

УДК 621.44.3:678-462

ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДПУСКОВОЇ І ПІСЛЯПУСКОВОЇ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА В УМОВАХ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Канд. техн. наук І. В. Грицук (ХНАДУ),
старш. наук. співроб. В. С. Вербовський (Інститут газу НАНУ)

ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПУСКОВОЙ И ПОСЛЕПУСКОВОЙ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Канд. техн. наук И. В. Грицук (ХНАДУ),
старш. науч. сотруд. В. С. Вербовский (Институт газа НАНУ)

HEAT ACCUMULATOR PHASE TRANSITION AS A MEANS TO ENHANCE THE PRE-STARTING AND POST-LAUNCH HEAT ENGINE TRAINING IN COLD CONDITIONS

Candidate of Technical Science (Ph.D), I. Gritsuk, senior Research Fell, V. Verbovskii

У статті подано результати експериментальних і розрахункових досліджень газового двигуна 6Ч 12/14, оснащеного системою прогріву з тепловим акумулятором фазового переходу, у процесі передпускового і післяпускового прогріву охолоджуючої рідини і моторної оливи. Результати оцінки застосування теплового акумулятора підтвердили зменшення часу прогріву, поліпшення паливної економічності і зниження викидів у процесі передпускової і післяпускової теплової підготовки.

Ключові слова: газований двигун, система охолодження, система мащення, тепловий акумулятор фазового переходу, прогрів, паливна економічність, шкідливі викиди.

В статье представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований газового двигателя 6Ч 12/14, оснащенного системой прогрева с тепловым аккумулятором фазового перехода, в процессе предпускового и послепускового прогрева охлаждающей жидкости и моторного масла. Результаты оценки применения теплового аккумулятора подтвердили уменьшение времени прогрева, улучшение топливной экономичности и снижение выбросов в процессе предпусковой и послепусковой тепловой подготовки.

Ключевые слова: газовый двигатель, система охлаждения, система смазки, тепловой аккумулятор фазового перехода, прогрев, топливная экономичность, вредные выбросы.

We study the heat storage as a means of increasing the efficiency of engine start-up at low temperatures. The heat accumulator consists of heating circuits and heat extraction and heat accumulating phase change material. An experimental version of the thermal battery systems for the study of the heat accumulator and tested by the time of charging and discharging the heat accumulator at different input parameters. The experimental materials that convincingly demonstrate the feasibility of using heat storage in the cooling system of internal combustion engine to increase its temperature before starting. The article presents the results of experimental and theoretical investigations of the gas engine 6FC 12/14, equipped with a system to warm the battery thermal phase transition, in the process of pre-launch and postheating warm the coolant and engine oil. The results of evaluation of the application of the thermal battery is warm-up time

reduction, improved fuel economy and reduced emissions during the pre-launch and post-launch preparation of heat.

Key words: *gas engine, cooling system, lubrication system, heat storage phase transition, heating, fuel economy, emissions.*

Вступ. Розвиток двигунобудування здійснюється в умовах жорстких екологічних і економічних вимог, що постійно підсилюються та призводять до підвищення складності конструкції двигунів, зокрема систем охолодження і мащення. Це накладає специфічні вимоги до процесу експлуатації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), особливо в режимах передпускової і післяпускової теплової підготовки, тобто, в умовах несталих температурних і навантажувальних режимів роботи в умовах низьких температур.

Вирішення проблеми передпускового і післяпускового прогріву двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) транспортних засобів (ТЗ) і енергетичних установок (ЕУ) може досягатись за допомогою застосування комплексних систем передпускового прогріву (КСПП) у складі теплових акумуляторів (ТА) з фазовим переходом [1-3]. Розроблення і конструювання КСПП передбачає етапи не тільки технічного використання окремих складових системи, а також етапи дослідження складових елементів комплексної системи прогріву, а саме: теплоакумулюючих матеріалів (ТАМ) до ТА фазового переходу, вибір і оптимізацію конструкції ТА в залежності від ТАМ і умов експлуатації всієї системи, кліматичних умов тощо [4]. Оптимальними температурними параметрами для двигуна і ТЗ є значення температур: +85-95 °С охолоджуючої рідини (ОР) і моторної оливи (МО) в процесі виробничої (комерційної) експлуатації, що відповідають повному згоранню палива в циліндрі; +50 °С в процесі прийняття навантаження після зберігання і прогріву та зберігання ДВЗ і ТЗ тощо.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Підвищення пускових якостей двигунів ТЗ і ЕУ та створення ефективних способів та засобів передпускової і післяпускової теплової підготовки ОР у системі охолодження (СОД) і МО в системі мащення (СМ) являє собою актуальне й багатопланове завдання. Іншим актуальним завданням, пов'язаним з низькотемпературною експлуатацією, є комплексний прогрів і зниження пускових зносів деталей двигунів ТЗ і ЕУ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення оптимального температурного стану двигуна ЕУ і ТЗ в умовах експлуатації при створенні КСПП з ТА були проведені експериментальні і розрахункові дослідження на основі стаціонарних і транспортних двигунів [2, 4-6], а також ураховано досвід багатьох авторів [1, 3, 7].

