

топливом, токсические характеристики по некоторым показателям были лучше, в некоторых случаях, например при работе на повышенных мощностях, ухудшались относительно показателей при работе на минеральном топливе. Сформулированы основные принципы эффективного использования биотоплива в транспортных дизелях по энергетическим и токсическим показателям, а также коррозионному воздействию смесевых биотоплив на топливную аппаратуру. На сегодня автозаправочные станции в Украине продают как альтернативные только топлива для бензиновых двигателей. Это смеси в различных пропорциях бензина и биоэтанола с содержанием последнего до 35–40% по объему. Цена такого топлива ниже цены бензина. Биодизельных топлив в продаже нет, хотя они также стоили бы меньше, чем минеральное дизтопливо. Вероятно, что использование биодизельных топлив сдерживается по причине необходимости адаптации дизельного двигателя к этим топливам и контролю состояния топливной аппаратуры. Однако эти затраты небольшие и могут легко компенсированы за счет разницы в цене минерального и биодизельного топлив. Можно предположить, что в первую очередь биодизельное топливо будет внедряться в сельскохозяйственной технике.

Ключевые слова: растительные масла; дизельное топливо; топливо биологического происхождения; топливная система.

SCIENTIFIC PRINCIPLES OF INCREASING THE EFFICIENT PERFORMANCE OF DIESELS WHEN USING BIOFUELS

V.M. Bgantsev

The use of biological fuels based on vegetable oils and other similar raw materials in diesel engines in developed countries can reduce the cost of mineral diesel fuel and improve the environment. This issue is relevant for Ukraine as well, in connection with which the governing bodies pay great attention to it. The deepening of knowledge in the study of the peculiarities of the flow of operating cycles of diesel engines, their power and toxic characteristics at the same time contributes to the optimization of the use of these types of fuel. In this work, the main issues related to the use of vegetable oils, such as sunflower, rapeseed, corn oils and their ethyl esters, both in pure form and in a mixture with mineral diesel fuel, are considered as a biological component of fuel. Theoretical issues and experimental data related to the use of these fuels in diesel engines are considered. Experimental studies were carried out on diesel engines D21A and four-cylinder - Skoda - an analogue of the 1.9-liter Volkswagen engine with turbocharging. Economic and toxic characteristics were obtained by load and speed characteristics. There is an increase in the consumption of mixed fuel in comparison with mineral fuel, the toxic characteristics were better in some indicators, in some cases, for example, when operating at increased capacities, they worsened relative to those when operating on mineral fuel. The basic principles of the effective use of biofuels in transport diesel engines are formulated in terms of energy and toxic indicators, as well as the corrosive effect of blended biofuels on fuel equipment. Today, gas stations in Ukraine only sell alternative fuels for gasoline engines. These are mixtures in various proportions of gasoline and bioethanol with a content of the latter up to 35–40% by volume. The price of such fuel is lower than the price of gasoline. Biodiesel fuels are not commercially available, although they would also cost less than mineral diesel fuel. It is likely that the use of biodiesel fuels is restrained due to the need to adapt the diesel engine to these fuels and to monitor the state of the fuel equipment. However, these costs are small and can be easily compensated for by the difference in the price of mineral and biodiesel fuels. It can be assumed that, first of all, biodiesel will be introduced into agricultural machinery.

Key words: vegetable oils; diesel fuel; biological fuel; fuel system.

УДК 621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.04

I.В. Грицук, Д.С. Погорлецький, Д.С. Адров, А.В. Білай

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

В статті розглядаються особливості методу 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, в основу якого покладено реалізацію системної взаємодії трьох взаємопов'язаних її складових: інформаційної, аналітичної і енергетичної. Представлено принципову схему системи теплової підготовки та інформаційну систему оцінювання способів забезпечення теплової підготовки транспортних засобів в умовах експлуатації за допомогою системи теплової підготовки на основі бортового комплексу (Intelligent transportation system). Особливість запропонованої системи полягає в тому, що підсистеми створюють спільне інформаційне поле системи моніторингу параметрів транспортного засобу з системою теплової підготовки, але діють окремо одна від одної, виходячи з особливостей задач, що вони виконують. Удосконалено метод визначення і розрахунку витрати палива та викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, оснащених тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової та післяпускової теплової підготовки на основі обраної моделі системи «Двигун-нейтралізатор». Для забезпечення теплової підготовки транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки на основі теплового акумулятору фазового переходу, розроблено цикл теплової підготовки в умовах експлуатації. Встановлено вплив системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу транспортного засобу з двигуном, перео-

бладнаним для роботи на газовому паливі, на показники паливної економічності та екологічні показники в процесах передпускового і післяпускового прогріву.

