

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ПОГОРЛЕЦЬКИЙ ДМИТРО СЕРГІЙОВИЧ



УДК 656.13 : 621.43 : 681.518

**ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ
ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЕРЕОБЛАДНАНИХ
ДЛЯ РОБОТИ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Житомир – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

Грицук Ігор Валерійович

Херсонська державна морська академія,
професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,

Горобченко Олександр Миколайович

Державний університет інфраструктури та технологій,
професор кафедри тягового рухомого складу залізниць

кандидат технічних наук, доцент,

Добровольський Олександр Сергійович

Національний транспортний університет,
доцент кафедри двигунів і теплотехніки

Захист відбудеться «11» травня 2021 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 14.052.02 Державного університету «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, аудиторія 248.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, або за веб-адресою: https://ztu.edu.ua/ua/science/sp_academic_council-K1405202.php.

Автореферат розісланий “ 9 ” квітня 2021 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради К14.052.02
канд. техн. наук, доц.



О.А. Громовий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Паливна економічність і екологічні показники транспортних засобів (ТЗ) у період підготовки і здійснення пуску залежить від умов протікання робочого процесу, який безпосередньо пов'язаний з типом системи живлення, наявністю засобів теплової підготовки та умов експлуатації. Автомобільний парк України все більше використовує двигуни, переобладнані для роботи на газовому паливі. У процесах пуску транспортних двигунів, переобладнаних для роботи на газовому паливі, здійснюється пуск на бензині і після досягнення відповідної температури, система живлення переключаються з рідкого на газове паливо. Необхідною умовою для цього є забезпечення відповідного температурного стану транспортних двигунів при змінних температурах оточуючого середовища (ОС) в умовах експлуатації. Одним із дієвих способів наближення паливної економічності та екологічних показників ТЗ до рівня сучасних вимог в умовах експлуатації є забезпечення теплового стану двигуна у відповідних межах в період пуску і прийняття навантаження. Існують сучасні екологічно чисті системи, які дозволяють покращити тепловий стан двигуна в процесах пуску. Проте дуже важливо знайти можливі способи та рішення, які б покращили тепловий стан двигуна та зменшили час прогріву після пуску двигуна і, як наслідок, забезпечили покращення паливної економічності і екологічних показників. Перспективи поліпшення паливної економічності, енергетичних та екологічних показників ТЗ в умовах експлуатації, за умови встановлення на них екологічно чистих систем теплової підготовки (СТП), роблять цей шлях привабливим для власників, а зменшення шкідливого впливу на оточуюче середовище є необхідним для усього суспільства, що є актуальним на сьогодні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до «Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року», затвердженої указом Міністерства транспорту і зв'язку України від 08.01.2008 р., а також відповідно до плану НДР: ДР № 0119U101547 за темою «Розробка і дослідження теплового акумулятора фазового переходу на транспортному засобі працюючому на зрідженому газовому паливі» (2019–2020 р.); ДР № 0119U101542 за темою «Підвищення експлуатаційної надійності та паливної економічності елементів суднових енергетичних установок шляхом теоретичних і експериментальних досліджень ефективності застосування технологій ресурсо- та енергозбереження» (2019–2020 р.); ДР № 0119U101453 за темою «Розробка і дослідження інформаційної системи моніторингу транспортних засобів на основі бортового комплексу *ITS*» (2019–2020 р.); ДР № 0120U101481 за темою «Експериментальне дослідження транспортного засобу з системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу» (2020 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є поліпшення паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, шляхом встановлення теплового акумулятора в систему охолодження в умовах експлуатації.

Для досягнення мети в дисертації вирішуються такі задачі:

- виконати аналіз впливу способів і засобів забезпечення теплової підготовки двигунів, в тому числі, переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів на показники паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації, а також особливостей моніторингу та дистанційного контролю параметрів їх технічного стану;
- розробити метод дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу і засобів дистанційного моніторингу;
- удосконалити метод визначення і розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, що були оснащені тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації;
- проведення експериментальних досліджень транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу в умовах експлуатації;
- встановлення впливу системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, на показники паливної економічності та екологічних показників у процесах передпускового і післяпускового прогріву в умовах експлуатації;
- розробка рекомендацій щодо впровадження результатів дослідження системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі в умовах діючих підприємств.

Об'єктом дослідження є процеси зміни витрати палива і шкідливих викидів транспортних засобів під час експлуатації.

Предметом дослідження є методи оцінювання та способи підвищення паливної економічності і поліпшення екологічних показників транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки в умовах експлуатації.

Методи дослідження. Методологічною основою представленої дисертаційної роботи є використання положень системного аналізу в частині організації структури і логічної організації досліджень. Для моделювання системи теплової підготовки та інформаційної системи моніторингу у складі ТЗ використано методи морфологічного аналізу, теорії множин, математичної статистики, теорії інформації, теплообміну, робочих процесів теплових машин, енергетичного аналізу, теорії теплового акумулявання 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.

1. Вперше запропоновано підхід до визначення паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, у процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації, за допомогою коефіцієнтів паливовикористання дослідної системи теплової підготовки, що базується на одночасному використанні даних експериментальних досліджень і результатів розрахунку на математичній моделі.

2. Удосконалено метод розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, що були оснащені тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації.

3. Дістали подальшого розвитку методи формування системи дистанційного моніторингу параметрів технічного стану двигунів, переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів, що базуються на одночасному використанні штатних засобів отримання інформації і додаткових датчиків, встановлених в системах охолодження транспортного двигуна і теплової підготовки на основі теплового акумулятора.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці рекомендацій щодо застосування теплового акумулятора фазового переходу в системах теплової підготовки транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які дозволяють врахувати конструктивні і технологічні особливості транспортного двигуна, вимоги до процесів передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації.

Основні результати досліджень прийняті до використання і впровадження у ТОВ "Домінант Інвест" (м. Херсон), у ФОП Горелов С.А. "Спеціалізоване СТО по встановленню та обслуговуванню ГБО «BRC Gas Service Херсон» (м. Херсон), у КВКП «Реноме» (м. Херсон) при використанні системи теплової підготовки двигунів ТЗ та у навчальному процесі Херсонської державної морської академії при підготовці фахівців спеціальності 271 «Морський та річковий транспорт» під час викладання дисциплін "Технічна експлуатація суднових енергетичних установок та суднових технічних засобів", "Технічне обслуговування та ремонт суднових технічних засобів", "Організація технічної експлуатації суднових енергетичних установок" та підвищення кваліфікації фахівців у тренажерному центрі ХДМА.

Особистий внесок здобувача. Усі положення, винесені на захист, та результати їх застосування автором отримані особисто і приведені в наукових роботах [1-14]. Роботи [1-2] виконані самостійно. В наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у наступному. В [3] розкрито особливості дослідження теплоенергетичних характеристик теплоакumuлюючого матеріалу для здійснення комбінованого прогріву гібридного ТЗ. В [4] розкрито особливості вимірювального комплексу для дослідження роботи газомоторного ТЗ з системою теплової підготовки в умовах експлуатації. В [5] приведені особливості теплової підготовки

транспортного двигуна в умовах експлуатації. В [6] розкрито особливості моделювання та формування в експлуатації теплової підготовки двигуна ТЗ на основі теплових акумуляторів фазового переходу. В [7, 8] представлено особливості вимірювального комплексу для дослідження роботи газомоторного ТЗ, та особливості роботи системи теплової підготовки в умовах експлуатації. В [9] представлено особливості математичного моделювання. В [10] представлені дослідження роботи ТЗ, обладнаного газобалонною системою живлення 4-го покоління, в умовах експлуатації. В [11] представлено спосіб забезпечення теплової підготовки ТЗ працюючого на зрідженому газовому паливі. В [12] представлена тепла підготовка двигуна ТЗ, обладнаного системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу. В [13, 14] особливості і структура створення моторної установки з засобами моніторингу на базі ТЗ, обладнаного газобалонною системою живлення, в умовах експлуатації засобами ITS.

