, за сумарними питомими показниками щодо витрати палива, для забезпечення нешкідливості впливу на ОС (крім ТА СНВГ) і для забезпечення можливості приймання навантаження двигуном відразу після його запуску – варіанти 19 і 3.

Для забезпечення транспортного комфорту доцільно використовувати будь які засоби теплової підготовки на СОД двигуна. Найкращі з них - ТЗ + варіант 11, ТЗ + варіанти 19 (або) 3.

Для забезпечення питомої ефективної витрати палива при здійсненні сумарного забезпечення ОТС двигунів і ТЗ доцільно використовувати варіант 1 і 9.

## ВИСНОВКИ

У дисертації виконано теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми забезпечення оптимального температурного стану двигунів і ТЗ в умовах експлуатації шляхом застосування інтелектуальних систем комбінованого прогріву на основі інформаційного дистанційного моніторингу технічного стану і використання теплових акумуляторів фазового переходу. Результати досліджень дозволили сформулювати основні теоретичні та науково-практичні висновки:

1. Аналіз умов, процесів і ефективності реалізацій шляхів формування і забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації показує, що вони мають низку недоліків і не гарантують вирішення загальних проблем в повному обсязі. Крім того, вирішення означеної проблеми в цілому, суттєво залежить, з урахуванням існуючих вимог, від технічного стану ТЗ, умов його експлуатації та засобів забезпечення ОТС. Тому, при вирішенні вказаної проблеми виникає потреба у наявності повної інформації про предмет дослідження, яку можливо реалізувати створенням інтелектуальних СКП, в основу яких покладено інформаційну складову на основі відомостей про технічний стан двигуна і ТЗ в умовах експлуатації та енергетичну складову на різних етапах їх функціонування у ЖЦ. Це, в свою чергу, дозволить уникнути недоліків традиційних систем керування прогрівом ТЗ.

2. Розроблена концепція забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інтелектуальних СКП, в основу якої покладено інформаційну складову на основі відомостей про технічний стан та енергетичну складову на різних етапах функціонування у ЖЦ. Реалізація концепції базується на використанні системного підходу, аналізу інформаційних та основних енергетичних потоків

транспортного двигуна і ТЗ, чим забезпечується вирішення проблеми формування та оцінювання способів забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на різних етапах ЖЦ, а саме на стадіях проектування і використання в умовах експлуатації у ЖЦ. Для створення концептуального підходу, формалізації співвідношень основних загальних і локальних задач, розроблена і запропонована формалізована схема і модель КСКП двигуна і ТЗ, за допомогою якої забезпечується взаємодія основних енергетичних потоків та їх перетворення. ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації на різних етапах ЖЦ реалізується за допомогою інтелектуальної системи комбінованого прогріву у вигляді системної взаємодії складових інформаційної системи моніторингу та КСКП для виконання теплової підготовки, а також комплексної математичної моделі.

3. Розроблена інформаційна система оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації з можливостями прогнозування параметрів технічного стану у складі інтелектуальної СКП на основі бортового комплексу ITS. Розроблена і сформована методика дослідження, аналітична, теоретико-графова модель предметної області інформаційної системи моніторингу і оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ, як складної системи. Виявлені основні етапи створення вказаної моделі, включаючи виділення структурних елементів у складі підсистем 1 - двигуна і ТЗ в умовах експлуатації та 2 – КСКП і зв'язків між ними; для предметної області виділені загальні інформаційні елементи в підсистемах, які є ключовими з причини семантичної залежності одержуваних даних від часу збирання інформації; доказана канонічна структура бази даних системи моніторингу и прогнозування параметрів ТЗ і двигуна з КСКП. Це дало можливість при розробці інтелектуальної СКП отримати єдиний підхід для формування предметної області інформаційної системи моніторингу і оцінювання способів забезпечення ОТС для різних типів двигунів і ТЗ, що в свою чергу дозволяє дистанційно враховувати, оцінювати, аналізувати і прогнозувати вплив керуючих дій в процесах забезпечення ОТС на параметри технічного стану двигуна і ТЗ.