Ключові слова: теплова підготовка; тепловий акумулятор; транспортний двигун; витрата палива.

Вступ

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.

Аналіз стану проблеми

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 [1-5]. 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 [5-12].

Шляхи вирішення проблеми

Матеріали статті присвячені формуванню 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. 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 [1-11], залежить від температури навколишнього повітря ($t_{нов}$), часу (t) і режиму теплової підготовки (k_t), температури двигуна ($t_{де}$). У цьому випадку запропонований функціонал можливо представити у наступному вигляді:

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

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. Для виконання дослі-

дження була розроблена принципова схема системи теплової підготовки (СТП) на основі теплового акумулятора для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі (рис.1). СТП в своїй реалізації конструктивно входить до системи охолодження і системи випуску відпрацьованих газів транспортного двигуна, та виконує частину властивих їм функцій [1-7].

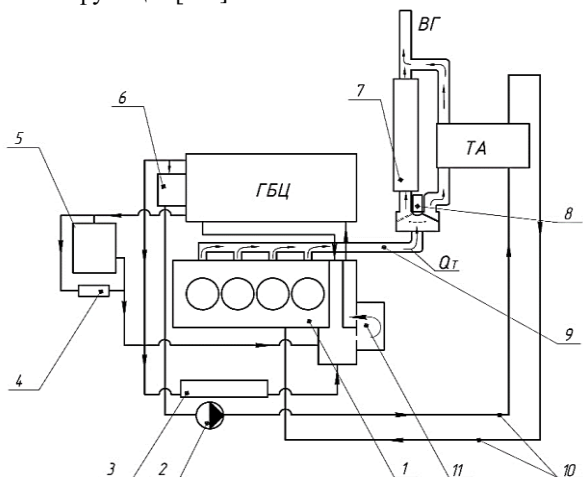


Рис. 1. Принципова схема системи теплової підготовки на основі теплового акумулятора для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі:

1 – транспортний двигун; 2 – додатковий електричний рідинний насос; 3 – радіатор двигуна; 4 – газовий редуктор; 5 – теплообмінник салону; 6 – дротель; 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 дослідження 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 [5].

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 [1-7].

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 [5-15].

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 [5].

Для визначення витрати палива, викидів шкідливих речовин та додаткового обґрунтування впливу системи теплової підготовки на роботу двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, був розроблений метод визначення витрати палива та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі ТЗ (рис. 2). Особливість методу полягає в тому, що він передбачає спільне використання всіх наявних методів і засобів отримання інформації про процеси експлуатації ТЗ, про теплові параметри двигуна, витрату палива і викиди шкідливих речовин. Отримання інформації і визначення екологічних та економічних параметрів експлуатації ТЗ можливе в результаті дистанційного моніторингу параметрів технічного стану ТЗ, результатів експериментального дослідження системи теплової підготовки і результатів розрахунково-аналітичного дослідження на основі даних перших двох джерел.



Рис. 2. Функціональна схема реалізації методу визначення витрати палива та екологічних показників ТЗ, що працюють на газовому паливі

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 виміряних показників 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 (м. Київ). Застосування запропонованого методу при використанні удосконаленої математичної моделі аналітичної частини системи потрібно для дослідження екологічних

показників нерухомих ТЗ в процесах теплової підготовки [1,5].

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, °С, відповідно, для різних видів палив: рідкого нафтового і зрідженого газового [1,3-5,10-12,14].

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) $K_{G_T.P.П}$, газового палива (зріджений нафтовий газ) $K_{G_T.Г.П}$ без СТП і для рідкого палива після використання СТП у складі ТА $K_{G_T.P.ПТА}$:

$$K_{G_T.P.П} = \frac{G_{T.ПП}(t_{OC} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (2)$$

$$K_{G_T.Г.П} = \frac{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C}) - G_{ПП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (3)$$

$$K_{G_T.P.ПТА} = \frac{G_{ПП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}, \quad (4)$$

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; $G_{ПП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})$ - витрата рідкого палива від значення температури охолоджуючої рідини $50^{\circ}C$ до переключення системи живлення ТЗ на газове паливо.

З метою отримання вихідних даних для аналітичної частини були проведені експериментальні дослідження передпускової і післяпускової теплової підготовки ТЗ KIA CEE'D 2.0 5MT2 з двигуном G4GC (4FS 8.2 / 9.35), переобладнаним для роботи на газовому паливі і встановленим тепловим акумулятором в систему охолодження [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, 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 № у 2018 00815 і № у 2019 03063). Для використання в СТП транспортного двигуна був виготовлений експериментальний зразок теплового акумулятора фазового переходу на основі теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) - поліетилен високої густини низького тиску ($T_{фп} = 408 K$) [5-15].