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи доповідались на наукових конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (м. Херсон, 2017 – 2019 рр.); Сучасний стан та проблеми двигунобудування (м. Миколаїв, 2018 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» (м. Харків, 2019 р.); Міжнародна науково-практична конференція (м. Харків, 2020 р.); Всеукраїнська науково-практична on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Перспективи розвитку машинобудівної інженерії та транспортних технологій» (м. Житомир, 2020 р.); Міжнародний конгрес двигунобудівників (м. Харків, 2020 р.); Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 2020 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 14 наукових працях: 7 публікацій у наукових фахових виданнях України та інших держав (включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 1 публікація у НМБ Scopus (Q2)); 1 монографія (розділ); 5 тез у збірниках доповідей наукових конференцій, отримано 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 145 сторінок, 54 рисунки та 13 таблиць, 6 додатків, список використаних джерел включає 142 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертаційної роботи, її актуальність, сформульовано мету і задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз особливостей впливу температур оточуючого середовища на паливну економічність та екологічні показники ТЗ у процесах прогріву. Підтверджено, що суттєвий вплив на показники технічного

стану і надійності ТЗ мають групи факторів, серед яких основними є природно-кліматичні. Виконано аналіз наукових досліджень факторів, що впливають на паливну економічність та шкідливі викиди автомобілів в умовах експлуатації. Для забезпечення високих показників паливної економічності та екологічних показників у процесах прогріву в умовах експлуатації були проаналізовані особливості способів забезпечення теплової підготовки двигунів ТЗ, переобладнаних для роботи на газовому паливі. Розглянуті основні методи і засоби теплової підготовки, що можуть ефективно забезпечувати покращення вказаних показників у період пуску ТЗ. Підтверджено, що в процесах пуску транспортних двигунів витрата палива і викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах зростають, а також збільшується час їх підготовки до виконання властивих технологічних функцій.

Проведено аналіз виконаних досліджень щодо проблем пуску транспортних двигунів, впливу застосування попереднього прогріву двигуна внутрішнього згорання перед пуском. Встановлено, що такий спосіб прогріву двигуна значно полегшує пуск, зменшує знос деталей, витрату палива на прогрів та викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Виконаний аналіз способів і методів моніторингу, дистанційного контролю параметрів їх технічного стану і керування забезпеченням теплової підготовки ТЗ в умовах експлуатації підтвердив значні невикористані резерви у вирішенні задачі підвищення паливної економічності та екологічних показників ТЗ у процесах прогріву. Розглянуті методи отримання інформації про характеристики ТЗ при використанні засобів електронної автоматичної ідентифікації і моніторингу. Використання засобів теплової підготовки дає можливість суттєво покращити експлуатаційні показники двигуна в періоди забезпечення пуску. Таким чином, для вирішення поставлених задач поліпшення паливної економічності і екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, доцільно проведення досліджень складових систем теплової підготовки, їх налаштувань та методів їх реалізації в залежності від умов експлуатації.

Другий розділ присвячений формуванню методики дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу. Для вирішення поставлених завдань у якості методологічної основи дослідження використовувався системний підхід. Відповідно до визначення, системність являла собою сукупність взаємопов'язаних елементів, що взаємодіють між собою для досягнення поставленої мети. Основним функціоналом дослідження, а саме – процесу поліпшення паливної економічності і екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки в умовах експлуатації (Q) є мінімальна витрата палива (G_T) і мінімальні шкідливі викиди (G_{Σ}) двигуна, які, виходячи з аналізу раніше виконаних робіт, залежить від температури навколишнього повітря ($t_{ноб}$), часу (t) і режиму теплової підготовки (k_t), температури двигуна ($t_{об}$). У цьому випадку запропонований функціонал можливо представити у наступному вигляді:

$$Q(G_T, G_\Sigma) = F(t_{ноб}, t, k_t, t_{об}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Для реалізації показаного функціоналу у відповідності до загальної схеми і структури методики наукового дослідження виконана систематизація можливих схем варіантів системи теплової підготовки для ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, з використанням методу морфологічного аналізу. Для цього були виділені основні функціональні елементи з їх складовими: ТЗ, переобладнаний для роботи на газовому паливі в умовах експлуатації і система теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі. Для 9-ти основних морфологічних ознак функціональних елементів системи складено перелік конкретних варіантів (від 3 до 6) їх технічної реалізації, від яких залежить досягнення цілей функціонування системи.

В дисертації розроблена принципова схема системи теплової підготовки на основі теплового акумулятора для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі (рис. 1), яка конструктивно входить до системи охолодження і системи випуску відпрацьованих газів транспортного двигуна, та виконує частину властивих їм функцій.

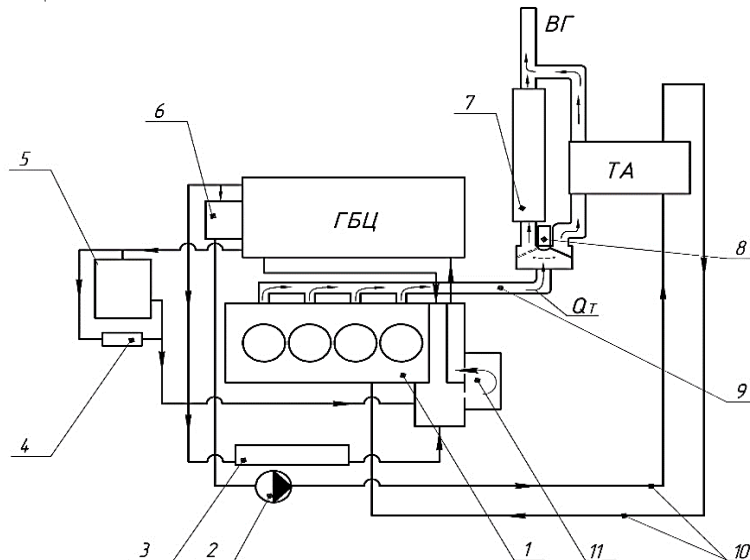


Рисунок 1 – Принципова схема системи теплової підготовки на основі теплового акумулятора для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі: 1 – транспортний двигун; 2 – додатковий електричний рідинний насос; 3 – радіатор двигуна; 4 – газовий редуктор; 5 – теплообмінник салону; 6 – дросель; 7 – глушник; 8 – розподільна коробка з регулювальною заслінкою; 9 – випускний колектор; 10 – патрубки системи охолодження; 11 – термостат; ГБЦ – головка блоку циліндрів двигуна; ТА – тепловий акумулятор (ТА)

Вирішення задачі дисертації в частині розробки методу дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу, базується на реалізації системної взаємодії трьох взаємопов'язаних її складових: інформаційної, аналітичної і енергетичної (рис. 2).