4. Для функціонування бортового комплексу ITS розроблено ІПК «MonDiaFor «HADI-15», в основу якого покладені наступні алгоритми: процесу збору даних про технічний стан системи моніторингу і параметри ТЗ і двигуна, оснащеного КСКП; процесу діагностування стану і визначення статусу несправностей; а також алгоритми для можливого виконання прогнозування значень контрольованих параметрів стану в умовах експлуатації. Використання ІПК дозволяє дистанційно накопичувати, обробляти та розповсюджувати інформацію про параметри технічного стану двигуна з КСКП і ТЗ в умовах експлуатації.

5. Розроблена загальна методологія формування та оцінювання способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації на основі інформації про технічний стан з використанням КСКП у складі ТА фазового переходу. Для цього розроблено модель функціонування системи «КСКП двигуна і ТЗ» з використанням системних об'єктів енергетичного забезпечення ОТС. Для її функціонування розроблена і обґрунтована логічна організація управління процесом формування ОТС двигуна і ТЗ в умовах експлуатації, а також структура методик визначення способу забезпечення ОТС на різних етапах оцінювання щодо двигуна і ТЗ. Застосування системи дозволяє систематизувати можливі схеми КСКП за

морфологічними ознаками, проводити синтез і аналіз існуючих і перспективних схем теплової підготовки для різних конструкцій двигуна і ТЗ.

6. Розроблені математичні моделі елементів, підсистем і системи «ККП двигуна і ТЗ» та пакет прикладних програм для проведення розрахунків, які дозволяють визначати основні показники ефективності проведення теплової підготовки двигунів і ТЗ в залежності від комплектації системи, особливостей прогріву транспортних двигунів і умов експлуатації.

7. Розроблена методика дослідження показників паливної економічності та екологічних показників ТЗ з урахуванням прогріву в процесі руху. В основу математичної моделі покладені методики дослідження основних експлуатаційних показників ТЗ в режимах їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 і розроблені моделі системи «ККП двигуна і ТЗ». За допомогою цього отримані залежності температури прогріву, витрати палива, ефективності роботи каталітичного нейтралізатора СНВГ і екологічних показників ТЗ в процесі його руху в їздовому циклі. Застосування розробленої методики і математичної моделі дозволяє визначити показники паливної економічності та екологічних показників ТЗ з урахуванням прогріву в процесі руху як в умовах їздових циклів, так і в процесі руху на маршруті.

8. Для підтвердження розробленої концепції та проведення експериментальних випробувань двигуна і ТЗ, оснащеного КСКП, розроблено БПДК. Це дало можливість в межах покладених на нього завдань і функціональних можливостей, за допомогою ІПК в умовах ІТС, забезпечити інформаційний обмін між інтелектуальними елементами, у межах їх сукупностей, для здійснення дистанційного моніторингу, діагностування, можливості прогнозування параметрів технічного стану, контролю та управління забезпеченням ОТС двигуна і ТЗ.