Проведені дослідження щодо встановлення і використання систем прогріву у складі ТА з фазовим переходом [7-9] на двигунах і ТЗ при здійсненні передпускового і післяпускового прогріву в різних температурних умовах експлуатації показали суттєве скорочення часу прогріву, підвищення економічності і зниження шкідливих викидів у відпрацьованих газах (ВГ) у порівнянні зі штатними двигунами [9-13].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою проведених досліджень є визначення часу теплової підготовки ДВЗ, показників паливної економічності й екологічних показників газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14), обладнаного комплексною системою передпускового прогріву (КСПП) у складі теплового акумулятора (ТА) з фазовим

переходом при здійсненні передпускової і післяпускової теплової підготовки двигуна.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити таку основну задачу: визначити параметри теплової підготовки ДВЗ в залежності від температури навколишнього середовища до температури «гарячого пуску» та можливості прийняття навантаження при здійсненні прогріву як ОР, так і МО.

Основна частина дослідження. Експериментальні й розрахункові дослідження газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14), виконані в Інституті газу НАНУ спільно з УкрДАЗТ і НТУ, показали, що для полегшення пуску і швидкого прогріву ОР і МО двигуна доцільно використовувати систему передпускового прогріву ДВЗ [10, 14].

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено тепловий акумулятор з теплоакумулюючим матеріалом, що має фазовий перехід. Тепловий акумулятор дає змогу накопичувати теплову енергію відпрацьованих газів. Кількість теплоти, яку накопичує тепловий акумулятор, відповідає кількості теплової енергії, що потрібна для попереднього прогріву ОР і МО двигуна від максимально низької температури оточуючого повітря до температури ОР і МО «гарячого пуску» та можливості навантаження двигуна.

В основу стендових досліджень КСПП з ТА фазового переходу були покладені температурні режими ВГ, СОД і СМ з урахуванням розподілу навантажень реального двигуна в умовах експлуатації. В експериментах на створеній установці [2, 4, 5, 8-12] відтворювались режими роботи реального двигуна за температурою вхідних і вихідних параметрів стосовно ТА, який розташований одночасно як у системі випуску, так і в СОД і СМ двигуна.

Результати вимірювання часу прогріву ОР в СОД і МО в СМ газового двигуна К-159М2 з КСПП від СППД наведено на рис. 1,а,б. Випробування

КСПП в процесі дослідження тривалості прогріву від СППД проводилось як для ОР в СОД, так і для МО в СМ газового двигуна.

Отримані результати на рис. 1,а підтверджують, що при швидкості циркуляції 0,08 м/с, яка близька до швидкості циркуляції штатного насоса ОР газового двигуна в режимі холостого ходу, прогрів ОР в СОД до 85 °С відбувається за 1950 с або за 32,5 хв, а у той же час при збільшенні швидкості до 0,22 м/с, яка може бути створена циркуляційним насосом з модульованою подачею КСПП в режимі холостого ходу і яка відповідає максимальній швидкості штатного насоса ОР газового двигуна, час проріву до вказаної температури скорочується до 1432 с або до 23,9 хв. Температура 50 °С за вказаних вище умов досягається газовим двигуном відповідно без КСПП за 1370 с (22,8 хв) і з КСПП за 1070 с (17,8 хв).

Для СМ збільшення швидкості циркуляції МО також забезпечує позитивний результат (рис. 1,б). Збільшення швидкості циркуляції МО в СМ до 0,22 м/с забезпечує швидкий прогрів газового двигуна до 85 °С за 1525 с (25,4 хв) у порівнянні з прогрівом при швидкості циркуляції МО в СМ 0,08 м/с (штатна СМ двигуна) за 2025 с (33,8 хв), а до 50 °С, за вказаних вище умов, досягається відповідно – з КСПП за 1145 с (19,2 хв) у порівнянні з базовим варіантом – за 1450 с (24,2 хв).