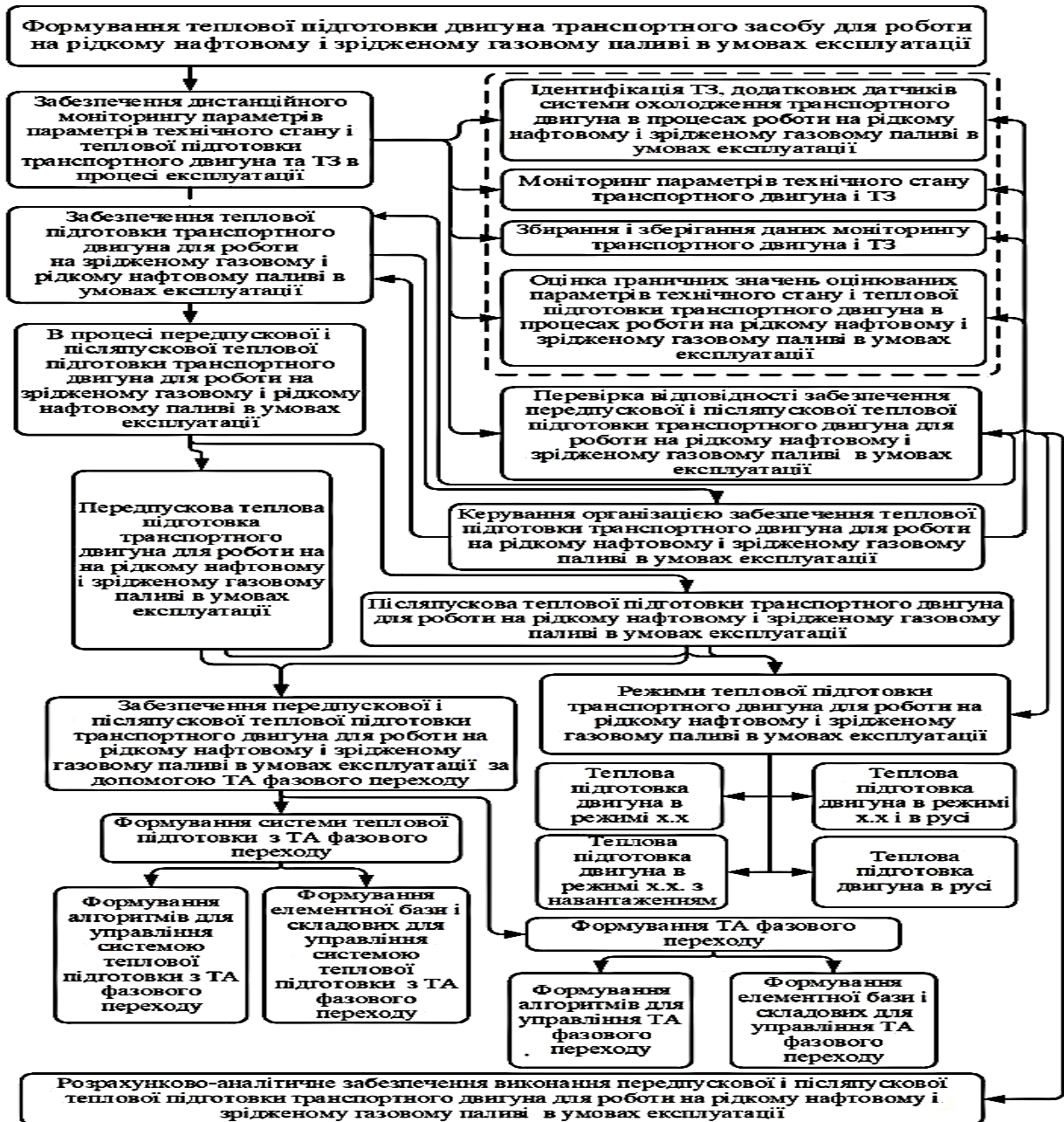


Рисунок 2 – Функціональна схема формування теплової підготовки двигуна ТЗ для роботи на рідкому нафтовому і зрідженому газовому паливі

Для функціонування енергетичної і аналітичної складових системи інформаційна складова передбачає забезпечення ідентифікації, моніторингу і діагностування технічного стану та забезпечення інформації про теплову підготовку транспортного двигуна від системи дистанційного моніторингу (СДМ) в умовах *ITS*. Енергетична складова забезпечує формування процесів теплової підготовки транспортного двигуна в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки за рахунок теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ) двигуна. Теплова енергія ВГ може утилізуватися і акумулюватися в ТА фазового переходу СТП. Аналітична складова системи призначена для розрахунково-аналітичного забезпечення (супроводу) виконання передпускової і післяпускової теплової підготовки транспортного двигуна в процесах роботи на рідкому нафтовому і зрідженому газовому паливі в умовах експлуатації.

Для реалізації розрахунково-аналітичного забезпечення системи теплової підготовки виконано удосконалення методу визначення і розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, що були оснащені тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації.

Особливість запропонованої системи полягає в розрахунково-аналітичному супроводі процесів теплової підготовки і експлуатації ТЗ, а в режимі теплової підготовки при зупиненому ТЗ – для оцінювання паливної економічності та екологічних показників ТЗ. У попередніх дослідженнях не використовувався такий підхід саме для ТЗ з двигунами, що переобладнані для роботи на газовому паливі. При чому вказане вище безперервне оцінювання відбувалось для процесів роботи транспортного двигуна як на рідкому нафтовому, так і зрідженому газовому паливі в умовах експлуатації.

Для використання за призначенням аналітичної складової системи виконаний вибір та удосконалення математичної моделі розрахунку показників паливної економічності та екологічних показників, переобладнаних для роботи на газовому паливі ТЗ, що були оснащені тепловим акумулятором фазового переходу, у процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації. За результатами експериментальних досліджень, які проводились за планом факторного експерименту, визначені коефіцієнти поліноміальних залежностей і величини показників роботи транспортного двигуна та системи теплової підготовки для навантажувальних режимів роботи в заданих точках.

Для визначення паливної економічності і екологічних показників роботи ТЗ з двигуном, переобладнаними для роботи на газовому паливі, з встановленим тепловим акумулятором в систему охолодження в умовах експлуатації при відтворенні процесів теплової підготовки була обрана модель системи «Двигун-нейтралізатор». Модель базується на визначенні режимів роботи двигуна при умовному русі автомобіля за їздовим циклом та відповідних цим режимам експериментально вимірних показниках роботи двигуна з наступним розрахунком за цими даними витрати палива і шкідливих викидів на окремих ділянках руху та за їздовий цикл в цілому. За основу була обрана математична модель, що представлена диференціальними і алгебраїчними рівняннями і розроблена в Національному транспортному університеті. Застосування запропонованого методу при використанні удосконаленої математичної моделі аналітичної частини системи потрібно для дослідження екологічних показників нерухомих ТЗ в процесах теплової підготовки.

Температура охолоджуючої рідини (ОР) системи охолодження транспортного двигуна, переобладнаними для роботи на газовому паливі, визначалась в залежності від температури оточуючого середовища та теплових потоків від стінок циліндра, камери згорання, теплообмінної частини системи теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу і роботи системи регулювання температури, $^{\circ}\text{C}$, відповідно, для різних видів палив: рідкого нафтового і зрідженого газового:

$$t_{COOL1} = (T_0 - 273) + \int_0^{\tau_{HPi}} \frac{(q_T(\tau)i + q_{TA1}(\tau))}{m_{COOL1} \cdot c_{COOL1}} d\tau, \quad (2)$$

де τ_{HPi} – час до повного прогріву двигуна на відповідному виді палива, с; $q_T(\tau)i$ – тепловий потік від стінки циліндру (на відповідному виді палива) та камери згоряння до охолоджуючої рідини системи охолодження, Вт; $q_{TA1}(\tau)$ – тепловий потік від теплообмінної частини теплового акумулятора системи теплової підготовки до охолоджуючої рідини, Вт; m_{COOL1} – маса охолоджуючої рідини, кг; c_{COOL1} – теплоємність охолоджуючої рідини, Дж/(кг·К).

Враховуючи змінний характер процесів теплової підготовки транспортного двигуна в процесах роботи на рідкому і газовому паливі при різних режимах прогріву в умовах експлуатації для оцінювання паливовикористання було запропоновано відповідні коефіцієнти паливовикористання для рідкого (бензин) $K_{G_{TP.П}}$, газового палива (зріджений нафтовий газ) $K_{G_{TG.П}}$ без СТП і для рідкого палива після використання СТП у складі ТА $K_{G_{TP.П}TA}$:

$$K_{G_{TP.П}} = \frac{G_{T.ПП}(t_{OC} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (3)$$

$$K_{G_{TG.П}} = \frac{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C}) - G_{РП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (4)$$

$$K_{G_{TP.П}TA} = \frac{G_{РП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (5)$$

де $G_{T.ПП}(t_{OC} - t_{П^{\circ}C})$ - витрата рідкого палива в заданих межах температури оточуючого середовища до переключення системи живлення ТЗ на газове паливо; $G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})$ - сумарна витрата палива в заданих межах температури оточуючого середовища; $G_{РП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})$ - витрата рідкого палива від значення температури охолоджуючої рідини 50 °С до переключення системи живлення ТЗ на газове паливо.

