

*Трифонов Д.М., старший викладач
Національний транспортний університет
Вербовський В.С., старший науковий співробітник
Інститут газу НАН України
Грицук І.В., к.т.н., доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО АКУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПУСКУ ХОЛОДНОГО ДВИГУНА ТА ЙОГО ПРОГРІВАННЯ ЗА РАХУНОК ПОЛІПШЕННЯ СУМІШОУТВОРЕННЯ

Розглянуто питання, пов'язане з оптимізацією витрати палива в режимі холодного пуску й прогрівання двигуна з іскровим запалюванням. З метою забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення запропоновано пристрій для акумулювання частини теплової енергії відпрацьованих газів з використанням теплового акумулятора фазового переходу, що є одним з перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті.

***Ключові слова:** двигун з іскровим запалюванням, пуск холодного двигуна, тепловий акумулятор фазового переходу, фазоперехідний теплоакumuлюючий матеріал.*

*Трифонов Д.Н., старший преподаватель
Национальный транспортный университет
Вербовский В.С., старший научный сотрудник
Институт газа НАН Украины
Грицук И.В., к.т.н., доцент
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУСКА ХОЛОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ПРОГРЕВА ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрен вопрос, который связан с оптимизацией расхода топлива в режиме холодного пуска и прогрева двигателя с искровым зажиганием. С целью обеспечения пуска холодного двигателя и его прогрева за счет улучшения смесеобразования предложено устройство для аккумуляирования части тепловой энергии отработавших газов с использованием теплового акумулятора фазового перехода, что является одним из перспективных направлений реализации энергоэффективных технологий на автомобильном транспорте.

***Ключевые слова:** двигатель с искровым зажиганием, пуск холодного двигателя, тепловой акумулятор фазового перехода, фазопереходный теплоакumuлирующий материал.*

*Trifonov D., senior lecturer
National Transport University
Verbovskiy V., senior researcher
The gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
Gritsuk I., PhD, Associated Professor
Kharkov national automobile and highway University*

THE USE OF THE HEAT ACCUMULATOR PHASE TRANSITION TO ENSURE A COLD START THE ENGINE AND WARM IT UP BY IMPROVING CARBURETION

Emission of toxic substances from exhaust gas of automobiles is one of the characteristics of their environmental safety, depends on various factors, among which one of the important roles played by the temperature supplied to the internal combustion engine air.

A number of studies showing that the emission of toxic substances in exhaust gases into the engine warm-up mode increases 6 – 10 times.

Despite the fact that the problem of starting and warming up the internal combustion engine at low temperatures has been well studied, but, nevertheless, the technical means to facilitate starting the internal combustion engine have significant drawbacks. The disadvantages of these devices are primarily structural complexity, considerable power consumption and low reliability, as a result, relatively low efficiency.

The analysis of existing devices, leads to the conclusion that the most promising avenue to address issues related to the provision of a reliable start-up and rapid heating of the engine is the use of thermal storage phase transition, utilizing waste energy combustion engine (exhaust heat and coolant) through the use of latent heat.

In order to reduce the time of preparation of heat engine with spark ignition to take the load and ensuring optimal working temperature of the catalytic converter, it is proposed to use of thermal storage phase transition for heating air entering the engine during its warm-up. The proposed device does not require significant changes in the design of the power plant, and will enhance its effectiveness in warm-up mode.

To perform tasks to ensure the cold start of the engine and warm it up at low ambient temperatures due to the improvement of mixture formation, which favorably affects the course of the workflow, the authors proposed a system of recycling and storage of the thermal energy of the exhaust gases using a heat accumulator phase transition. Heat accumulator phase transition provides the increase and stabilization of temperature of air that enters the cylinders of the internal combustion engine in the operating modes start-up and warm it up.

The thermal battery of the phase transition, which was designed, manufactured and tested at the Department «heat Engines» of National Transport University, with the participation of employees of the Institute of gas of the National Academy of Sciences of Ukraine, in which the heat accumulating material used octahydrate of barium hydroxide. The results quite convincingly demonstrate the possibility of using the heat accumulator phase transition to improve the mixture formation during cold start of the spark-ignition engine and warm it up.