Для проведення теоретичних досліджень розроблена, а після проведення експериментальних досліджень уточнена методика розрахунку параметрів прогріву ОР і МО, паливної економічності й екологічних показників газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14) при застосуванні в СОД і СМ розробленої КСПП з ТА фазового переходу під час передпускового і післяпускового прогріву [2, 4, 5, 8-12].

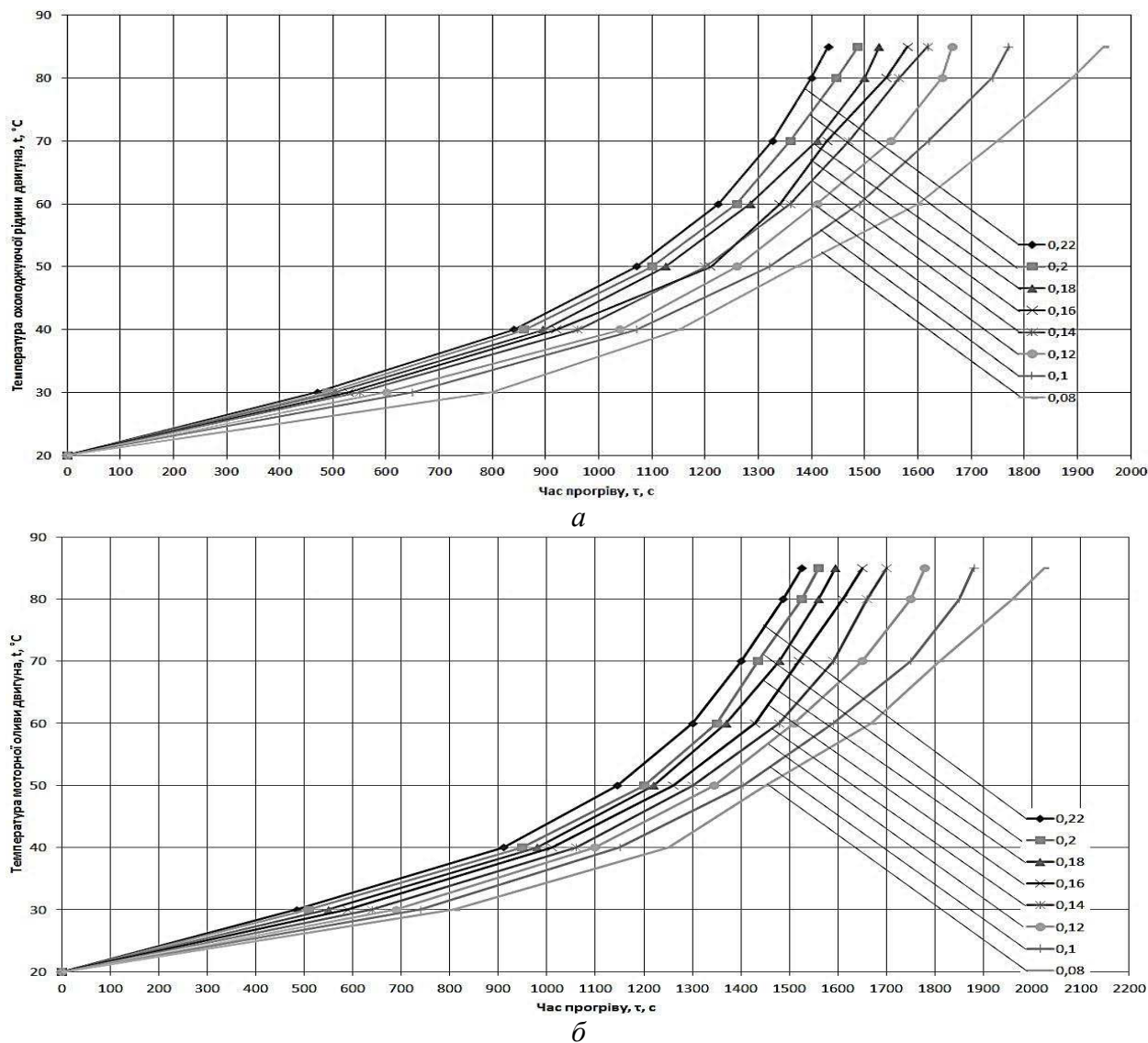
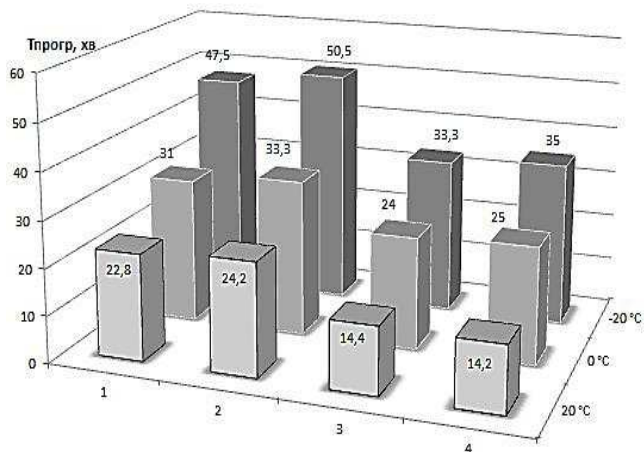