У третьому розділі представлені результати експериментальних досліджень передпускової і післяпускової теплової підготовки ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2 з двигуном G4GC (4FS 8.2 / 9.35), переобладнаними для роботи на газовому паливі і встановленим тепловим акумулятором в систему охолодження.

Для забезпечення теплової підготовки ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки на основі ТА фазового переходу, розроблено цикл теплової підготовки, а саме передпускового і післяпускового прогрівання. Застосування СТП за розробленим циклом теплової підготовки дозволяє істотно скоротити час прогріву двигуна до робочої температури, зменшити витрати рідкого і газового палива на прогрів та суттєво зменшити викиди шкідливих речовин у ВГ під час теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації.

Розроблено схему і конструкцію СТП на основі ТА фазового переходу (патенти України на корисну модель № u 2018 00815 і № u 2019 03063). Для

використання в СТП транспортного двигуна був виготовлений експериментальний зразок теплового акумулятора фазового переходу на основі теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) - поліетилен високої густини низького тиску ($T_{\text{фп}} = 408 \text{ K}$).

Для проведення експериментальних досліджень ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, який оснащено системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу було здійснено в умовах експлуатації: дослідження і оцінювання отриманих результатів; реєстрація параметрів технічного стану двигуна; системи теплової підготовки і ТЗ засобами дистанційного моніторингу в умовах *ITS*. Для виконання дослідження був розроблений бортовий програмно-діагностичний комплекс на основі системи дистанційного моніторингу у складі OBD – сканера і додаткового трекера з комплектом датчиків температури. Розроблена схема інформаційного обміну між елементами бортового комплексу для дистанційного дослідження процесів теплової підготовки двигуна і ТЗ. Розроблено моделі бази даних інформаційної системи дистанційного моніторингу параметрів ТЗ з двигуном, оснащених СТП у складі двох підсистем, що забезпечують отримання інформації від основних інформаційних блоків ТЗ, двигуна з СТП, а саме групи блоків збирання і передачі інформації від ТЗ, двигуна та про умови експлуатації ТЗ (CAN-шина) ($M_{\text{np.o.1}}$) і блоків збирання та передачі інформації від СТП, ТЗ та про умови експлуатації ТЗ і пристроїв моніторингу (трекер) ($M_{\text{np.o.2}}$). Особливість запропонованої системи полягає в тому, що обидві підсистеми створюють спільне інформаційне поле системи моніторингу параметрів ТЗ з СТП але діють окремо одна від одної, виходячи з особливостей задач, що вони виконують. Модель предметної області показана у вигляді наступних множин для вказаних підсистем: 1 – двигун ТЗ, безпосередньо ТЗ і умови експлуатації (УЕ) ТЗ та 2 – СТП, ТЗ, пристрої моніторингу (ПМ) і УЕ ТЗ, а саме:

$$M_{\text{np.o.}} = \begin{cases} M_{\text{np.o.1}} = \langle O_1, V_{\text{вх.1}}, V_{\text{вих.1}}, F_1, H_1, P_1, R_1 \rangle, & \text{двигун, ТЗ і УЕ} \\ M_{\text{np.o.2}} = \langle O_2, V_{\text{вх.2}}, V_{\text{вих.2}}, F_2, H_2, P_2, R_2 \rangle, & \text{СТП, ТЗ, ПМ і УЕ} \end{cases} \quad (6)$$

де, O_1 і O_2 - об'єкти автоматизації складових систем моніторингу; V_1 і V_2 - інформаційні елементи (вхідні $V_{\text{вх.}}$ і вихідні $V_{\text{вих.}}$ дані) складових систем моніторингу; F_1 і F_2 - функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів складових; H_1 і H_2 - завдання обробки даних системи моніторингу параметрів складових; P_1 і P_2 - множина значень, що характеризує кількість і склад персоналу, який забезпечує роботу з системою моніторингу параметрів; R_1 і R_2 - множина відносин (взаємозв'язків) між компонентами $M_{\text{np.o.1}}$ і $M_{\text{np.o.2}}$ предметних областей відповідно.

Дослідження на різних етапах виконані відповідно до методик як загальноприйнятих, так і спеціальних, розроблених автором. Дослідження процесів теплової підготовки двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, з встановленим тепловим акумулятором у систему охолодження, в різних умовах експлуатації за різними варіантами здійснення прогріву ТЗ проводили в лабораторіях ХДМА (м. Херсон) і у самому м. Херсон. Реєструвались: час і температури теплової підготовки, витрати палива, відстані,

необхідні для прогріву двигуна ТЗ. Дорожня складова при дослідженнях процесів теплової підготовки з різними типами системи живлення проводились при русі (під час руху) в загальному транспортному потоці, на вимірювальних ділянках дороги м. Херсон та на відповідних маршрутах. Відстані ділянок, витрати палив, середня швидкість, технічні параметри станів ТЗ і час теплової підготовки за допомогою СТП реєструвались засобами моніторингу в умовах *ITS*. Випробування проводились за різними варіантами здійснення прогріву ТЗ в різних умовах експлуатації і включали по 10 фіксацій кожного варіанту.

Стендові випробування дослідного ТЗ проводились на моделюючому роликовому гальмівному стенді Brekon 131-4S (Німеччина, Фірма "Hofmann") з можливістю імітації режимів Європейського міського їздового циклу в лабораторії випробувань та діагностики випробувального центру колісних ТЗ ДП "ДержавтотрансНДІпроект" (м. Київ).

Під час випробування за Європейським їздовим циклом (New European Driving Cycle (NEDC)) з допомогою спеціального обладнання підтримувався необхідний режим руху і контролювались температурні параметри роботи двигуна і автомобіля в цілому, кількість та склад викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (газоаналітична система MEXA-7400DEGR (Японія, Horiba Ltd), газоаналітичний вимірювальний комплекс Bosch з системою аналізу відпрацьованих газів ESA 3.250 тощо)), крім того гравіметричним витратоміром палива AVL, об'ємним витратоміром палива ONO SOKKI DF-311, масовим витратоміром газового палива коріолісового типу FlexCOR CMF-EQ0B1AWCJ2100A вимірювались миттєві витрати палива.

При визначенні динамічних показників автомобіля з допомогою бортового вимірювального комплексу ББК-1 і СТП фіксувались миттєві швидкість автомобіля та витрата палива в процесі розгону автомобіля від 0 до 120 км/год на прямій передачі при повністю відкритому дроселі. З використанням отриманих даних визначався час розгону. В розділі наведені характеристики приладів та обладнання, які використовувались під час проведення експериментальних досліджень. Підготовка об'єктів дослідження, приладів та обладнання проводилась згідно з діючими стандартами та керівними документами.

Четвертий розділ присвячується обробці та аналізу результатів експериментальних досліджень і розрахункам на математичних моделях.

Метою експериментальних досліджень в роботі є визначення дослідних даних для перевірки адекватності та побудови математичних моделей ТЗ з двигуном, переобладнанням для роботи на газовому паливі, які отримані після удосконалення їх конструкції, оснащенням ТЗ СТП на основі ТА фазового переходу і засобами дистанційного моніторингу в умовах *ITS*.

Для визначення впливу конструктивних особливостей окремих елементів системи живлення на газовому паливі на процеси теплової підготовки транспортного двигуна систему охолодження було оснащено комплектом датчиків температури і засобами дистанційного моніторингу. Результатом дослідження було отримання експериментальних даних щодо термінів (часу) теплової підготовки і витрати палива переобладнаного двигуна залежності від розташування газового редуктора і ТА фазового переходу в залежності від режимів прогріву і умов експлуатації (рис. 3). Встановлено, що місце розташування газового редуктора і ТА фазового переходу суттєво впливають на

процеси забезпечення теплової підготовки транспортного двигуна, переобладнаним для роботи на газовому паливі в умовах експлуатації.