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 [5-13].

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 параме-

трів 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) ($M_{пр.о.1}$) і блоків збирання та передачі інформації від СТП, ТЗ та про умови експлуатації ТЗ і пристроїв моніторингу (трекер) ($M_{пр.о.2}$). 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 [1,5-15].

Дослідження на різних етапах виконання робіт виконані відповідно до методик, як загальноприйнятих, так і спеціальних, розроблених авторами. 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 [5].

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 модельючому роликівому 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 "ДержавотрансНДПроект" (м. Київ) [5].

Результати досліджень

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 ви-

трати палива переобладнаного двигуна залежності від розташування газового редуктора і ТА фазового переходу в залежності від режимів прогріву і умов експлуатації [5,13-15].

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 [5,13-15].

У процесі експериментальних досліджень в ТЗ під час передпускового і післяпускового прогріву транспортного двигуна G4GC (4Ч 8,2/9,35) в ТЗ

KIA CEE'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 (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. Завдяки введенню коефіцієнтів раціонального паливовикористання стало можливим проаналізувати вплив СТП на основі ТАФП на паливну економічність ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі у різних режимах прогріву ТЗ (рис. 4).

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 °С до 85 °С	-10 °С до 85 °С	-5 °С до 85 °С	0°С до 85 °С	5 °С до 85 °С	10 °С до 85 °С	20 °С до 85 °С
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

Із аналізу зміни отриманих залежностей (рис. 3) можна зробити висновки, що завдяки використанню системи теплової підготовки, з урахуванням різних режимів прогріву ТЗ та змінних температурних умов оточуючого середовища у межах від -20°C до +20°C, можна отримати економію рідкого палива (бензину) завдяки тому, що в період теплової підготовки до 50°C двигун ТЗ не працює, а прогривається від СТП. Ця економія різна залежно від використаного режиму прогріву (рис. 3) та температури оточуючого середовища.

Коефіцієнти паливовикористання дослідної СТП змінюються в межах: $K_{G,P,П} = 0,32...0,628$; $K_{G,F,П} = 0,371...0,679$; $K_{G,P,П} TA = 0,031...0,275$, що підтверджує високу ефективність застосування СТП із ТАФП у ТЗ у змінних умовах експлуатації за різних температур оточуючого середовища. Найвигідніше використання СТП за мінусових температур, але й за плюсових зберігається ефект

економії палива. Результати отриманих значень показників викидів шкідливих речовин в оточуюче середовище під час роботи двигуна ТЗ на рідкому нафтовому паливі (бензин) та на зрідженому газовому з використанням СТП із ТАФП та без неї наведені в (табл. 2).

За рахунок використання системи теплової підготовки з ТАФП на ТЗ, що працює на рідкому паливі, знижуються викиди шкідливих речовин: CO – 49%; CH – 35%; NOx – 29%; CO2 – 28% аналогічно на ТЗ, що працює на газовому паливі, знижуються викиди шкідливих речовин: CO – 9,7%; CH – 20%; NOx – 7%; CO2 – 18%. Зниження сумарних шкідливих викидів завдяки використанню системи теплової підготовки з ТАФП, зведених до рівня агресивності CO на рідкому паливі, складає 39%, а на газовому – 20%.

Отримані експериментальні 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.