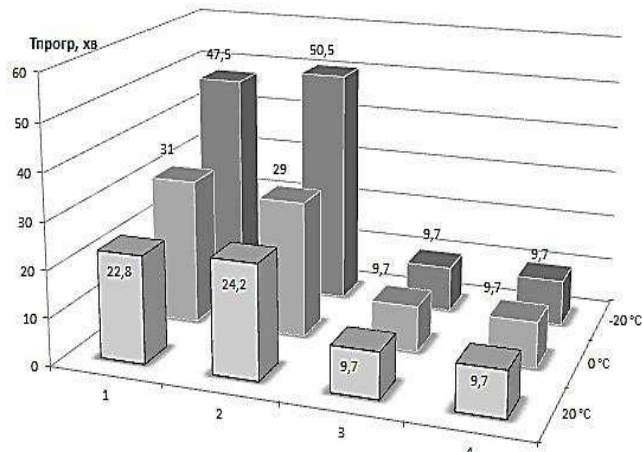
Рис. 1. Результати вимірювання параметрів прогріву газового двигуна в залежності від швидкості теплоносія w , м/с: а – часу прогріву ОР зі штатним насосом і ТА; б – часу прогріву МО зі штатним насосом і ТА

У процесі моделювання формувалася цикл передпускового і післяпускового прогріву газового ДВЗ від початку розряджання теплового акумулятора (початок теплової підготовки ДВЗ) до повного його заряджання, що визначається температурою фазового переходу теплоаккумуляуючого матеріалу. При моделюванні роботи СП розглядалися процеси передпускового і післяпускового прогрівання ОР і МО газового двигуна 6Ч 12/14 в інтервалі температур навколишнього середовища T_{oc} , а саме: 20 °С, 0 °С, -20 °С.

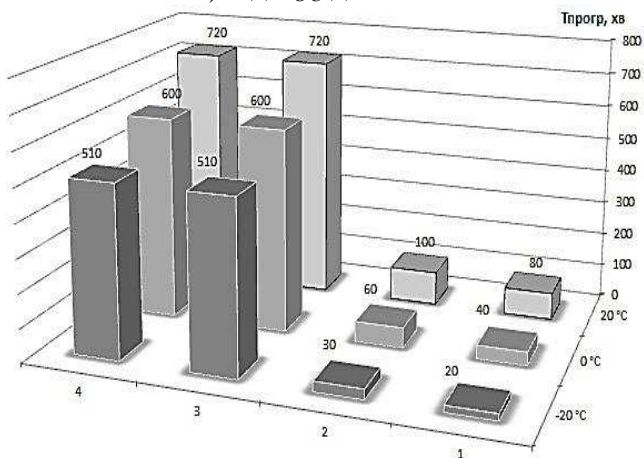
На рис. 2,а і б показані порівняльні діаграми значень часу теплової підготовки газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) при різних варіантах прогріву, а саме від T_{oc} до 50 °С (рис. 2,а) і від 50 до 85 °С (рис. 2,б), у результаті оснащення двигуна КСПП з ТА фазового переходу, хв: 1 – прогрів ОР від штатної системи (ШС) охолодження двигуна (без ТА); 2 – МО від ШС двигуна (без ТА); 3 – ОР від двигуна з ТА; 4 – МО від двигуна з ТА.