Keywords: *spark ignition engine, the engine cold start, the heat accumulator of the phase transition, phase transition heat accumulating material.*

Вступ. Пріоритетним напрямом зменшення емісії токсичних речовин у відпрацьованих газах, а також зниження викидів вуглекислого газу автотранспортними засобами, згідно з оцінками Міжнародного енергетичного агентства, є підвищення їх паливної економічності. Із цією метою постійно посилюються міжнародні стандарти, які лімітують показники експлуатації силової установки в умовах низьких температур навколишнього повітря, зокрема в режимах пуску та подальшого прогрівання. Ряд досліджень показує, що емісія токсичних речовин у відпрацьованих газах у режимі прогрівання двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) збільшується в 6 – 10 разів. У зв'язку із цим норма EURO 4, на відміну від EURO 3, вимагає забезпечити зниження рівня токсичних викидів відразу після холодного пуску двигуна, а не після його прогрівання.

Отже, одним з пріоритетних напрямів розвитку автомобільного транспорту є створення енергоефективних технологій, що дозволяють раціонально витратити непоновлювані джерела енергії.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Питанням експлуатації автомобілів в умовах низьких температур навколишнього повітря, зокрема пуску холодного двигуна та його подальшого прогрівання, присвячено значну кількість робіт.

Аналіз літературних джерел [1 – 3] показав, що труднощі пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням при низьких температурах навколишнього повітря обумовлюються трьома основними причинами: погіршенням випаровування палива, зростанням в'язкості оливи в системі мащення двигуна і зниженням ємності акумуляторної батареї (АБ).

Крім цих основних причин, пуск холодного двигуна також ускладнений унаслідок: низької температури повітря, яке надходить у двигун, що призводить до погіршення сумішоутворення; збільшення втрат паливоповітряної суміші через нещільності в циліндропоршневій групі; інтенсивної тепловіддачі в стінки циліндра, що призводить до зниження температури кінця стискування; зниження частоти обертання колінчастого вала двигуна.

У працях вітчизняних та зарубіжних учених розроблено й досліджено численні способи і засоби полегшення пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. Проте практика експлуатації показує, що багато з них мають суттєві недоліки, які вимагають пошуку принципово нових способів розв'язання завдання пуску холодного двигуна [4].

Крім того, застосування цих пристроїв призводить до невіправданих фінансових витрат, пов'язаних з їх установкою й обслуговуванням, витратами на паливо для їх роботи, що призводить до додаткового забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами, які містяться в продуктах згоряння.

Необхідність використання цих пристроїв перед пуском холодного двигуна, на думку ряду авторів, спричиняє значне зниження зносу деталей двигуна за рахунок його підігріву, зокрема – підвищення температури охолоджувальної рідини (ОР) й оливи в картері.

Проведений аналіз та узагальнення літературних даних дозволяють таким чином оцінити ефективність цих пристроїв.

Порівняльна оцінка зносу двигунів з іскровим запалюванням, зокрема карбюраторних, яка дає змогу судити про ефективність і, як наслідок, доцільність застосування додаткових пристроїв, досить повно дана в роботах А.А. Гурєєва при проведенні порівняльного дослідження зносів трьох однакових двигунів ЗИЛ-375 [5]. Пуск першого двигуна здійснювався з подачею пускової рідини у впускний колектор, другого – з індивідуальним рідинним підігрівником П-100, третього – без засобів полегшення пуску.

На кожному з двигунів було проведено по 100 пусків у холодильній камері при температурі мінус 25°C.

Середні дані про максимальний знос гільз циліндрів методом вирізаних лунок виявилися досить близькими для всіх трьох двигунів і за абсолютним значенням – вельми невеликими. Деяке збільшення зношеності в двигуні без засобів полегшення пуску пояснюється, на думку авторів, тим, що деякі пуски вдавалися лише з другої чи третьої спроби, в результаті чого незгорілий бензин за невдалі спроби змивав оливу зі стінок циліндра, що і призводило до підвищеного зносу.

Випробування ряду двигунів з індивідуальними рідинними підігрівачами показали, що за період підігрівання, незалежно від прийнятого способу циркуляції теплоносія, інтенсивно прогріваються тільки головка блока циліндрів і верхня частина стінок циліндрів двигуна, а також олива в картері двигуна, котра отримує теплоту від відпрацьованих газів у підігрівачі за наявності такої можливості. Темп прогрівання підшипників колінчастого вала при цьому дуже невеликий.