9. Проведені експериментальні дослідження ефективності способів забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації. Для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації за допомогою КСКП експериментально визначені ТАМ для функціонування у складі відповідних ТА фазового переходу. Для використання в ТА підібраний ТАМ - поліетилен високої густини низького тиску ( $T_{\text{фп}} = 408 \text{ K}$ ); для використання в КТА, НОРТА, НМОТА – парафін Т-3 ( $T_{\text{фп}} = 318-325 \text{ K}$ ) – суміш високомолекулярних вуглеводнів  $C_{18}-C_{35}$ ; для використання в ТАСНВГ - гідрохінон  $C_6H_4(OH)_2$  ( $T_{\text{фп}} = 443 \text{ K}$ ) і їдкий натр  $NaOH$  ( $T_{\text{фп}} = 591 \text{ K}$ ), а також отримані їх основні фазоперехідні характеристики. Сконструйовані і виготовлені ТА фазового переходу для використання в КСКП транспортного двигуна і ТЗ. Застосування технології теплового акумулювання в процесах теплової підготовки двигунів і ТЗ є ефективним методом зниження термінових, покращення економічних і екологічних показників двигунів в процесах передпускового і післяпускового прогріву. На основі лабораторних досліджень на стаціонарних двигунах розмірності 6Ч 12/14 (К-461М1 (дизельне паливо) і К-159 М2 (природний газ)) підтверджено, що використання КСКП дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву ОР (до 23-44%), а час прогріву МО ДВЗ – до 20-44% у порівнянні зі ШС двигуна. При цьому сумарна витрата палива на прогрів двигуна зменшується на 69-80%, викиди шкідливих речовин у ВГ – на 85-97%.

10. У процесі експериментальних досліджень, використовуючи КСКП з фазоперехідним ТА у складі інтелектуальної СКП, під час передпускового і післяпускового прогріву ОР автомобільного двигуна G4GC (4Ч 8,2/9,35) в автомобілі KIA CEE'D 2.0 5MT2, досягнуто скорочення терміну нагрівання ОР на 17,8 - 68,4% і витрати палива на 19,5 - 56,25% в різних умовах експлуатації, при використанні різних варіантів здійснення прогріву ТЗ. Для двигуна ЗМЗ-66-06 (8Ч 9,2/8) вантажного автомобіля ГАЗ-66-11 - досягнуто скорочення терміну нагрівання ОР на 53 - 69% в різних умовах експлуатації, при використанні різних варіантів здійснення прогріву ТС. Найбільш раціональним з точки зору компромісу між часом прогріву транспортного двигуна від КСКП з ТА фазового переходу від температури навколишнього середовища до температури 85 °С (50 °С), відстані пробігу ТЗ для здійснення прогріву в русі і витратою палива є варіант прогріву двигуна в режимі х.х. при нерухомому ТЗ і з подальшим рухом ТЗ. Досягнення температури в точці Light-off (250 °С/ 523 К) найшвидше в процесі дослідження каталітичного нейтралізатора в системі випуску транспортного двигуна G4GC (4Ч 8,2/9,35) без КСКП легкового автомобіля відбувається для варіантів (3 і 4) прогріву ТЗ в русі, відповідно, за 12,3 і 7,3 хв. Для забезпечення виконання вимог щодо термінів прогріву різних зон салону ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2 і водія для ТЗ без КСКП можливо використовувати штатну СОД тільки до - 5 °С. При подальшому зниженні температур ОС необхідно використовувати КСКП для прогріву салону ТЗ.

11. Проведено оцінювання впливу характеристик складових систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом на забезпечення стабільності показників ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації. Забезпечення транспортної безпеки в частині вимог підтримання ОТС двигуна і ТЗ, нешкідливості впливу на ОС, транспортного комфорту, отримання можливості приймання навантаження двигуна відразу після його запуску, питомої ефективної витрати палива при здійсненні забезпечення ОТС двигунів і ТЗ у складі КСКП на основі ТА фазового переходу досягається використанням наступних варіантів комплектацій КСКП: ТА + КТА + НМОТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ °С}$ ) + НОРТА ( $T_{ТАМ} = 85\text{ °С}$ ) і (або) ТА фазового переходу.

12. Розроблено загальний метод формування і дослідження інтелектуальної СКП на основі КСКП з ТА фазового переходу для забезпечення ОТС двигунів і ТЗ в умовах експлуатації та узагальнені результати досліджень. Реалізація розробленої концепції і використання представленої системи дозволяють забезпечувати передпускову і післяпускову теплову підготовку транспортного двигуна і ТЗ, а також і тривале його зберігання при непрацюючому двигуні в різних кліматичних умовах експлуатації. Особливості комплектації і технології використання представленої інтелектуальної СКП вибираються в залежності від експлуатаційних потреб, кліматичних умов і призначення ТЗ.

13. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в ДП «ДержавтотрансНДІпроект», в ДП «ДерждорНДІ ім. М.П. Шульгіна», в Інституті Газу НАН України, в Департаменті локомотивного господарства ПАТ «Українська залізниця», в ПАО «Харківський тракторний завод», в ТОВ «Євродизель», у ВП «Запорізька АЕС» і в ХНАДУ МОН України.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры: монографія / [Комов П.Б., Комов А.Б., Грицук И. В., Прилепский Ю.В., Гушин В.М., Рыбалко Р.И., Коломиец В.В.]. – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2012. – 328 с.
2. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуру и процессы интеллектуальных транспортных систем: монографія / [Волков В. П., Матейчик В. П., Никонов О. Я., Комов П. Б., Грицук И. В., Волков Ю. В., Комов Е. А.]. - Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 400с.
3. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту: монографія / [Волков В.П., Матейчик В.П., Комов П.Б., Грицук І.В., Смешек М., Волкова Т.В., Цюман М.П.]. - Харків: Вид-во НТМТ, 2015. – 246 с.
4. Грицук І. В. Системний підхід до проектування і дослідження комплексних систем комбінованого прогріву ДВЗ / І. В. Грицук // Збірн. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ. – 2012. – Вип. №30. – С. 106–117.
5. Грицук И.В. Методика проектирования комплексных систем комбинированного прогрева ДВС / И.В. Грицук // Новітні комп'ютерні технології. – Кривий Ріг : ДНВЗ «Криворізький національний університет». – 2013. – Вип. XI. – С. 169–172. *Видання входить до міжнародної наукометричної бази даних (МНБД): Російський індекс наукового цитування (РІНЦ).*
6. Грицук І.В. Визначення параметрів системи прогріву транспортного двигуна з тепловим акумулятором фазового переходу на основі ексергетичного аналізу / І.В. Грицук // Зб. наук. пр. Державного економіко-технологічного ун-ту транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ. – 2014. – Вип.25. – С. 25–35.
7. Грицук І.В. Методика визначення параметрів контактного теплового акумулятора фазового переходу двигуна у складі комплексної системи комбінованого прогріву / І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – № 8 (1117). – С. 146–151. *Видання входить до МНБД: Ullrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*
8. Грицук І.В. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу / І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХПІ». – № 9 (1118). – 2015 – С. 76–81. *Видання входить до МНБД: Ullrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*
9. Грицук І.В. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором фазового переходу / І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХПІ». – № 9 (1118). – 2015 – С. 76–81. *Видання входить до МНБД: Ullrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*
10. Грицук І.В. Організація управління процесом формування оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – 2015. – Вип. 2 (32). – С. 71–80.
11. Грицук І.В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 70. – С. 23–32. *Видання входить до МНБД: Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського НАН України, eLIBRARY, CYBERLENINKA, ВИНИТИ, Index Copernicus.*

12. Шилін І.В. Автоматизація, комп'ютерне моделювання та технічна експертиза дорожніх умов системи «Автомобіль-Дорога» / І.В. Шилін, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, А.Г. Доля, М.В. Савенков, А.О. Завада, Ю.В. Белов // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – Донецьк: ДІАТ, 2008. – № 4. – С. 22–27.

13. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання процесів теплообміну в дослідженнях роботи двигунів внутрішнього згорання з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів / І.В. Грицук, Д.С. Адров, В.С. Вербовський // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2010. – Вип. 22. – С. 93–101.

14. Грицук І.В. Особливості визначення часу прогріву охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою регулювання температури / І.В. Грицук, А.М. Гушнін, Ю.В. Прилепський, З.І. Краснокутська, Д.С. Адров // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2010. – Вип. 24. – С. 131–143.