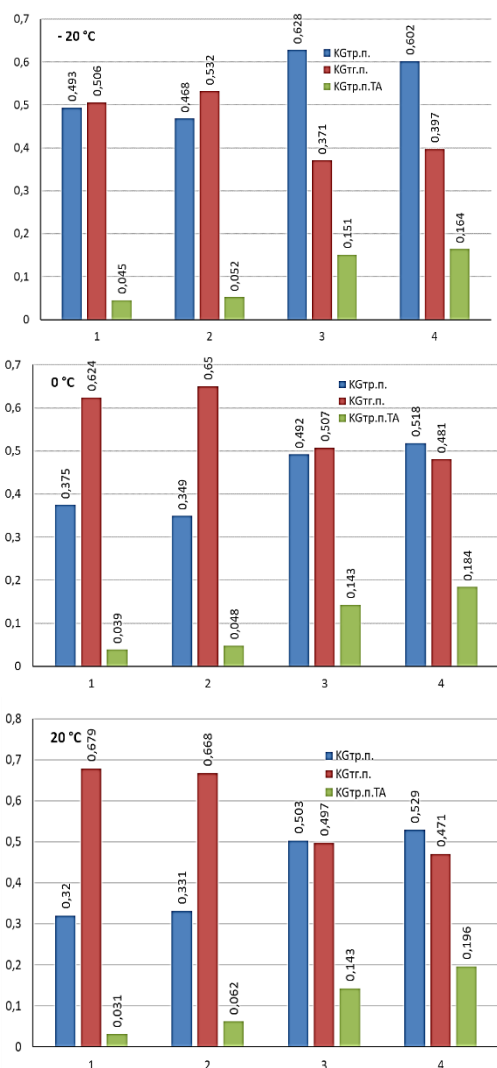


Рис. 3. Результати дослідження впливу системи теплової підготовки з ТА на витрату палива транспортного засобу, оснащеного газовою апаратурою, в процесах прогрівання:

1 – тепла підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу; 2 – тепла підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу з підключенням електричних споживачів; 3 – тепла підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу і в русі; 4 – тепла підготовка транспортного засобу в русі (прогрів у русі)

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.

Таблиця 2. Показники викидів шкідливих речовин

Показники викидів шкідливих речовин, (г/км)	ТЗ, що працює на рідкому паливі (бензин) / з ТА / (% зниження)			ТЗ, що працює на газовому паливі (пропан-бутан)/з ТА / (% зниження)		
	G_{CO}	5,7	2,9	49	4,1	3,7
G_{CH}	0,652	0,420	35	0,250	0,200	20
G_{NOx}	1,744	1,234	29	0,740	0,685	7
G_{CO_2}	246	178	28	173	142	18
Сумарні шкідливі викиди, зведені до рівня агресивності CO	36	22	39	25	20	20

В результаті виконаного розрахунково-аналітичного дослідження встановлено, що в умовах експлуатації з температурою ОС $-20...+20$ °C за рахунок використання СТП 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 (NOx) - 1,9 – 9,56 %.

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 $-20...20$ °C 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: $K_{GT.P.II} = 0,32-0,628$;

$K_{GT.G.II} = 0,371-0,679$; $K_{GT.P.II.TA} = 0,031-0,275$, 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.

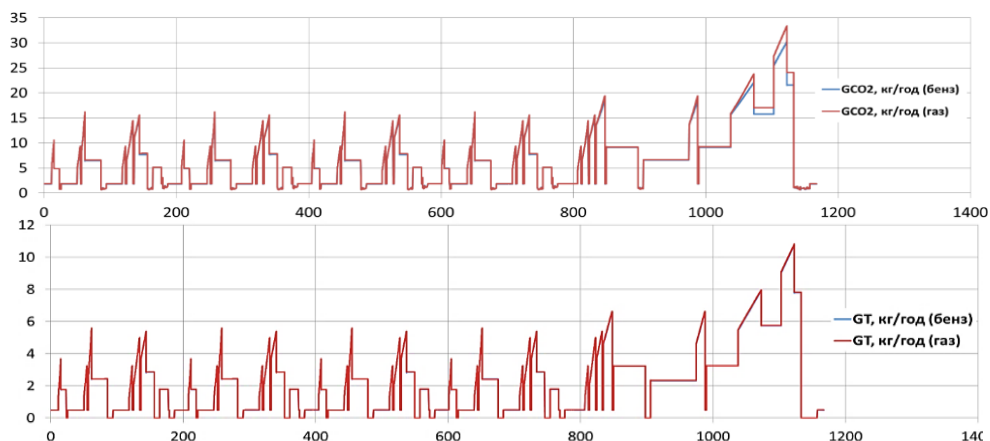


Рис. 4. Результати розрахункового дослідження за змодельованим Європейським міським їздовим циклом дослідного ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, відповідно для значень: масових викидів CO₂ після каталітичного нейтралізатора ТЗ кг/год і годинної витрати палива, кг/год