а) від T_{OC} до 50 °C



б) від 50 °C до 85 °C



в) підтримання (зберігання) $T_{OP} \approx T_{MO} > 50$ °C

Рис. 2. Час теплової підготовки газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) при різних варіантах прогріву, а саме від T_{OC} до 50 °C (а) і від 50 до 85 °C (б) та підтримання (зберігання) $T_{OP} \approx T_{MO} > 50$ °C (в) в умовах T_{OC} (непрацюючий двигун), у результаті оснащення двигуна КСПП з ТА фазового переходу, хв: 1 – ОР від ШС двигуна (без ТА); 2 – МО від ШС двигуна (без ТА); 3 – ОР від (в) двигуна(і) з ТА; 4 – МО від (в) двигуна(і) з ТА

З рис. 2,а видно, що прогрівання ОР від ШС охолодження двигуна (без ТА) від T_{OC} до 50 °C при +20 °C (0 °C/-20 °C) відбувається відповідно (варіант 1) за 22,8 (31/47,5) хв, а МО від ШС мащення двигуна (без ТА) від T_{OC} до 50 °C при тих же T_{OC} відбувається відповідно (варіант 2) за 24,2 (33,3/50,5) хв. Прогрівання ж ОР від двигуна з використанням КСПП з ТА фазового переходу (варіант 3) при тих же T_{OC} відбувається відповідно за 14,4 (24/33,3) хв, а МО (варіант 4) від двигуна з ТА – за 14,2 (25/35) хв. З варіантів 3 і 4 на рис. 1,а видно, що використання КСПП з ТА для прогріву двигуна однозначно дає вигравш у часі прогрівання ОР і МО в порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом прогріву. Час прогріву суттєво знижується у порівнянні з

класичним методом прогріву для всіх $T_{OC} = +20$ °C (0 °C/-20 °C), а саме відповідно на 36,9 (22,9/29,9) % для ОР і на 41,3 (25/30,8) % для МО.

З рис. 2,б видно, що прогрівання ОР від ШС охолодження двигуна (без ТА) від 50 до 85 °C при +20 °C (0 °C/-20 °C) відбувається відповідно (варіант 1) за 22,8 (31/47,5) хв, а МО від ШС мащення двигуна (без ТА) від 50 до 85 °C при тих же T_{OC} відбувається відповідно (варіант 2) за 24,2 (29/50,5) хв. Прогрівання ж ОР від двигуна з використанням КСПП з ТА фазового переходу (варіант 3) при тих же T_{OC} відбувається відповідно за 9,7 (9,7/9,7) хв, а МО (варіант 4) від двигуна з ТА – за 9,7 (9,7/9,7) хв. З варіантів 3 і 4 на рис. 2,б видно, що використання КСПП з ТА для прогріву двигуна однозначно дає вигравш у

часі прогрівання ОР і МО в порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом прогріву. Час прогріву суттєво знижується у порівнянні з класичним методом прогріву для всіх T_{OC} відповідно, а саме відповідно на 57,5 (69/79,6) % для ОР і на 60 (71/80,8) % для МО.

На рис. 2,в показані порівняльні діаграми значень часу теплової підготовки газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) при непрацюючому двигуні в процесі підтримання (зберігання ДВЗ) $T_{OP} \approx T_{MO} > 50^\circ\text{C}$ в умовах T_{OC} у результаті оснащення двигуна КСПП з ТА фазового переходу, хв: 1 – ОР з ШС двигуна (без ТА); 2 – МО з ШС двигуна (без ТА); 3 – ОР у двигуні з ТА; 4 – МО у двигуні з ТА. З рис. 2,в видно, що зберігання $T_{OP} > 50^\circ\text{C}$ двигуна зі ШС охолодження (без ТА) при $+20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) відбувається відповідно (варіант 1) за 80 (40/20) хв, а МО зі ШС мащення двигуна (без ТА) в межах $T_{MO} > 50^\circ\text{C}$ при тих же T_{OC} відбувається відповідно (варіант 2) за 100 (60/30) хв. Зберігання ж теплоти ОР у двигуні з використанням КСПП з ТА фазового переходу (варіант 3) при тих же T_{OC} відбувається відповідно за 720 (600/510) хв, а МО (варіант 4) у двигуні з ТА – за 720 (600/510) хв. З варіантів 3 і 4 на рис. 3 видно, що використання КСПП з ТА для зберігання теплової енергії двигуна в процесі експлуатації двигуна однозначно дає вигоду у часі підтримання ОР і МО в прогрітому стані у порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом зберігання теплової енергії. Час зберігання теплової енергії суттєво збільшується у порівнянні з класичним методом зберігання для всіх T_{OC} відповідно, а саме відповідно на 900 (1400/2450) % для ОР і на 620 (900/1600) % для МО.