15. Адров Д.С. Особливості експериментальної стаціонарної моторної установки й методики для дослідження системи прискореного прогріву двигуна та утилізації теплоти його відпрацьованих газів тепловим акумулятором / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська, І.Ф. Рибалко, О.В. Вербовський, А.А. Михайлюк // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – Вип. 28. – 2011. – С. 179–189.

16. Грицук І.В. Алгоритм формування оперативної готовності двигуна внутрішнього згорання з системою прискореного прогріву й утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором / І.В. Грицук, Д.С. Адров, Ю.В. Прилепський, З.І. Краснокутська, В.С. Вербовський // Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. №29. – С. 143–156.

17. Грицук І.В. Математична модель розрахунку показників двигуна внутрішнього згорання з системою комбінованого прогріву при здійсненні пуску і прогріву / І.В. Грицук, Д.С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2012. – Випуск №36. – С. 68–72.

18. Адров Д.С. Математичні моделі функціонування теплового акумулятора фазового переходу системи комбінованого прогріву ДВЗ / Д.С. Адров, І.В. Грицук, В.А. Постников // Збірник наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Випуск №133. – С. 270–277.

19. 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. – Х.: НТУ “ХПИ”. – 2013. – №1. – С. 110–116. *Видання входить до МНБД: Ullrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

20. Матейчик В.П. Контроль роботи транспортного двигуна з використанням інформаційних технологій / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. – №2. – С. 27–31. *Видання входить до МНБД: Ullrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

21. 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. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2014. – №1. – С. 67–73. *Видання входить до МНБД: Ulrisch's Periodicals Directory (New Jersey, USA), GoogleScholar; WorldCat; DOAJ; DRIVER; BASE.*

22. 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, А.П. Комов, Д.М. Трифонов. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2014. – № 10 (1053). – С. 55–62. *Видання входить до МНБД: Ulrisch's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

23. Волков В.П. Формування оптимального температурного стану транспортного двигуна за рахунок комплексного комбінованого прогріву / В.П. Волков, І.В. Грицук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харьков: ХНАДУ, 2015. – Вып. 69. – С. 33–39. *Видання входить до МНБД: Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського НАН України, eLIBRARY, CYBERLENINKA, ВИНИТИ, Index Copernicus.*

24. Волков В.П. Методи визначення й оцінювання показників оптимального температурного стану двигуна внутрішнього згорання і транспортного засобу в умовах експлуатації / В.П. Волков, І.В. Грицук // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ. – 2015. – Вып. 37. – С. 13–21. *Видання входить до МНБД: БД «Україніка наукова», Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського НАН України, eLIBRARY, CYBERLENINKA, ВИНИТИ, DOAJ, Index Copernicus.*

25. Матейчик В.П. Особливості застосування методів визначення і оцінювання показників оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу в умовах експлуатації / В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2015. – Вип. 15. – Частина 1. – С. 108–118. *Видання входить до МНБД: Science Index, e-Library.*

26. Грицук І.В. Особливості формування комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.6. Seria:Transport. – Rzeszow. – 2015. – С. 71–78.

27. Gritsuk I. Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator / I. Gritsuk, Y. Gutarevych, V. Mateichyk, V. Volkov // SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204. Mode of access: SAE International / Scopus: <http://papers.sae.org/2016-01-0204/>. - Title from the screen.

28. Грицук І.В. Математична модель розрахунку показників двигуна з системою комбінованого прогріву / І.В. Грицук, Д.С. Адров, З.І. Краснокутська // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.3. Seria:Transport. - Rzeszow. – 2012. – С. 129-132.

29. Гутаревич Ю.Ф. Аналіз результатів дослідження паливної економічності і екологічних показників газового двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою передпускового прогріву, в процесі здійснення пуску і прогріву / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, О.С. Добровольський, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська // Journal «Science and Education – a New Dimension», Natural and Technical Science Vol. 8. 2013. Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe, 5-7.06.2013. – Budapest, 2013. – P. 122–128.