Так, за даними джерела [6], середній темп прогрівання стінок циліндрів становить близько 6°C/хв, оливи в картері двигуна – до 2,5°C/хв, корінних підшипників колінчастого вала – до 1,5°C/хв.

За відсутності в індивідуальному рідинному підігрівачі можливості підігрівання оливи в картері двигуна швидкість наростання її температури знижується в кілька разів. За даними деяких джерел, підвищення температури ОР на 8 – 10°C призводить до підвищення температури оливи тільки на 1 – 1,5°C.

Таким чином, аналіз стану питання, пов'язаного з холодним пуском ДВЗ в умовах низьких температур навколишнього повітря, показав, що використання передпускового підігрівання двигуна з іскровим запалюванням не забезпечує необхідного підвищення температури оливи в картері двигуна і тим більше достатнього прогрівання підшипників колінчастого вала при відповідному прогріванні стінок циліндрів двигуна та є малоефективним пристроєм, що вимагає додаткової витрати палива (залежно від температури навколишнього повітря).

До того ж спеціальна обробка циліндропоршневої групи сучасних двигунів і сучасні синтетичні загущені оливи, котрі використовуються в системі мащення ДВЗ при низьких температурах навколишнього повітря, зводять різницю зносу при пуску холодного двигуна різними методами практично до нуля.

Синтетичні оливи за рахунок однорідної молекулярної структури та мінімального вмісту присадок мають виняткові в'язкісно-температурні характеристики, що істотно полегшує пуск холодного двигуна без попереднього підігрівання [7].

Відомі пристрої для поліпшення сумішоутворення в бензинових двигунах, котрі містять елементи, які нагріваються за допомогою електроенергії та встановлюються у впускному трубопроводі й забезпечують умови для додаткового випаровування рідкої фази палива в паливоповітряній суміші. Недоліками таких пристроїв є насамперед збільшення опору на впуску, недостатня ефективність за малої площі контакту паливоповітряної суміші й нагрівального елемента, для роботи потрібне підключення до бортової електричної мережі автомобіля. Досвід експлуатації показує, що при температурі мінус 18°C ємність акумуляторної батареї може становити від початкової лише 40% [8].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Для розв'язання поставленого завдання щодо оптимізації витрати палива в режимі холодного пуску та прогрівання двигуна з іскровим запалюванням необхідно забезпечити поліпшення сумішоутворення за рахунок підвищення температури повітря на вході в двигун за допомогою пристрою для утилізації й акумулювання частини теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ з використанням теплового акумулятора фазового переходу.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз й оцінювання ефективності пристроїв для передпускової теплової підготовки двигуна з іскровим запалюванням та визначення перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті з метою підвищення паливно-економічних й екологічних показників автомобіля.

Основний матеріал і результати. Відомо, що близько 50–60% теплоти, введеної з паливом у двигун, складають теплові втрати з ОР та відпрацьованими газами. Створення пристрою, здатного утилізувати й акумулювати на досить тривалий час частину цих втрат у вигляді теплової енергії з метою подальшого її використання, є одним з найбільш перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті [9].

Як основний елемент такого пристрою запропоновано використовувати тепловий акумулятор фазового переходу (ТАФП), який дозволяє акумулювати надлишкову теплоту в теплоакumuлюючих матеріалах (ТАМ) на основі фазових переходів типу «плавлення–кристалізація» [10, 11].

Нині, як зазначалося вище, перспективним напрямом у галузі створення енергоемних теплових акумуляторів є використання прихованої теплоти фазового переходу «плавлення – кристалізація». Акумулятори на основі фазового переходу порівняно з традиційними теплоємнісними акумуляторами мають високу щільність акумульованої енергії.

У зв'язку із цим, особливо важливого значення набувають пошук і розроблення нових енергоемних та дешевих ТАМ для теплоакumuлюючих пристроїв.

Для з'ясування можливості застосування того або іншого ТАМ у теплових акумуляторах фазового переходу важливе значення мають перш за все теплофізичні властивості, такі як температура і теплота плавлення, щільність, теплоємність та теплопровідність у твердій і рідкій фазах та в'язкість у рідкій фазі.

Аналіз даних науково-технічної літератури показав, що потенційно придатними для акумулювання низькопотенційної теплової енергії, надлишкової енергії ОР (з рівнем температури, меншим ніж 110°C) є кристалогідрати неорганічних сполук. Вони найбільш повно відповідають вимогам, що пред'являються до ТАМ. Так, кристалогідрати плавляться при температурах, нижчих ніж 400–500 К, мають високу питому теплоту плавлення – близько 400–420 кДж/кг, вони малотоксичні й відносно дешеві [12, 13].