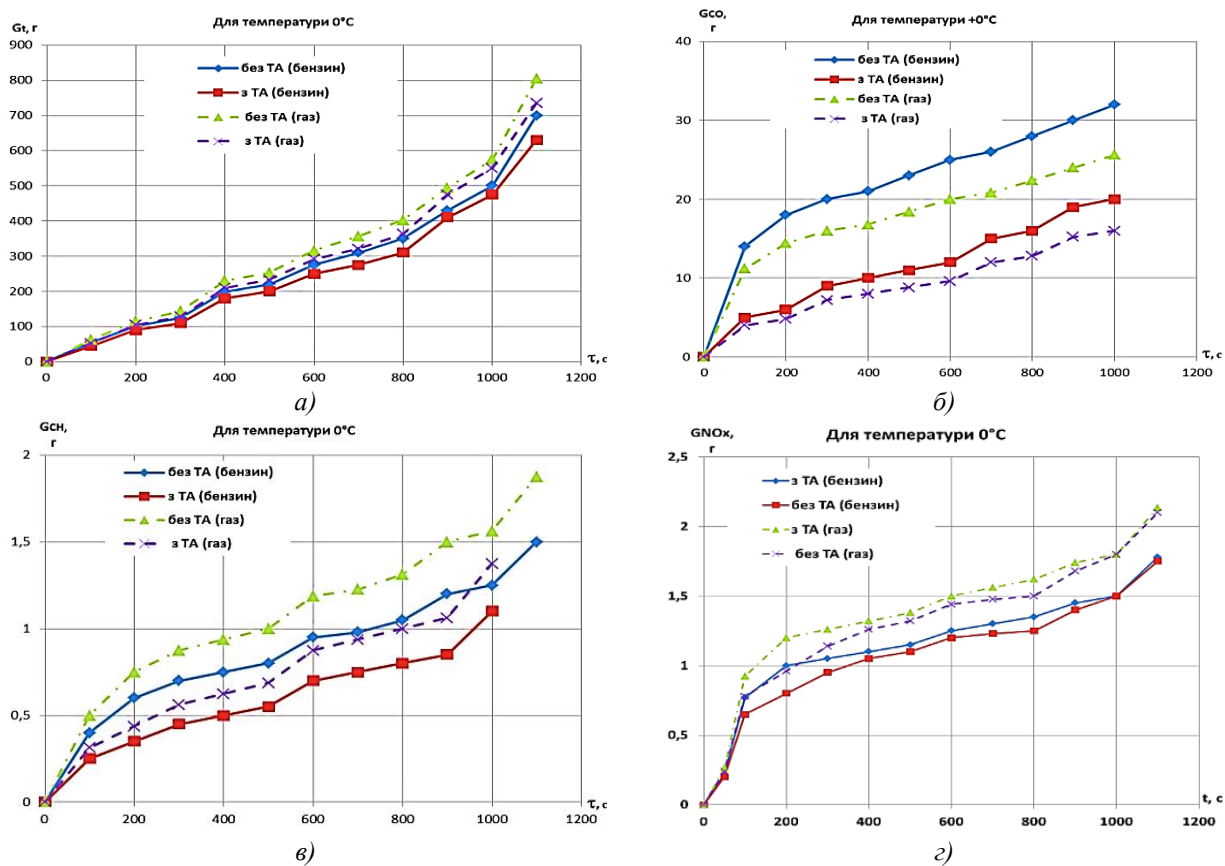


Рис. 5. Розрахункові залежності при здійсненні прогріву двигуна ТЗ в русі в режимах їздового циклу: сумарна витрата палива, г (а); сумарні викиди CO, г (б); сумарні викиди SpHt, г (в); сумарні викиди NOx, г (г)

Висновки

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. Розроблена

принципова схема системи теплової підготовки та інформаційна система оцінювання способів забезпечення теплової підготовки ТЗ в умовах експлуатації за допомогою СТП на основі бортового комплексу ITS. 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.

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 показників роботи двигуна ТЗ з наступним розрахунком за цими даними витрати палива і шкідливих викидів на окремих ділянках руху та за їздовий цикл в цілому.

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. Під час передпускової і післяпускової 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.

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 передпускової і післяпускової 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: $K_{G_r.P.II} = 0,32-0,628$; $K_{G_r.T.II} = 0,371-0,679$; $K_{G_r.P.II.TA} = 0,031-0,275$, що підтверджує ефективність застосування СТП з ТА на ТЗ в змінних умовах експлуатації.

Список літератури:

1. 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. – 2016-01-0204, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>. 2. Адров Д. С. Теплової акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д. С. Адров, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, В. І. Дорошко // 36. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – 2011. – № 27. – С. 117–126. 3. Volkov V. P. ICE heating systems: the basics of functioning / V. P. Volkov, I. V. Gritsuk, Yu. F. Gutarevych, V. D. Aleksandrov, V. Yo. Poddubnyak, Yu. V. Prilepskiy, P. B. Komov, D. S. Adrov, V. S. Verbovskiy, Z. I. Krasnokutskaya, T. V. Volkova. – Donetsk : Landon-XXI, 2015. – 314 p. 4. Gritsuk I. Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators/ I. Gritsuk, V. Mateichyk, V. Aleksandrov, Y. Prilepskiy, et al. // SAE Technical Paper. – 2019. – 2019-01-0906, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>. 5. Gritsuk, I. et al., / Gritsuk, I., Pohorletskiy, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. 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. 6. Aleksandrov V. Phase Transition Heat Accumulators for Vehicles: The Parameters of Working Processes : monograph / V. Aleksandrov, I. Gritsuk et al., – Donetsk : Publishing House «Knowledge», 2014. – 230 p. 7. Shulgin V. V. Vehicular thermal accumulators / V. V. Shulgin. – SPb. : Publishing Polytechnic University Press, 2005. – 268 p. 8. Vashurkin I. O. Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter / I. O. Vashurkin. – Sant-Peterburg : Nauka Publ., 2002. – 145 p. 9. Beckman G. Thermal accumulation of energy / G. Beckman, P. Gilly. – Moscow : World Publ., 1987. – 256 p. 10. Gritsuk I. V. The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles / I. V. Gritsuk. – Kharkiv : Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University, 2015. – 32 p. 11. Gritsuk I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Grytsuk, et al. // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-0024, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>. 12. Gritsuk I. The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Gutarevych, et al. // SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2017. – 10(1):236-248, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>. 13. Погорлецький Д. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS / Д. Погорлецький // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики : монографія / Blatnický Miroslav, Dižo Ján, Gerlici Juraj та ін.; за наук. ред. проф. Грищука Ігоря. – Херсон : ХДМА, 2019. – С. 383–394. 14. Погорлецький Д. С. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький, В. П. Матейчик, А. П. Полівінчук, М. В. Володарець, М. П. Цюман // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2019. – Вип. 19. – Т. 4. – С. 286. 15. Грицук І. В. Особливості формування системи теплової підготовки двохпаливних транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому паливі і зрідженому нафтовому газі / І. В. Грицук, Д. С. Погорлецький, Р. В. Симоненко // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного тран-

спорту [Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції] : збірник наукових праць. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – С. 112.

Bibliography (transliterated):

1. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., Volkov, V. (2016), "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator" SAE Technical Paper. 2016-01-0204, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>. 2. Adrov, D. S., Grytsuk, I.V., Prilepsky, Yu. V., Doroshko, V. I. (2011), "Heat accumulator as a means of increasing the efficiency of starting a stationary engine at low temperatures" Coll. Science. works DonI ZT UkrDAZT. ["Teploviy akumulirovaniy yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti pusk stationarnoho dvyhuna v umovakh nyzkykh temperatury" Zb. nauk. prats DonI ZT UkrDAZT] Donetsk : DonI ZT, P. 117–126. 3. Volkov, V. P., Gritsuk, I. V., Gutarevych, Yu. F., Aleksandrov, V. D., Poddubnyak, V. Yo., Prilepskiy, Yu. V., Komov, P. B., Adrov, D. S., Verbovskiy, V. S., Krasnokutskaya, Z. I., Volkova, T. V. (2015). ICE heating systems: the basics of functioning. Landon-XXI, Donetsk, 314 p. 4. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Aleksandrov, V., Prilepsky, Y. et al. (2019), "Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators" SAE Technical Paper, 2019-01-0906, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>. 5. Gritsuk, I., Pohorletskiy, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., (2020), "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, doi:10.4271/2020-01-2031. 6. Aleksandrov, V., Gritsuk, I. et al. (2014), Phase Transition Heat Accumulators for Vehicles: The Parameters of Working Processes : monograph, Publishing House «Knowledge», Donetsk, 230 p. 7. Shulgin, V. V. (2005), Vehicular thermal accumulators, Publishing Polytechnic University Press, Sant-Peterburg, 268 p. 8. Vashurkin, I. O. (2002), Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter, Nauka Publ., Sant-Peterburg, 145 p. 9. Beckman, G. Gilly, P. (1987). Thermal accumulation of energy.