На рис. 3 показані порівняльні діаграми значень витрати палива, м^3 (рис. 3,а,б), для здійснення подогріву і

викиди оксидів азоту, г (рис. 3,в,г) та викиди твердих часток, мг (рис. 3,д,е) у процесі теплової підготовки газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) при різних варіантах прогріву, а саме від T_{OC} до 50°C (рис. 3,а,в,д) і від 50 до 85°C (рис. 3,б,г,е) у результаті оснащення двигуна КСПП з ТА фазового переходу: 1 – ОР від ШС двигуна (без ТА); 2 – МО від ШС двигуна (без ТА); 3 – ОР від двигуна з ТА; 4 – МО від двигуна з ТА.

З рис. 3,а видно, що при прогріві ОР і МО двигуна без використання КСПП з ТА (базові системи з класичним методом прогріву) від T_{OC} до 50°C при $+20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) витрачається відповідно (варіант 1 і 2) $2,424$ ($3,147/3,764$) м^3 , а з використанням КСПП з ТА при $+20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) витрачається за тих же умов відповідно (варіант 3 і 4) $0,636$ ($0,789/0,933$) м^3 . З рис. 3,б видно, що при прогріві ОР і МО двигуна без використання КСПП з ТА (базові системи з класичним методом прогріву) від 50 до 85°C при $+20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) витрачається відповідно (варіант 1 і 2) аналогічно $2,424$ ($3,147/3,764$) м^3 , а з використанням КСПП з ТА при $+20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) витрачається за тих же умов відповідно (варіант 3 і 4) $0,424$ ($0,647/0,659$) м^3 . З рисунка видно, що використання КСПП з ТА для прогріву двигуна однозначно дає вигоду у витраті палива при прогріванні ОР і МО в порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом прогріву, так, витрата палива суттєво знижується у порівнянні з класичним методом прогріву для всіх $T_{OC} = +20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$), а саме відповідно на 73,8 (74,5/75,2) % від T_{OC} до 50°C і на 82,5 (79,4/82,5) % від 50 до 85°C для ОР і МО. При зберіганні теплової енергії для ОР і МО при використанні КСПП з ТА паливо взагалі не використовується, тому що двигун не працює.