30. Грицук І.В. Особливості формування циклу передпускового розогріву ДВЗ при дослідженні системи комбінованого прогріву / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, Д.С. Адров, З.І. Краснокутська // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.4. Seria:Transport. – Rzeszow. – 2013. – С. 227–230.

31. 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.

32. Патент України на винахід № 103729 Україна, МПК (2013.01) F01P 3/22, B60H 1/04, B60K 11/00, «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Державний № ua 103729; заяв. 30.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 17с.: іл.

33. Патент України на винахід № 106525 Україна, МПК F01P 3/22 (2013.01), B60H 1/04 (2013.01), «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська, С.А. Єрощенко, В.С. Вербовський, Д.С. Адров, Л.О. Македонська, А.П. Комов, Є.О. Комов (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т, Харківський національний транспортний університет, Українська державна академія залізничного транспорту, Донецький інститут залізничного транспорту., Державний № ua 106525; заяв. 16.10.2012 заявка: a2012 11919, опубл. 10.09.2014, Бюл. №17. – 17 с.: іл.

34. Грицук І.В. Аналітичний метод визначення часу розгону в комп'ютерному моделюванні динамічної системи «автомобіль-дорога» / І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, М.В. Савенков // Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених CSE-2009 (14-16 травня 2009 г. Україна, Львів). – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – С. 203–205.

35. Грицук І.В. Комплексная система комбинированного прогрева ДВС: системный подход к исследованию / І.В. Грицук // Наука – образованию, производству, экономике.: междунар.науч.-техн.конф., В 4 томах. Том 2, Минск: БНТУ, 2013. – С. 72–73.

36. Грицук І.В. Системное формирование и анализ структуры комплексных систем комбинированного прогрева двигателей строительных и дорожных машин /

И.В. Грицук // Энергоощадні машини і технології. Тези доповіді Міжнародної науково-технічної конференції (28-30 травня 2013р.) – К.: КНУБА, 2013. – С. 87–88.

37. 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.

38. Грицук І.В. Комплексний комбінований прогрів транспортного двигуна: системний підхід до дослідження / І.В. Грицук // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: междунар.науч.-техн.конф., 14-16 квітня 2015 р.: сб. материалов. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 46–50.

39. Грицук И.В. Особенности мониторинга, диагностирования и прогнозирования параметров технического состояния транспортных средств в процессе эксплуатации в условиях ITS / И.В. Грицук // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: междунар.науч.-техн.конф., 24-25 вересня 2015 р.: сб. материалов. – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2015 – С. 54–55.

40. Грицук І.В. Особливості структури інформаційного програмного комплексу моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах ITS / І.В.Грицук // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті: междунар.науч.-техн.конф., 15–16 жовтня 2015 р.: сб. материалов. – Харків: ХНАДУ, 2015. – С. 123–125.

41. Волков В.П. Особливості структури вимірювального комплексу для дослідження процесу прогріву салону транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / В.П. Волков, І.В. Грицук, А.Л. Ушаков // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: междунар. науч.-техн. конф., 19-21 жовтня 2015 р. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 64–66.

42. Матейчик В.П. Особливості алгоритму дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна і транспортного засобу з урахуванням прогріву в процесі руху / В.П. Матейчик, М.П. Цюман, В.П. Волков, І.В. Грицук // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: междунар.науч.-техн.конф., 17–19 листопада 2015 р. – Харків : ХНАДУ, 2015. – С. 114–115.

### АНОТАЦІЯ

Грицук І.В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. - Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2016.

Дисертація присвячена розробці концепції забезпечення оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу в умовах експлуатації шляхом

застосування бортового комплексу комбінованого прогріву двигуна на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

Розроблена загальна методологія формування та оцінювання способів енергетичного забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації на основі інформаційної системи прогнозування їх технічного стану на основі бортового комплексу ITS і системи «Комплексний комбінований прогрів двигуна і транспортного засобу».