Оскільки за температурою плавлення практично всі кристалогідрати придатні для акумулювання низькопотенційної теплоти $T_{пл} < 400$ К, а стабільність і корозійна активність кристалогідратів можуть бути встановлені тільки в результаті тривалого термоциклування, то як критерії для вибору ТАМ використовують щільність акумульованої енергії та кількість теплової енергії, що припадає на одиницю вартості. При цьому найбільш перспективними вважаються матеріали, які акумулюють енергії не менше 200 МДж/м³ при витратах не більше 100 кДж на одиницю вартості.

Експериментальні дані, отримані авторами в роботі [14] про температуру і теплоту плавлення найбільш перспективних кристалогідратів неорганічних сполук, свідчать, що температура плавлення цих кристалогідратів знаходиться в межах 286–388 К, теплота плавлення – 100–300 кДж/кг.

У результаті відбору з дотриманням зазначених вище вимог було визначено найбільш перспективний матеріал, який може бути використаний для акумулювання низькопотенційної теплової енергії, а саме октагідрат гідроксиду барію $(Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O)$. CAS номер: 12230-71-6.

У таблицях 1 та 2 наведено наявні в літературі експериментальні дані основних теплофізичних властивостей октагідрату гідроксиду барію.

Таблиця 1 – Температура і теплота плавлення

Назва та хімічна формула кристалогідрату	Температура плавлення $T_{пл}$	Теплота плавлення $H_{пл}$	
	К	кДж/кг	МДж/м ³
Октагідрат гідроксиду барію $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	351,2	267	582

Таблиця 2 – Щільність, теплоємність і теплопровідність

Назва та хімічна формула кристалогідрату	Щільність 10^{-3} , кг/м ³		Теплоємність C_p , кДж/кг•К		Теплопровідність λ , Вт/м•К	
	тверда фаза	рідка фаза	тверда фаза	рідка фаза	тверда фаза	рідка фаза
Октагідрат гідроксиду барію $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	2,18	2,06	1,172	2,177	1,25	0,65

Ці дані необхідні при проектуванні й експлуатації ТАФП – для визначення робочої температури їх заряджання (розряджання), розрахунку загальної кількості теплоти, яка буде акумульована, й оцінювання інших теплових і технологічних характеристик теплового акумулятора.

Виконаний аналіз насамперед патентно-ліцензійної документації за останні роки показав, що сьогодні накопичено достатньо великий досвід створення систем передпускової теплової підготовки двигунів автомобілів з використанням ТАФП. Застосування ТАФП пропонується в основному для підігрівання ОР перед пуском холодного ДВЗ. Як теплоносія, котрий використовується для заряджання ТАФП, запропоновано застосовувати ОР зі штатної системи охолодження.

Недоліком цих систем є обмежена теплоємність ТАФП унаслідок використання низькопотенційного теплоносія, яким виступає ОР (температура ОР не перевищує в середньому 90°C). Такий тепловий акумулятор (ТА) здатний забезпечити невисокі температури підігріву двигуна в процесі розрядження ТА (не більше 40 – 60°C). Для зниження теплових опорів при передачі теплоти від теплоносія до ТАМ і в зворотному напрямі потрібно використати досить дорогі метали та сплави з низьким питомим опором. Це призводить до необхідності додаткових систем контролю й захисту від корозії, тому що матеріал капсул (трубок), які контактують з теплоносієм, і корпусу ТАФП мають різні теплофізичні та електрохімічні властивості, що знижує надійність системи в процесі експлуатації.

Крім цього, для заряджання ТАФП необхідно нагріти додаткову кількість ОР (а це не менше 0,5 – 0,75 штатної заправки системи охолодження) і ТАФП до повного переходу ТАМ у рідку фазу. Для цього потрібна додаткова витрата палива, в результаті чого під час заряджання ТАФП відбувається збільшення емісії токсичних речовин і вуглекислого газу у відпрацьованих газах двигуна.