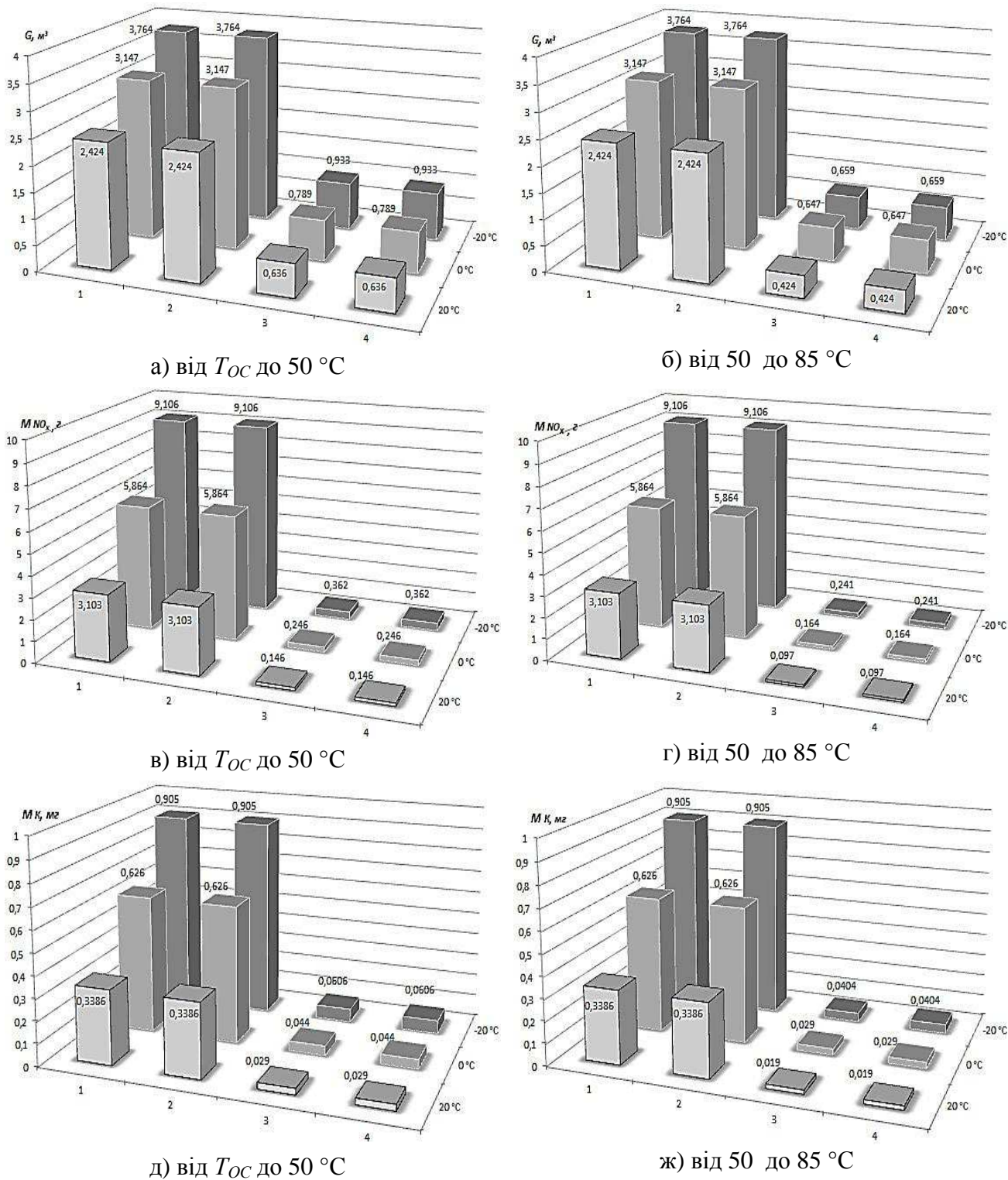


Рис. 3. Витрата палива, m^3 (а, б) для здійснення прогріву і викиди оксидів азоту, г (в, г) та викиди твердих часток, мг (д, е) у процесі теплової підготовки газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) при різних варіантах прогріву, а саме від T_{0C} до 50 °C (а, в, д) і від 50 до 85 °C (б, г, е) у результаті оснащення двигуна КСПП з ТА фазового переходу: 1 – ОР від ШС двигуна (без ТА); 2 – МО від ШС двигуна (без ТА); 3 – ОР від двигуна з ТА; 4 – МО від двигуна з ТА

Аналіз рис. 3,в і з показав, що використання КСПП з ТА для прогріву двигуна однозначно дає скорочення викидів оксидів азоту при прогріванні ОР і МО в порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом прогріву, так скорочення викидів оксидів азоту суттєво знижується у порівнянні з класичним методом прогріву для всіх $T_{OC} = +20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$), а саме відповідно на 95 (96/96) % від T_{OC} до 50°C і на 96,9 (97,2/97,3) % від 50 до 85°C для ОР і МО.

Аналіз рис. 3,д і е показав, що використання КСПП з ТА для прогріву двигуна однозначно дає скорочення викидів твердих часток при прогріванні ОР і МО в порівнянні з базовими СОД і МО з класичним методом прогріву, так, скорочення викидів твердих часток суттєво знижується у порівнянні з класичним методом прогріву для всіх $T_{OC} = +20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$), а саме відповідно на 91,4 (92,97/93) % від T_{OC} до 50°C і на 94 (95,3/95,5) % від 50 до 85°C для ОР і МО. При зберіганні теплової енергії для ОР і МО при використанні КСПП з ТА викиди оксидів азоту і твердих часток відсутні, тому що паливо для прогріву взагалі не використовується.

Досягнуті позитивні ефекти пояснюються тим, що прогрівання ОР і МО перед пуском здійснюється з використанням теплового акумулятора КСПП, тобто пуск двигуна для їх прогріву не потрібен, а передпусковий прогрів ОР і МО здійснюється за рахунок тільки

теплоти, накопиченої тепловим акумулятором з фазовим переходом системи прогріву.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Розроблений ТА фазового переходу з теплоакумлюючим матеріалом поліетилен високої щільності показав свою працездатність при випробуваннях на спеціальному стенді як при зарядці, так і при розрядці.