Виконано оцінку способів і засобів забезпечення транспортної безпеки в частині вимог підтримання оптимального температурного стану двигуна і комфорту транспортного засобу в умовах експлуатації.

*Ключові слова:* транспортний засіб, двигун, система, комбінований прогрів, оптимальний температурний стан, тепловий акумулятор, фазовий перехід, моніторинг, технічний параметр стану, системні методи, математичне моделювання.

### АННОТАЦИЯ

Грицук И.В. Концепция обеспечения оптимального температурного состояния двигателей и транспортных средств в условиях эксплуатации. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 - эксплуатация и ремонт средств транспорта. - Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена разработке концепции обеспечения оптимального температурного состояния двигателя и ТС в условиях эксплуатации путем применения бортового комплекса комбинированного прогрева двигателя на основе тепловых аккумуляторов (ТА) фазового перехода.

Разработана общая методология формирования и оценки способов энергетического обеспечения оптимального температурного состояния двигателей и ТС в условиях эксплуатации на основе информационной системы прогнозирования их технического состояния на основе бортового комплекса ITS и системы «Комплексный комбинированный прогрев двигателя и транспортного средства», в рамках которой:

- разработана общая методология формирования и оценки способов обеспечения оптимального температурного состояния (ОТС) двигателей и ТС в условиях эксплуатации с использованием комплексных систем комбинированного прогрева (КСКП) на основе тепловых аккумуляторов фазового перехода;

- разработана информационная система оценивания способов обеспечения ОТС двигателей и ТС с возможностями прогнозирования их технического состояния на основе бортового комплекса ITS в условиях эксплуатации;

- разработана общая методология энергетического обеспечения ОТС двигателя и ТС в условиях эксплуатации в составе системы «Комплексный комбинированный прогрев двигателя и ТС»;

- разработан общий метод формирования и исследования КСКП для обеспечения ОТС двигателей и ТС в условиях эксплуатации, базирующийся на использовании ТА фазового перехода.

Усовершенствованы методы обработки информации, получаемой от бортового информационного программно-диагностического комплекса (БИПДК) путем прогнозирования параметров технического состояния двигателя и ТС, и оценки характеристик составляющих систем прогрева в составе ТА с фазовым переходом на обеспечение стабильности показателей ОТС двигателей и ТС в условиях эксплуатации.

На основе созданных информационной модели и прогнозирующих алгоритмов и созданного информационно-программного комплекса «MonDiaFor»HADI-15» в пределах виртуального предприятия по эксплуатации автомобильного транспорта разработан БИПДК.

Для осуществления тепловой подготовки двигателей и ТС в условиях эксплуатации и использования в составляющих компонентах КСКП экспериментально подобраны ТАМ в ТА фазового перехода. Для использования в ТА подобран ТАМ - полиэтилен высокой плотности низкого давления ( $T_{\text{ФП}} = 408 \text{ K}$ ), для использования в КТА, НОЖТА, НММТА - парафин Т-3 ( $T_{\text{ФП}} = 318-325 \text{ K}$ ) - смесь высокомолекулярных углеводородов  $C_{18}-C_{35}$ , для использования в ТА СНОГ - гидрохинон  $C_6H_4(OH)_2$  ( $T_{\text{ФП}} = 443 \text{ K}$ ) и едкий натр NaOH ( $T_{\text{ФП}} = 591 \text{ K}$ ), а также получены их основные фазопереходные характеристики. Сконструированы и изготовлены ТА фазового перехода для использования в КСКП транспортного двигателя.