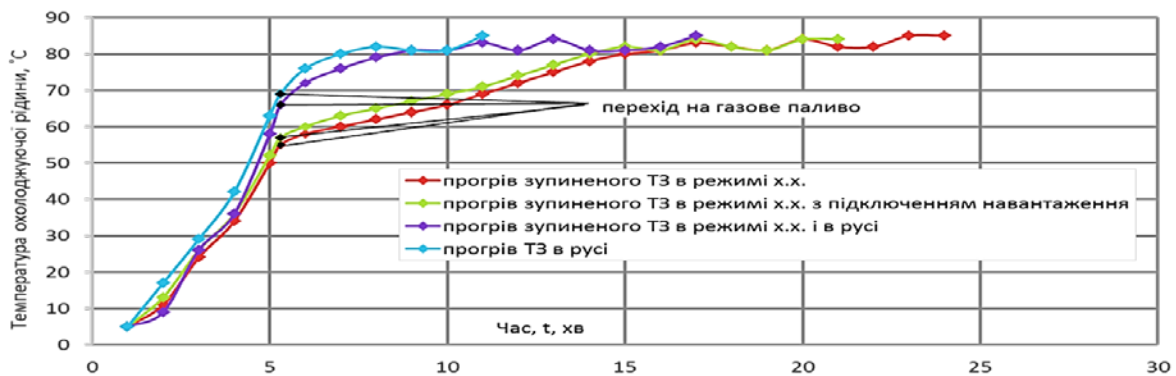


Рисунок 3 - Результати вимірювання часу прогріву транспортного двигуна, переобладнаного для роботи на газовому паливі, що характеризують процеси теплової підготовки в умовах експлуатації при $t_{oc} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$

У процесі експериментальних досліджень в ТЗ під час передпускового і післяпускового прогріву транспортного двигуна G4GC (4Ч 8,2/9,35) в ТЗ КІА СЕЕ'D 2.0 5MT2, використовуючи СТП з ТА фазового переходу, досягнуто суттєве скорочення терміну нагрівання ОР і витрати палива в різних умовах експлуатації, при використанні варіантів здійснення прогріву ТЗ (рис. 3, табл. 1). Наприклад, для температури -20°C зменшення часу прогріву - з 46 хв. склало 21 хв., а витрата палива - з 1,91кг. на 0,71 кг.

Таблиця 1 - Порівняння середніх значень параметрів, що характеризують економію часу та витрату палива на теплову підготовку двигуна ТЗ при різних варіантах здійснення прогріву ОР та різних температурах ОС

Варіант прогріву	Економія	-20 °C до 85 °C		-10 °C до 85 °C		-5 °C до 85 °C		0°C до 85 °C		5 °C до 85 °C		10 °C до 85 °C		20 °C до 85 °C	
		хв	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
1	час	хв	20	12	7	5,71	4,42	3,1	1,9						
		%	32,2	26,6	25,9	23,0	19,6	15,1	10,2						
	паливо	кг	0,572	0,402	0,208	0,200	0,192	0,170	0,156						
		%	49,3	47,1	42,4	37,5	33,3	33,1	32						
2	час	хв	21	13	8	6,1	4,20	2,8	1,6						
		%	31,3	25	25,8	23,6	20,4	16	10,7						
	паливо	кг	0,66	0,409	0,246	0,223	0,201	0,184	0,165						
		%	46,8	37,6	35,7	34,9	34,1	33,7	33,1						
3	час	хв	25	15	10	6,79	3,59	3,1	2,2						
		%	54,3	50	52,6	49,9	43,7	47	43,1						
	паливо	кг	1,20	0,646	0,313	0,312	0,312	0,220	0,172						
		%	62,8	54,8	41,9	49,2	59	52,3	50						
4	час	хв	22	13	8	5,7	3,41	2,7	1,4						
		%	50	44,8	44,4	43,0	40,2	38,5	29,10						
	паливо	кг	1,06	0,660	0,321	0,343	0,365	0,319	0,219						
		%	60,2	57,8	45,2	51,8	59	58,1	52						

У процесі експериментальних досліджень у випробувальному центрі ДП «ДержавторансНДПроект» були отримані характеристики зміни основних технічних параметрів ТЗ, витрати палива і викидів шкідливих речовин в їздовому циклі тощо. Отримані експериментальні навантажувальні характеристики, для прикладу, основні екологічні показники були описані поліноміальними залежностями:

$$CO = (b_0 \cdot n_d \cdot \eta_v^2 + b_1 \cdot \eta_v^3 - b_2 \cdot \eta_v^2 + b_3 \cdot \eta_v - b_4 \cdot n_d \cdot \eta_v + b_5 \cdot n_d^2 \cdot \eta_v - ; \quad (7)$$

$$- b_6 + b_7 \cdot \eta_d - b_8 \cdot \eta_v^2 + b_9 \cdot \eta_v^3)(b_{10} - b_{11} \cdot \alpha)$$

$$CH = (c_0 \cdot n_d \cdot \eta_v^2 + c_1 \cdot \eta_v^3 - c_2 \cdot \eta_v^2 + c_3 \cdot \eta_v - c_4 \cdot n_d \cdot \eta_v + c_5 \cdot n_d^2 \cdot \eta_v - ; \quad (8)$$

$$- c_6 + c_7 \cdot \eta_d - c_8 \cdot \eta_v^2 + c_9 \cdot \eta_v^3)(c_{10} - c_{11} \cdot \alpha)$$

$$NO_x = (a_0 \cdot n_d \cdot \eta_v^2 + a_1 \cdot \eta_v^3 + a_2 \cdot \eta_v^2 + a_3 \cdot \eta_v - a_4 \cdot n_d \cdot \eta_v + a_5 \cdot n_d^2 \cdot \eta_v - ; \quad (9)$$

$$- a_6 + a_7 \cdot \eta_d - a_8 \cdot \eta_v^2 + a_9 \cdot \eta_v^3)(a_{10} \cdot a - \alpha_{11})$$

$$CO_2 = (d_0 \cdot n_d \cdot \eta_v^2 + d_1 \cdot \eta_v^3 - d_2 \cdot \eta_v^2 + d_3 \cdot \eta_v + d_4 \cdot n_d \cdot \eta_v + d_5 \cdot n_d^2 \cdot \eta_v + , \quad (10)$$

$$+ d_6 - d_7 \cdot \eta_d - d_8 \cdot \eta_v^2 + d_9 \cdot \eta_v^3)$$

де $a_0, \dots, a_{11}, b_0, \dots, b_{11}, c_0, \dots, c_{11}, d_0, \dots, d_{11}$ – поліноміальні коефіцієнти.

Перевірка адекватності отриманих математичних залежностей, які описують паливо-економічні та екологічні показники ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, проводилась з використанням критерію Фішера та середньоквадратичного відхилення і показала, що отримані залежності з достатньою точністю описують двигун як споживача палива і повітря та джерело шкідливих викидів.