World Publ., Moscow, 256 p. 10. Gritsuk, I. V. (2015), The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles, Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 32 p. 11. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y., et al. (2018), "Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions", SAE Technical Paper, 2018-01-0024, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>. 12. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y., et al. (2017), "The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle", SAE Int. J. Fuels Lubr. 10(1):236-248, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>. 13. Pohorletskiy, D. (2019), "Structure of the measuring complex for research of work of the vehicle with the engine equipped with system of injection of gas fuel, in the conditions of operation by means of ITS" Systems and means of transport. Problems of operation and diagnostics ["Struktura vymirivnialnogo kompleksu dlia doslidzhennia roboty transportnogo zasobu z dvyhunom, obladnanyim systemoiu vprorskuvannia hazovoho palyva, v umovakh ekspluatatsii zasobamy ITS" Systemy i zasoby transportu. Problemy ekspluatatsii i diahnozyky]. KhDMA, Kherson P. 383–394. 14. Pohorletskiy, D. S., Mateichyk, V. P., Polivinchuk, A. P., Volodarets, M. V., Tsiuman, M. P., (2019), "Features of thermal preparation of the transport engine in the conditions of operation", Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University, ["Osoblyvosti teplovoi pidhotovky transportnogo dvyhuna v umovakh ekspluatatsii" Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu], TSATU named after Dmitry Motorny, Melitopol, Vol. 19, T. 4, P. 286. 15. Grytsuk, I. V., Pohorletskiy, D. S., Symonenko, R. V. (2020), "Features of formation of system of thermal preparation of the two-fuel vehicles working on liquid oil fuel and the liquefied oil gas" Problems and prospects of development of motor transport : Materials of the VIII international scientific and practical Internet conference ["Osoblyvosti formuvannia systemy teplovoi pidhotovky dvokhpalyvnykh transportnykh zasobiv, pratsiuiuchykh na rikdomu naftovomu palyvi i zridzhenomu naftovomu hazi" Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnogo transportu : Materialy VIII-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii], VNTU, Vinnytsia, P. 112.

Надійшла в редакцію 22.06.2021 р.

Грицук Ігор Валерійович - доктор техн. наук, професор, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, Україна, gritsuk_iv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7065-6820>

Погорлецький Дмитро Сергійович - старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, Україна, dimon150582@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1256-8053>

Адров Дмитро Сергійович – канд. техн. наук, старший викладач, Приазовський державний технічний університет, Україна.

Білай Антон Вікторович – Директор Маріупольського будівельного фахового коледжу, Україна, abelay1981@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0596-0794>

PECULIARITIES OF DETERMINATION OF FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES OF ENGINES OF VEHICLES OPERATING ON GAS FUEL

I.V. Gritsuk, D.S. Pohorletskiy, D.S. Adrov, A.V. Bilai

The article considers the features of the method of research of fuel economy and environmental performance of vehicles with engines converted to run on gas fuel, which are equipped with a thermal training system based on a thermal accumulator phase transition, which is based on the implementation of system interaction of three interconnected components: information, analytical and energy. The schematic diagram of the system of thermal preparation and the information system of estimation of ways of maintenance of thermal preparation of vehicles in the conditions of operation by means of system of thermal preparation on the basis of an onboard complex (Intelligent transportation system) are presented. The peculiarity of the proposed system is that the subsystems create a common information field of the vehicle monitoring system with the heat treatment system, but operate separately from each other, based on the characteristics of the tasks they perform. Improved is the method for determining and calculating fuel consumption and emissions in exhaust gases of vehicles with engines converted to run on gas fuel, equipped with a thermal accumulator phase transition in the processes of pre-start and post-start heat treatment based on the selected model of the engine "Neutralizer". To ensure thermal preparation of vehicles with engines converted to run on gas fuel, equipped with a thermal training system based on a thermal accumulator of the phase transition, a cycle of thermal preparation in operating conditions has been developed. The influence of the thermal preparation system with the heat accumulator of the phase transition of a vehicle with an engine converted to run on gas fuel on the fuel efficiency indicators and environmental indicators in the pre-start and post-start-up processes is established.

Keywords: thermal preparation; heat accumulator; transport engine; fuel consumption.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ

И.В. Грицук, Д.С. Погорлецкий, Д.С. Адров, А.В. Билай

В статье рассматриваются особенности метода исследования топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, которые оснащены системой тепловой подготовки на основе теплового аккумулятора фазового перехода, в основу которого положена реализацию системного взаимодействия трех взаимосвязанных ее составляющих: информационной, аналитической и энергетической. Представлено принципиальную схему системы тепловой подготовки и информационную систему оценивания способов обеспечения тепловой подготовки транспортных средств в условиях эксплуатации с помощью системы тепловой подготовки на основе бортового комплекса (Intelligent transportation system). Особенность предложенной системы заключается в том, что подсистемы создают совместное информационное поле системы мониторинга параметров транспортного средства с системой тепловой подготовки, но действуют отдельно друг от друга, исходя из особенностей задач, которые они выполняют. Усовершенствован метод определения и расчета расхода топлива и выбросов вредных веществ в отработанных газах транспортных средств с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, оснащенных тепловым аккумулятором фазового перехода в процессах предпусковой и послепусковой тепловой подготовки на основе выбранной модели системы «Двигатель-нейтрализатор». Для обеспечения тепловой подготовки транспортных средств с двигателями, переоборудованными для работы на газовом топливе, оборудованных системой тепловой подготовки на основе теплового аккумулятора фазового перехода, разработан цикл тепловой подготовки в условиях эксплуатации. Установлено влияние системы тепловой подготовки с тепловым аккумулятором фазового перехода транспортного средства с двигателем, переоборудованным для работы на газовом топливе, на показатели топливной экономичности и экологические показатели в процессах предпускового и послепускового прогрева.