В процессе экспериментальных исследований, используя КСКП с фазопереходным ТА в ТС, при предпусковом и послепусковом прогревах охлаждающей жидкости (ОЖ) автомобильного двигателя G4GC (4Ч 8,2 / 9,35) в ТС KIA CEE'D 2.0 5MT2, достигнуто сокращение времени нагрева ОЖ на 17,8 - 68,4% и расхода топлива на 19,5 - 56,25% в различных условиях эксплуатации, при использовании различных вариантов осуществления прогрева ТС. Для двигателя ЗМЗ-66-06 (8Ч 9,2 / 8) грузового автомобиля ГАЗ-66-11 - достигнуто сокращение времени нагрева ОЖ на 53 - 69% в различных условиях эксплуатации, при использовании различных вариантов осуществления прогрева ТС. Наиболее рациональным с точки зрения компромисса между временем прогрева транспортного двигателя от КСКП с ТА фазового перехода от температуры окружающей среды до температуры  $85^\circ \text{C}$  ( $50^\circ \text{C}$ ), расстояния пробега ТС для осуществления прогрева в движении и расходом топлива является вариант прогрева двигателя в режиме х.х. при неподвижном ТС и с последующим движением ТС.

Исследование КН в системе выпуска транспортного двигателя 4Ч 8,2 / 9,35 без КСКП автомобиля KIA CEE'D 2.0 5MT2 с целью достижения температуры в точке Light-off ( $250^\circ \text{C}$  /  $523 \text{ K}$ ) показало, что лучшие варианты для достижения нужной температуры достигаются за 12,3 и 7,3 мин. Для обеспечения выполнения требований по срокам прогрева различных зон салона ТС KIA CEE'D 2.0 5MT2 и водителя для ТС без КСКП можно использовать штатную СОД только до  $-5^\circ \text{C}$ . При дальнейшем снижении температур ОС необходимо использовать КСКП для прогрева салона ТС.

Для обеспечения транспортной безопасности в части требований поддержания ОТС двигателя и ТС, безвредности воздействия на ОС, транспортного комфорта, получения возможности приема нагрузки двигателя сразу после его запуска,

удельного эффективного расхода топлива при осуществлении обеспечения ОТС двигателей и ТС в составе КСКП на основе ТА фазового перехода целесообразно использовать следующие варианты комплектации КСКП: ТА + КТА + НММТА ( $T_{\text{ТАМ}} = 85^{\circ}\text{C}$ ) + НОЖТА ( $T_{\text{ТАМ}} = 85^{\circ}\text{C}$ ) и (или) ТА фазового перехода.

*Ключевые слова:* транспортное средство, двигатель, система, комбинированный прогрев, оптимальный температурный состояние, тепловой аккумулятор, фазовый переход, мониторинг, технический параметр состояния, системные методы, математическое моделирование.

### ABSTRACT

Gritsuk I.V. The concept of providing optimal temperature condition of engines and vehicles in operation. - Manuscript.

Thesis for a Doctor Degree in Technical Sciences: specialty 05.22.20 – Operation and Repair of Vehicles. – Kharkov National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2016.

The thesis is devoted to developing the concept of providing optimal temperature condition of the engine and vehicle operating conditions through the use of onboard complex combination of warming up the engine based on thermal batteries phase transition.

Developed general methodology development and assessment methods to ensure optimal thermal energy state of engines and vehicles in operation on the basis of the information system of forecasting their technical condition on the basis of complex airborne systems and ITS «integrated combined heating and motor vehicle».

The estimation methods and means of transportation safety requirements in terms of maintaining optimal temperature state of the engine room and the vehicle operating conditions.

Keywords: vehicle, engine system, combined heating, optimum temperature condition, the thermal battery, phase transition, monitoring, technical parameters, system methods, mathematical modeling.

Підписано до друку 22.08.2016 р. Формат 60×90 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman Сут. Віддруковано на ризографі  
Ум.друк. арк. 1,9.  
Зам. № 410/16 Тираж 100 прим. Ціна договірна

### ВИДАВНИЦТВО

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61200, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.  
Тел./факс: (057)700-38-72; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

*Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04 2002 р.*