2. Використання ТА фазового переходу КСПП для газового двигуна К-159М2 (6Ч 12/14) дає змогу суттєво покращити показники часу прогріву для всіх $T_{OC} = +20^\circ\text{C}$ ($0^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$) від T_{OC} до 50°C до 22,9 – 36,9 % для ОР і до 25 – 41,3 % для МО, а від 50 до 85°C до 57,5 – 79,6 % для ОР і до 60 – 80,8 % для МО, економічності – від T_{OC} до 50°C до 73,8 – 75,2 % для ОР і МО, а від 50 до 85°C до 79,4 – 85,5 % для ОР і МО, екологічності для оксидів азоту – від T_{OC} до 50°C до 95 – 96 % для ОР і МО, а від 50 до 85°C до 96,9 – 97,3 % для ОР і МО, та твердих часток – від T_{OC} до 50°C до 91,4 – 93 % для ОР і МО, а від 50 до 85°C до 94 – 95,5 % для ОР і МО. Час зберігання теплової енергії при не працюючому двигуні з використанням ТА суттєво збільшується у порівнянні з класичним методом зберігання для всіх T_{OC} відповідно, а саме відповідно в 9 – 24,5 разів ОР і в 6,2 – 16 разів для МО. Паливо при цьому не використовується і відповідно, викиди – відсутні.

Список використаних джерел

1. Шульгин, В. В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств [Текст] / В. В. Шульгин. – СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. – 268 с.
2. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування [Текст] / В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. Ф. Гутаревич [та ін.]. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015. – 314 с.
3. Вашуркин, И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой [Текст] / И. О. Вашуркин. – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.
4. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів [Текст] / В. Д. Александров, Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук [та ін.]. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж». Донецьке відділення, 2014. – 230 с.

5. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур [Текст] / Д. С. Адров, І. В. Грицук, Ю.В. Прилепський [та ін.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 117-126.

6. Експериментальні дослідження системи комбінованого прогріву двигуна з тепловим акумулятором [Текст] / Д. С. Адров, І. В. Грицук, В. Д. Александров [та ін.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С. 158-167.

7. Schatz, D. Latentwärmespeicher für Kaltstartverbesserung von Kraftfahrzeugen [Text] / D. Schatz // Brennst. - Wärme-Kraft, 1991. №6. - P. 333-340.

8. Дослідження системи передпускового розігріву газового двигуна на основі використання теплового акумулятора з теплоакумуючим матеріалом, що має фазовий перехід [Текст] / В. С. Вербовський, І. В. Грицук, Д. С. Адров [та ін.] // Двигатели внутреннего сгорания: науч.-техн. журнал. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2013. – №1. – С. 110-116.

9. Особливості передпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом [Текст] / В. С. Вербовський, І. В. Грицук, Д.С. Адров [та ін.] // Двигатели внутреннего сгорания: науч.-техн. журнал. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2014. – №2. – С. 85-90.

10. Гутаревич, Ю.Ф. Дослідження системи комбінованого прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом [Текст] / Ю.Ф. Гутаревич, І.В.Грицук // Двигатели внутреннего сгорания: науч.-техн. журнал. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2014. – №1. – С. 67-73.

11. Грицук, І.В. Особливості дослідження системи прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом [Текст] / І. В. Грицук // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2014. – Вип. 38. – С. 117-133.

12. Гутаревич, Ю.Ф. Вплив системи прогріву з тепловим акумулятором фазового переходу на показники пуску і прогріву транспортного двигуна [Текст] / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.5. Seria:Transport. – Rzeszow, 2014. – P. 155-160.

13. Rosen M. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems [Text] / M. Rosen, F.Hooper, L. Barbaris // J. of Solar Energy Engineering. 1988. Nov. V. 110. – P. 255-262.

14. Особливості розігріву газового двигуна при використанні системи передпускового прогріву [Текст] / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, О. С. Добровольський [та ін.] // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13. – С. 41-50.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Грицук Ігор Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. E-mail: gritsuk_iv@ukr.net.

Вербовський Валерій Степанович, старш. наук. співробітник, Інститут газу Національної академії наук України. E-mail: vverbovskiy@teplosoyuz.com.

Gritsuk Igor Valerievich, Candidate of Technical Science (Ph.D), associate professor, Technical Operation and Service Cars Department, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine. E-mail: gritsuk_iv@ukr.net.

Verbovskii Valery Stepanovich, Senior Research Fell, Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. E-mail: vverbovskiy@teplosoyuz.com.

Стаття прийнята 10.05.2016 р.