З урахуванням вищевикладеного можна зробити деякі висновки, пов'язані з холодним пуском ДВЗ:

– установлення та використання для теплової передпускової підготовки холодного ДВЗ індивідуальних рідинних підігрівачів, які використовують паливо або електричну енергію, в тому числі й ТАФП, з метою підігрівання ОР і/або оливи в картері ДВЗ призводить, передусім, до невиправданих економічних витрат, внесення не санкціонованих виробником змін у конструкцію ДВЗ та систем, які забезпечують його роботу, і, як наслідок, до зниження надійності роботи силової установки;

– для розв’язання завдання пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням, зокрема з карбюраторними системами живлення й монопорскуванням, необхідно забезпечити якісне сумішоутворення та відповідні умови для займання паливоповітряної суміші. Ця задача розв’язується як за рахунок забезпечення оптимальної температури повітря, що надходить до системи живлення двигуна повітрям під час пуску, так і її стабілізації протягом прогрівання ДВЗ.

У роботі [15] автори встановили, що забезпечення оптимальної температури повітря на вході в систему живлення двигуна повітрям, сприяє поліпшенню гомогенності паливоповітряної суміші, а це сприятливо позначається на протіканні робочого процесу і, як наслідок, на паливній економічності та екологічних показниках двигуна.

Для розв’язання означеної задачі автори статті запропонували систему утилізації та акумулювання частини теплової енергії відпрацьованих газів з використанням ТАФП, з подальшим забезпеченням оптимальної температури повітря, що надходить у двигун.

За результатами проведених досліджень на кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету з участю працівників Інституту газу НАН України було розроблено, виготовлено і випробувано ТАФП.

Виготовлений ТАФП являє собою теплообмінний апарат кожухотрубного типу з коробчастим кожухом, який складається з корпусу з шаром теплової ізоляції, двох газових трубних пучків (теплообмінників), змонтованих на трубних дошках, між якими знаходиться фазоперехідний ТАМ. Теплоакумулюючим матеріалом є октагідрат гідроксиду барію $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, температура плавлення якого становить 351,2 К.

Запропонований тепловий акумулятор заряджається від високотемпературних відпрацьованих газів двигуна. Теплоносієм при віддачі теплоти від ТАФП двигуну слугує повітря, що надходить у двигун.

Випробування ТАФП показало, що пристрій нагрівався за допомогою металокерамічного нагрівача, що забезпечувало температуру повітря на вході в ТАФП у межах 305 – 310°C. Температура навколишнього повітря становила плюс 16°C, атмосферний тиск – 101324 Па, вологість повітря – 83%. Згідно з умовами експерименту нагрівання газових трубних пучків (теплообмінників) здійснювалося до 115 – 120°C.

Час, необхідний для нагрівання до температури 117°C, склав 155 хв (рис. 1).

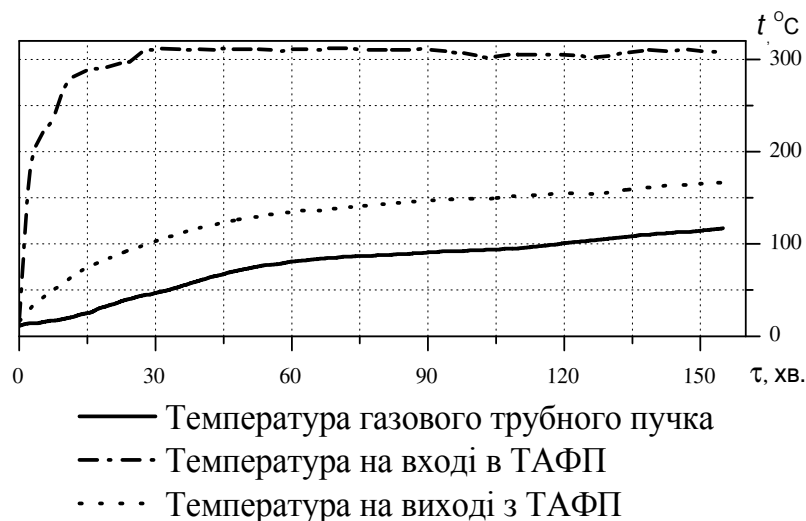


Рисунок 1 – Зміна температур ТАФП при заряджанні

При цьому температура газового трубного пучка, призначеного для віддачі теплоти повітрю, що надходить у двигун, постійно збільшувалась. У період часу з 68 по 110 хв спостерігається уповільнення збільшення температури (рис. 2). Таке уповільнення можна пояснити періодом плавлення кристалогідрату. Тривалість періоду плавлення становить 43 хв.