Ключевые слова: тепловая подготовка; тепловой аккумулятор, транспортный двигатель, расход топлива.

УДК 621.43.053

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.05

В.А. Корогодський

ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗГОРЯННЯ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА З КАРБЮРАТОРОМ ТА БЕЗПОСЕРЕДНІМ ВПОРСКУВАННЯМ ПАЛИВА

Предметом дослідження в статті є показники процесу згоряння двотактного двигуна 1Д 8,7/8,2 з іскровим запалюванням при використанні карбюраторної системи живлення (зовнішнє сумішоутворення) і системи безпосереднього впорскування палива, що забезпечує організацію розширеного паливовітряного заряду (РППЗ) і розширеного збідненого паливовітряного заряду (РЗППЗ) (внутрішнє сумішоутворення), які дозволяють оцінити характер протікання процесу згоряння. Метою досліджень є визначення характеру зміни показників згоряння двигуна при зовнішньому та внутрішньому сумішоутворенні й організації робочого процесу з РППЗ та РЗППЗ на режимах навантажувальної характеристики ($n = 3000 \text{ мин}^{-1}$). Завдання: провести експериментальні дослідження, одержати індикаторні діаграми; визначити за усередненими індикаторними діаграмами показники згоряння: індикаторний ККД (η_i), максимальний тиск згоряння (p_z), ступінь підвищення тиску (λ), ступінь попереднього розширення (ρ), ступінь подальшого розширення (δ), показник характеру згоряння (t), максимальну швидкість тепловиділення ($dx/d\tau_{\text{max}}$), тривалість згоряння від ВМТ до точки Z (φ_z), загальну тривалість згоряння ($d\varphi_z$); побудувати характеристики зміни показників згоряння та отримати емпіричні залежності від навантаження двигуна. Використовується експериментально-аналітичний метод досліджень, який передбачає визначення характеру та аналіз перебігу процесу згоряння за показниками згоряння, які встановлено за експериментальними індикаторними діаграмами. Отримані результати. Застосування внутрішнього сумішоутворення та організація згоряння РЗППЗ й РППЗ дозволили отримати значення η_i більше ніж при зовнішньому сумішоутворенні на всіх режимах навантажувальної характеристики. Максимальне значення η_i для РЗППЗ складає 0,5 при навантаженні $p_e = 0,2 \text{ МПа}$, для РППЗ – 0,44 при $p_e = 0,25 \text{ МПа}$ та 0,3 при $p_e = 0,36 \text{ МПа}$ для двигуна з карбюратором. Максимальний тиск згоряння p_z вище до 11 % при організації РЗППЗ (ступінь підвищення тиску λ знижена на 26 %) та на 20-22 % вище ніж при організації РППЗ (значення λ знижено на 31 %). Підвищення ступеня стиснення ϵ на 26,4 % та зниження ступеня попереднього розширення ρ при РЗППЗ в порівнянні з РППЗ дозволило підвищити ступінь подальшого розширення δ в середньому на 30 % й на 43 % в порівнянні з карбюраторною системою живлення. При організації РЗППЗ значення показника характеру згоряння t вище в середньому в 1,4 рази, ніж у двигуна з карбюратором та в 1,45 рази вище щодо організації РППЗ, при якій максимальна швидкість тепловиділення $dx/d\tau_{\text{max}}$ вище до 40 %, ніж в двигуні з карбюратором. Організації РЗППЗ дозволила скоротити тривалість згоряння на 39 % щодо зовнішнього сумішоутворення та на 36 % щодо організації РППЗ. Висновки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні даних та емпіричних залежностей показників процесу згоряння двигуна 1Д 8,7/8,2 при зовнішньому та внутрішньому сумішоутворенні з організацією РППЗ і РЗППЗ на режимах навантажувальної характеристики ($n = 3000 \text{ мин}^{-1}$). Встановлено, що кращі техніко-економічні та екологічні показники відповідають організації внутрішнього сумішоутворення з РЗППЗ.

Ключові слова: двигун з іскровим запалюванням; розширений паливовітряний заряд; показники згоряння.