Таблиця 2 - Значення коефіцієнтів поліноміальних залежностей для навантажувальних режимів роботи ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі

Параметр	Коефіцієнти поліноміальних залежностей											
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}
NO_x бензин	0.306	$2.347 \cdot 10^3$	$7.27 \cdot 10^3$	$3.10 \cdot 10^3$	3.705	$6.76 \cdot 10^{-4}$	$1.571 \cdot 10^3$	1.538	$3.604 \cdot 10^{-4}$	$1.601 \cdot 10^{-8}$	3.85	2.85
NO_x газ	0.753	121.537	274.742	$5.97 \cdot 10^3$	3.029	$4.68 \cdot 10^{-4}$	$2.521 \cdot 10^3$	2.264	$6.96 \cdot 10^{-4}$	$6.50 \cdot 10^{-8}$	3.85	2.85
Параметр	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}
CO бензин	$-3.37 \cdot 10^{-3}$	14.232	8.264	1.247	$8.71 \cdot 10^{-5}$	$6.5 \cdot 10^{-7}$	1.435	$3.93 \cdot 10^{-3}$	$1.683 \cdot 10^{-6}$	$1.86 \cdot 10^{-10}$	21	20
CO газ	$-2.42 \cdot 10^{-4}$	5.214	5.981	4.917	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$6.07 \cdot 10^{-7}$	1.427	$1.89 \cdot 10^{-3}$	$5.07 \cdot 10^{-7}$	$2.55 \cdot 10^{-11}$	21	20
Параметр	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}
CH бензин	-1.008	$8.78 \cdot 10^{-3}$	$8.165 \cdot 10^3$	$2.45 \cdot 10^3$	0.699	$3.73 \cdot 10^{-4}$	$1.613 \cdot 10^3$	2.935	$1.071 \cdot 10^{-3}$	$1.041 \cdot 10^{-7}$	5	4
CH газ	-0.188	941.13	65.9	310.231	1.598	$4.23 \cdot 10^{-4}$	$1.661 \cdot 10^3$	3.566	$1.309 \cdot 10^{-3}$	$1.351 \cdot 10^{-7}$	5	4
Параметр	d_0	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}
CO_2 бензин	$-1.62 \cdot 10^{-3}$	21.71	24.687	8.691	$2.464 \cdot 10^{-3}$	$1.71 \cdot 10^{-7}$	19.479	$8.657 \cdot 10^{-3}$	$2.489 \cdot 10^{-6}$	$2.449 \cdot 10^{-10}$	-	-
CO_2 газ	$-1.57 \cdot 10^{-3}$	19.863	26.298	6.224	$5.773 \cdot 10^{-3}$	$7.48 \cdot 10^{-7}$	20.111	0.011	$3.372 \cdot 10^{-6}$	$3.241 \cdot 10^{-10}$	-	-

Отримані залежності були включені в математичну модель руху автомобіля за режимами Європейського міського їздового циклу. У процесі розрахунків на математичних моделях отримані показники роботи двигуна і автомобіля в кожній точці циклу. Для прикладу на рис. 4 показані фрагменти змодельованого їздового циклу автомобіля KIA CEE'D 2.0 5MT2 з двигуном G4GC (4FS 8.2 / 9.35), переобладнаними для роботи на газовому паливі і встановленим тепловим акумулятором у систему охолодження.

В результаті виконаного розрахунково-аналітичного дослідження встановлено, що в умовах експлуатації з температурою ОС $-20 \dots +20$ °C за рахунок використання СПП з ТА в двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, у русі, час його прогрівання скорочується на 29,1 - 50 %, витрата рідкого

палива знижується на 1,4 – 10 % (рис. 5), загальна витрата газового палива знижується на 4,1 – 9,8 %, концентрація оксидів вуглецю (CO) у відпрацьованих газах в кілька разів менше у порівнянні з роботою двигуна ТЗ на рідкому паливі, а саме 12 - 52,74 %, викиди вуглеводнів (CH) – знижуються на 12,5 – 33,3 %, при незначному збільшенні викидів оксидів азоту (NO_x) - 1,9 – 9,56 %.

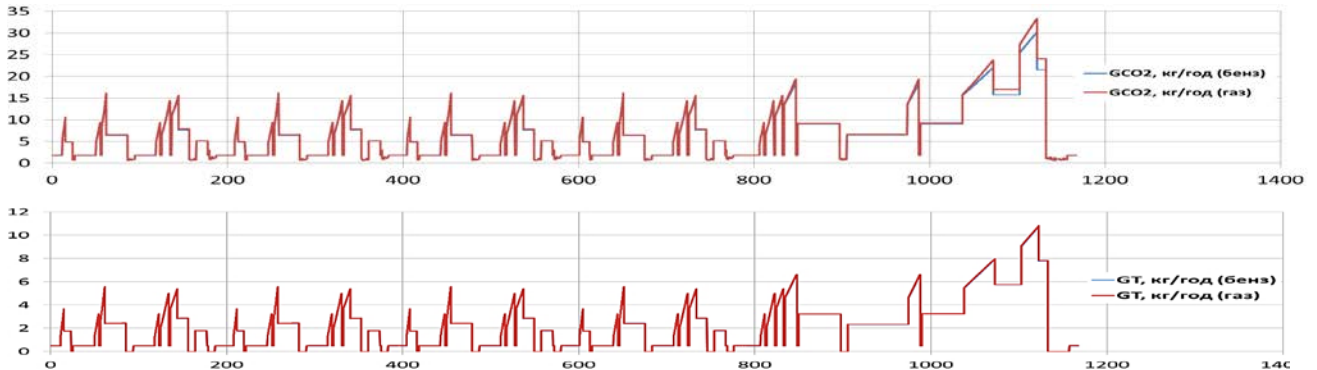


Рисунок 4 – Результати розрахункового дослідження за змодельованим Європейським міським їздовим циклом дослідного ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, відповідно для значень: масових викидів CO_2 після каталітичного нейтралізатора ТЗ кг/год і годинної витрати палива, кг/год.

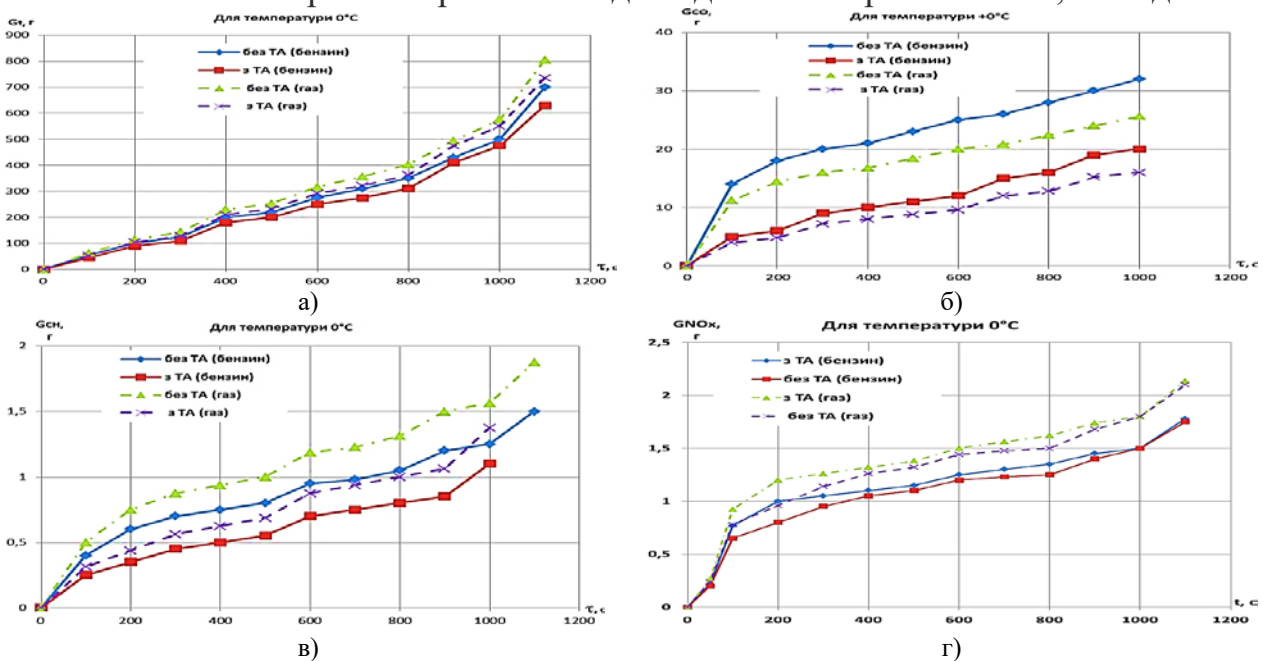


Рисунок 5 – Розрахункові залежності при здійсненні прогріву двигуна ТЗ в русі в режимах їздового циклу: сумарна витрата палива, г (а); сумарні викиди CO , г (б); сумарні викиди C_nH_m , г (в); сумарні викиди NO_x , г (г)

В цілому, в результаті реалізації розробленого методу дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, і оснащення його системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу, отримали наступні результати при температурах ОС - 20...20 °С відповідно: зниження загального часу палива на 32 ... 62,8 %; зниження викидів окремих шкідливих речовин при роботі на рідкому і газовому паливі відповідно - 11,9 ... 43,4 % і 12 ... 52,47 % при незначному зростанні викидів оксидів азоту. Коефіцієнти паливовикористання

дослідної СТП змінюються в межах: $K_{G_T P.П} = 0,32-0,628$; $K_{G_T Г.П} = 0,371-0,679$; $K_{G_T P.П TA} = 0,031-0,275$, що підтверджує високу ефективність застосування СТП з ТА в ТЗ в змінних умовах експлуатації.