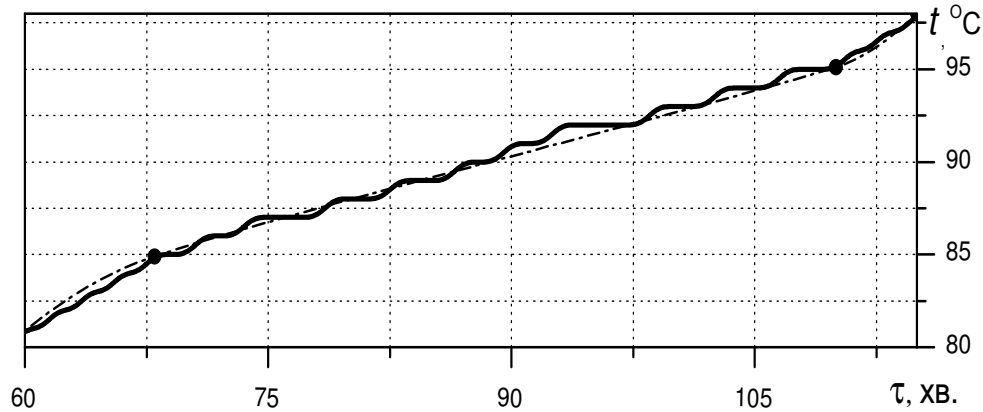


Рисунок 2 – Зміна температури ТАФП при заряджанні (період плавлення ТАМ)

При природному охолодженні час розрядження ТАФП в інтервалі температур від 116 до 65°C склав 220 хв, за цей час середня швидкість зниження температури ТАФП становила 0,23°C за хвилину.

Уповільнення зменшення температури газового трубного пучка спостерігається з 69 по 186 хв (рис. 3). Таке уповільнення можна пояснити періодом кристалізації кристалогідрату. Тривалість періоду кристалізації ТАМ становить не менше 120 хв. Температура газового трубного пучка, призначеного для віддачі теплоти повітрю, що надходить у двигун, відносно стабілізувалася в інтервалі від 84 до 73°C, середня температура – 78,5°C, при цьому швидкість зниження температури ТАФП становила 0,094°C за хвилину.

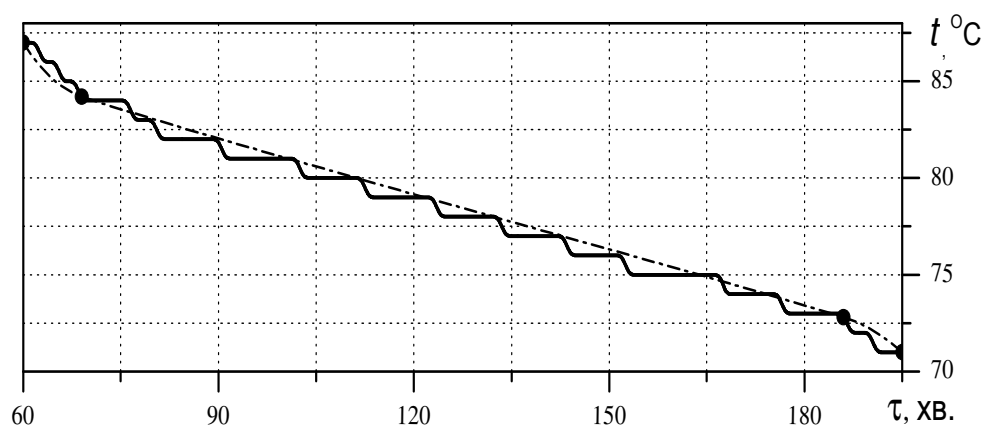


Рисунок 3 – Зміна температури ТАФП при природному охолодженні (період кристалізації ТАМ)

Висновки. Аналіз ефективності різних методів холодного пуску двигуна з іскровим запалюванням з метою визначення перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті дозволяє зробити такі висновки:

– використання передпускового підігрівання двигуна й додаткових пристроїв полегшення пуску холодного двигуна практично не впливає на зношування деталей двигуна, вимагає додаткової витрати палива та призводить до додаткових викидів CO_2 , тому є малоефективним;

– перспективним напрямом реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті є створення пристрою, здатного утилізувати й акумулювати надлишкову теплову енергію охолоджувальної рідини і/або відпрацьованих газів з метою подальшого її використання для підвищення паливно-економічних й екологічних показників автомобіля;

– теоретично обґрунтовано вибір як теплоакумуючого матеріалу кристалогідратів неорганічних сполук. Для ТАМ запропоновано використання октагідрату гідроксиду барію $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ з температурою плавлення 351,2 К;

– для виконання завдання із забезпечення пуску холодного двигуна за рахунок поліпшення сумішоутворення, що сприятливо позначається на протіканні робочого процесу, запропонована система утилізації й акумулювання частини теплової енергії відпрацьованих газів з використанням теплового акумулятора фазового переходу. ТАФП забезпечує підвищення й стабілізацію температури повітря, яке потрапляє в циліндри ДВЗ у режимах пуску та його прогрівання;

– проведені дослідження ТАФП, виготовленого на кафедрі двигунів і теплотехніки НТУ за участі працівників Інституту газу НАН України, де як ТАМ використовується октагідрат гідроксиду барію $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Отримані результати досить переконливо свідчать про можливість використання ТАФП для поліпшення сумішоутворення при пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням та його прогрівання;

– для розв'язання завдання, пов'язаного із забезпеченням збереження необхідної кількості теплової енергії в міжмінний період експлуатації автомобіля, необхідне проведення додаткових досліджень з метою визначення оптимального теплоізоляційного матеріалу, для забезпечення зменшення теплових втрат (розсіювання тепла в навколишнє середовище), що дозволить оптимізувати масово-габаритні розміри ТАФП.

Література

1. Сарбаев В. И. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / В. И. Сарбаев, В. А. Морозов // Грузовик. – 2013. – № 10. – С. 17 – 20.
2. Гусаков С. В. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска / С. В. Гусаков, А. З. Шарипов, А. А. Меньших // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер: инженерные исследования. – М., 2011. – № 3. – С. 60 – 67.
3. Сырбаков А. П. Эксплуатация автотракторной техники в условиях отрицательных температур: учебное пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2012. – 205 с.
4. Карепов В. А. Системы подготовки двигателей экскаваторов и кранов к запуску при низких температурах / В. А. Карепов, А. И. Хорош. – М. : ЦНИИТстроймаш, 1981. – 52 с.
5. Гуреев А. А. Применение автомобильных бензинов / А. А. Гуреев. – М. : Изд-во «Химия», 1972. – 368 с.

6. *Оберемок В. З. Пуск автомобильных двигателей / В. З. Оберемок, И. М. Юрковский. – М. : Транспорт, 1979. – 118 с.*
7. *Резников В. Д. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости: международный каталог / В. Д. Резников, Т. В. Шестаковская. – М. : Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2005. – 380 с.*
8. *Найман В. С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В. С. Найман. – М. : Изд-во «Астрель», 2007. – 213 с.*
9. *Шульгин В. В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В. В. Шульгин. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2005. – 268 с.*
10. *До питання про можливості використання теплового акумуляування і перетворювачів в системах накопичення енергії тепловозних ДВЗ / І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, Д. С. Адров та ін. // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2011. – Вип. № 25. – С. 80 – 86.*
11. *Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів / В. Д. Александров, Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2014. – 230 с.*
12. *До вибору теплоакумуляюючих матеріалів теплового акумулятора збереження теплового стану ДВЗ / Ю. Ф. Гутаревич, В. Д. Александров, І. В. Грицук та ін. // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 26. – С. 127 – 132.*
13. *Теплоаккумулярующие материалы на основе кристаллогидратов / В. Д. Александров, О. В. Соболев, С. А. Фролова та ін. // Вісник ДонНАБА. – Донецьк, 2009. – Вип. 1 (75). – С. 100 – 103.*
14. *Теплофизические свойства теплоаккумулярующих материалов. Кристаллогидраты: обзоры по теплофизическим свойствам веществ / А. Г. Мозговой, Э. Э. Шпильрайн, М. А. Дибиров и др. – М. : ИВТАН, 1990. – Вып. № 2 (82). – С. 3 – 105.*
15. *Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням / Д. М. Трифонов, О. В. Сирота, С. В. Карев, О. С. Добровольський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Випуск 2 (32). – С. 278 – 285.*

© Трифонов Д.М., Вербовський В.С., Грицук І.В.
Надійшла до редакції 30.11.2015