За результатами виконаних досліджень в частині визначення впливу різних параметрів на показники роботи транспортного двигуна були розроблені практичні рекомендації щодо його переобладнання для роботи на газовому паливі, а також встановлення додаткових засобів теплової підготовки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача поліпшення паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, шляхом встановлення теплового акумулятора фазового переходу в систему охолодження в умовах експлуатації.

Результати проведених досліджень дозволили сформулювати основні теоретичні та науково-практичні висновки:

1. Аналіз впливу способів і засобів забезпечення теплової підготовки двигунів, в тому числі, переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів, показав, що вони мають низку недоліків і не гарантують вирішення загальних проблем в повному обсязі. Вирішення означеної проблеми в цілому, суттєво впливає на показники паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації, особливо в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки. Виконаний аналіз способів і методів моніторингу, дистанційного контролю параметрів їх технічного стану і керування забезпеченням теплової підготовки ТЗ в умовах експлуатації підтвердив наявність значних невикористаних резервів підвищення паливної економічності та екологічних показників ТЗ в процесах прогріву.

2. Розроблено метод дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу, в основу якого покладено реалізацію системної взаємодії трьох взаємопов'язаних її складових: інформаційної, аналітичної і енергетичної. Виконана систематизація можливих схем варіантів системи теплової підготовки з використанням методу морфологічного аналізу.

3. Розроблена схема та інформаційна система оцінювання способів забезпечення теплової підготовки ТЗ в умовах експлуатації за допомогою СТП на основі бортового комплексу *ITS*. Розроблено моделі бази даних інформаційної системи дистанційного моніторингу параметрів ТЗ з двигуном, оснащених СТП. Особливість запропонованої системи полягає в тому, що підсистеми створюють спільне інформаційне поле системи моніторингу параметрів ТЗ з СТП, але діють окремо одна від одної, виходячи з особливостей задач, що вони виконують.

4. Удосконалено метод визначення і розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, що були оснащені тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки на основі обраної моделі системи «Двигун-нейтралізатор». Удосконалена модель базується

на визначенні режимів роботи двигуна при умовному русі автомобіля за їздовим циклом та відповідних цим режимам експериментально вимірних показниках роботи двигуна ТЗ з наступним розрахунком за цими даними витрати палива і шкідливих викидів на окремих ділянках руху та за їздовий цикл в цілому.

5. Для забезпечення теплової підготовки ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки на основі ТА фазового переходу, розроблено цикл теплової підготовки в умовах експлуатації. Експериментально встановлено, що місце розташування газового редуктора і ТА фазового переходу суттєво впливають на процеси забезпечення теплової підготовки транспортного двигуна, переобладнаним для роботи на газовому паливі в умовах експлуатації. Під час передпускового і післяпускового прогріву двигуна ТЗ, використовуючи СТП з ТА фазового переходу, досягнуто зменшення часу прогріву з 46 до 21 хв. для -20°C і витрата палива – з 1,91 на 0,71 кг. Отримані характеристики зміни основних технічних параметрів ТЗ за допомогою досліджень на моделюючому роликівому гальмівному стенді з можливістю імітації режимів Європейського міського їздового циклу.

6. Встановлено вплив СТП з ТА фазового переходу ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, на показники паливної економічності та екологічні показники в процесах передпускового і післяпускового прогріву. В результаті реалізації розробленого методу дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ отримали наступні результати: при температурах ОС $-20^{\circ}\text{C} \dots 20^{\circ}\text{C}$ має місце зниження загального часу теплової підготовки двигуна ТЗ на в 10,2 % – 54,3 %; зниження загальної витрати палива на 32 % – 62,8 %; зниження викидів окремих шкідливих речовин при роботі на рідкому і газовому паливі відповідно - 11,9 % – 43,4 % і 12 % – 52,47 % при незначному зростанні викидів оксидів азоту. Коефіцієнти паливовикористання дослідної СТП змінюються в межах: $K_{G_{TP.П}} = 0,32-0,628$; $K_{G_{TG.П}} = 0,371-0,679$; $K_{G_{TP.ПТА}} = 0,031-0,275$, що підтверджує високу ефективність застосування СТП з ТА в ТЗ в змінних умовах експлуатації.

7. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання і впровадження у ФОП Горелов С.А., ТОВ "Домінант Інвест", ПВКП «Реноме» і впроваджені в начальний процес ХДМА МОН України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Погорлецький Д.С. Особливості застосування систем теплової підготовки для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Херсон: ХДМА, 2017. № 2 (17). С. 181 – 192. Видання входить до МНБД: Crossref, Google Scholar, eLibrary, Researchbib, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

2. Погорлецький Д.С. Організація застосування засобів полегшення пуску двигунів транспортних засобів, працюючих на зрідженому газовому паливі. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» (за галузями знань «Технічні науки»). – Луцьк: НТУ, 2018. № 62. С. 194 – 198. Видання входить до МНБД: Crossref, Google Scholar, eLibrary, DOAJ, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

3. Волков В.П., Грицук І.В., Володарець М.В., Погорлецький Д.С., Симоненко Р.В. Особливості дослідження теплоенергетичних характеристик теплоакумулюючого матеріалу для здійснення комбінованого прогріву гібридного транспортного засобу. Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2019. Випуск № 65. С. 39-46. Видання входить до МНБД: Crossref, Google Scholar, eLibrary, DOAJ, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

4. Волков В.П., Волкова Т.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Аппазов Е.С., Володарець М.В., Саравас В.Є. Особливості вимірювального комплексу для дослідження роботи газомоторного транспортного засобу з системою теплової підготовки в умовах експлуатації. Науковий журнал: Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - №13. Харків, 2018. С. 121-131. Видання входить до МНБД: Google Scholar, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

5. Полівінчук А.П., Матейчик В.П., Цюман М.П., Володарець М.В., Погорлецький Д.С. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2020. – Вип. 19, т. 4. С 286-297. Видання входить до МНБД: Crossref, Google Scholar, eLibrary, AGRIS, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

6. Грицук І.В., Володарець М.В., Погорлецький Д.С., Курносенко Д.В., Левченко Д.І. Особливості моделювання та формування в експлуатації теплової підготовки двигуна транспортного засобу на основі теплових акумуляторів фазового переходу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, Випуск 18. Том 2., Наукове фахове видання Технічні науки. Підписано до друку 13.02.2019, с. 295-306. Видання входить до МНБД: Google Scholar, eLibrary, НБУ ім. В. І. Вернадського.

7. Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., "Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems)," SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031. МНБД (Scopus (Q2)).

8. Погорлецький Д.С. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS. Монографія /за наук. Ред. проф. Грицука І.В. Херсон: ХДМА, 2019. - 442 с. ISBN: 978-966-2245-53-0. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Погорлецький Д.С. Застосування систем теплової підготовки для пуску двигунів транспортних засобів, працюючих на зрідженому газовому паливі. Матеріали 10-ї міжнародної науково-практичної конференції. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. Херсон: ХДМА, 2019. С. 59-63.

10. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Адров Д.А., Матейчик П.В., Черненко В.В. Дослідження роботи транспортного засобу, обладнаного газобалонною системою живлення 4-го покоління, в умовах експлуатації. Міжнародна науково-практична конференція. «Сучасні технології на

автомобільному транспорті та машинобудуванні» ХНАДУ, м. Харків 15 – 18 жовтня 2019 року. с. 84-87

11. Грицук І.В., Погорлецкий Д.С., Симоненко Р.В., Худяков І.В. Тепловая подготовка двигателя транспортного средства, оборудованного системами подачи бензина и сжиженного нефтяного газа. XXV - Міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доповідей. Харків: Нац. аерокосмічний ун-т. «Харк. авіац. ін-т», 2020 – 77 с.

12. Грицук І.В., Погорлецкий Д.С., Симоненко Р.В.. Особливості формування системи теплової підготовки двохпаливних транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому паливі і зрідженому нафтовому газі. Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць. Вінниця: тези доповіді. ВНТУ. С. 112 -115.

13. Грицук І.В., Погорлецький Д.С. Особливості створення моторної установки із засобами моніторингу на базі двигуна транспортного засобу, переобладнаного на живлення зрідженим газовим паливом. Сучасний стан та проблеми двигунобудування: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Машинобудівний інститут, тези доповіді. 2018. С. 11-13.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Білоусов Є.В., Володарець М.В., Симоненко Р.В., Сімагін А.Ф. Система регулювання температури охолоджуючої рідини транспортного двигуна з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором і моніторингом теплових параметрів. патент. МПК F01P 3/00. № u201903063; заявл. 28.03.19; опубл. 10.10.19. Бюл. №19.

АНОТАЦІЯ

Погорлецький Д.С. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» (27 – Транспорт)). – Державний університет «Житомирська політехніка», Міністерство освіти і науки України, м. Житомир, 2021.

Дисертація присвячена поліпшенню паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів (ТЗ) з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які обладнано системою теплової підготовки в умовах експлуатації і методів їх реалізації.

Проведені розрахункові та експериментальні дослідження ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2 з двигуном G4GC (4FS 8.2 / 9.35), переобладнаного для роботи на газовому паливі, який обладнано системою теплової підготовки на основі теплового акумулятору фазового переходу, для визначення шляхів та методів поліпшення паливної економічності і екологічних показників в умовах експлуатації. Розроблено і запропоновано підхід до визначення паливної економічності та екологічних показників ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки, що базується на одночасному використанні даних експериментальних досліджень і

результатів розрахунку на математичній моделі. Встановлено суттєвий вплив системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу на показники паливної економічності та екологічні показники ТС в умовах експлуатації в широкому інтервалі температур оточуючого середовища.

Ключові слова: *транспортний засіб, двигун, переобладнаний для роботи на газовому паливі, система теплової підготовки, тепловий акумулятор, фазовий перехід, паливна економічність, екологічні показники, іздовий цикл, система моніторингу, умови експлуатації.*

АННОТАЦІЯ

Погорлецький Д.С. Улучшение топливной экономичности и экологических показателей переоборудованных для работы на газовом топливе транспортных средств. Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». – Государственный университет «Житомирская политехника», Министерство образования и науки Украины. Житомир, 2021.

Диссертация посвящена улучшению топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств (ТС) с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, оборудованных системой тепловой подготовки в условиях эксплуатации и методов их реализации.

Проведенные расчетные и экспериментальные исследования ТС KIA CEE'D 2.0 5MT2 с двигателем G4GC (4FS 8.2 / 9.35), переоборудованным для работы на газовом топливе, оборудованного системой тепловой подготовки с тепловым аккумулятором фазового перехода, в части определения путей улучшения топливной экономичности и экологических показателей и методов их реализации в условиях эксплуатации. Разработан и предложен подход к определению топливной экономичности и экологических показателей ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, в процессах предпусковой и послепусковой тепловой подготовки в условиях эксплуатации, основанный на одновременном использовании данных экспериментальных исследований и результатов расчета на математической модели. В диссертационной работе решена научно-практическая задача оценки топливной экономичности и экологических показателей ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, которые были оснащены системой тепловой подготовки на основе теплового аккумулятора фазового перехода в условиях эксплуатации. Впервые предложен подход к определению топливной экономичности и экологических показателей ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, в процессах предпусковой и послепусковой тепловой подготовки в условиях эксплуатации, основанный на одновременном использовании данных экспериментальных исследований и результатов расчета на математической модели. Усовершенствован метод расчета расхода топлива и выбросов вредных веществ в отработанных газах ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, которые были оснащены тепловым аккумулятором фазового перехода в процессах предпусковой и послепусковой тепловой подготовки в условиях эксплуатации. Практическое значение полученных результатов заключается в разработке рекомендаций по применению теплового аккумулятора фазового перехода в системах тепловой

подготовки ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, учитывающие конструктивные особенности транспортного двигателя, требований к процессам предпусковой и послепусковой тепловой подготовки в условиях эксплуатации. В результате реализации разработанного метода исследования топливной экономичности и экологических показателей ТС с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, и оснащение его системой тепловой подготовки на основе теплового аккумулятора фазового перехода, получили следующие результаты при температурах ОС - 20...20 ° С соответственно: снижение общего времени тепловой подготовки двигателя ТС на 10,2 - 54,3%; снижение общего расхода топлива на 32 - 62,8%; снижение выбросов отдельных вредных веществ при работе на жидком и газовом топливе соответственно - 11,9 - 43,4% и 12 - 52,47% при незначительном росте выбросов оксидов азота.

Установлено влияние системы тепловой подготовки с тепловым аккумулятором фазового перехода ТС с двигателем, переоборудованным для работы на газовом топливе, на показатели топливной экономичности и экологические показатели в процессах предпускового и послепускового прогрева в условиях эксплуатации в широком интервале температур окружающей среды.

Ключевые слова: *транспортное средство, двигатель, переоборудованный для работы на газовом топливе, система тепловой подготовки, тепловой аккумулятор, фазовый переход, топливная экономичность, экологические показатели, ездовой цикл, система мониторинга, условия эксплуатации.*

ABSTRACT

Pogorletsky D.S. Improving fuel economy and environmental performance of vehicles converted to run on gas fuel – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 «Operation and repair of transport means». – Zhytomyr Polytechnic State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr, 2021.

The dissertation is devoted to the improvement of fuel economy and ecological indicators of vehicles with engines converted for operation on gas fuel, which are equipped with a system of thermal preparation in the conditions of operation and methods of their realization.

Calculated and experimental studies of the vehicle KIA CEE'D 2.0 5MT2 with G4GC engine (4FS 8.2 / 9.35), converted to run on gas fuel, which is equipped with a heat treatment system based on a heat accumulator phase transition, to determine ways and methods to improve fuel economy and environmental performance. An approach to determining fuel efficiency and environmental performance of vehicles with engines converted to run on gas fuel in the processes of pre-start and post-start heat preparation, based on the simultaneous use of experimental research data and calculation results on a mathematical model. The significant influence of the system of thermal preparation with the thermal accumulator of phase transition on indicators of fuel economy and ecological indicators of the vehicle in the conditions of operation in a wide range of ambient temperatures is established.

Key words: *vehicle, engine, converted to run on gas fuel, heat treatment system, heat accumulator, phase transition, fuel economy, environmental performance, driving cycle, monitoring system, operating conditions.*

Відповідальний за випуск *Р.Є. Врублевський*
Друк, фальцовально-палітурні роботи *В.Г. Удов*

Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 1,5
Підписано до друку року 08.04.2021
Тираж 100 примірників.

Видавництво
«Херсонська державна морська академія»,
Просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000
Тел.: 49-20-20
Ел. адреса: rvv@ksma.ks.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої
Справи до Державного реєстру
ДК № 4319 від 10.05.2012