

УДК 621.43

- Євсєєва Н. О. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: korskovanat@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Сухонос Р. Ф. магістр, старший викладач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: romevs@zpu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9683-3389
- Крестьянінов С. П. магістр, менеджер по роботі з проблемним вантажем ТОВ «Нова пошта», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: krestyaninov095@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГРІВУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВЗ ІЗ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВОДЯНОГО НАСОСА

Мета роботи. Полягає у визначенні функції залежності температури охолоджуючої рідини від часу прогріву системи охолодження малолітражного двигуна внутрішнього згорання у двох виконаннях – з насосом охолоджуючої рідини, що має постійний механічний привід, та з насосом, який має привід від електродвигуна.

Методи дослідження. Використані методи аналізу наукової літератури та теоретичного узагальнення, методи статистичного аналізу, синтезу, спостереження, метод проектної розробки. Графіки оброблялись методом найменших квадратів із знаходженням полінома функції температури від часу. Достовірність результатів оцінено індексом кореляції R^2 .

Отримані результати. Розглянуто сучасні системи охолодження двигунів внутрішнього згорання, в тому числі оснащені насосом охолоджуючої рідини з прямим приводом від електродвигуна. Знайдено залежність температури прогріву двигуна від часу його роботи з механічним приводом насоса та приводом від електродвигуна. Проведено аналіз систем охолодження сучасного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) з безпосереднім приводом насоса охолоджуючої рідини та з керованим електроприводом.

Наукова новизна. Аналіз показників системи охолодження бензинового двигуна легкового автомобіля показав їх залежність від часу прогріву двигуна під час холодного запуску. Встановлено, що у двигуна з електроприводом насоса охолоджуючої рідини скорочується час прогріву, у порівнянні з двигуном з механічним приводом насоса, на півтори хвилини, що забезпечує економію палива 3 %, при температурі ввімкнення електродвигуна насоса 130 °С. Встановлено, що використання електропривода насосу скорочує час його роботи майже на 50 %.

Практична цінність. Визначено функції залежності температури рідини від часу прогріву бензинового двигуна з безпосереднім приводом насоса охолоджуючої рідини та з керованим електроприводом, що дає змогу модернізувати систему охолодження малолітражних двигунів внутрішнього згорання.

Ключові слова: математична модель, метод найменших квадратів, насос, охолоджуюча рідина, прогрів, система охолодження, функція.

Вступ

При згоранні паливоповітряної суміші в циліндрі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) температура робочого тіла суттєво підвищується, і короткочасно може сягати 1600...3200 К. За відсутності примусового охолодження стінок камери згорання, наявна теплота здатна призвести до перегріву деталей двигуна, зміни їх геометричних розмірів та руйнування [1–3].

З іншого боку, порушення теплового балансу ДВЗ надмірним зниженням температури робочого тіла за цикл негативно впливає як на надійність двигуна, так і на економічність його роботи. При переохолодженні двигуна збільшуються втрати тепла з охолоджувальною рідиною, не в повному обсязі випаровується й згоряє паливо, в рідкому вигляді воно проникає в піддон картера і розріджує моторну оливу. Це призводить до зниження потужності і економічності двигуна і швидкого зносу деталей.

Охолодження ДВЗ може здійснюватись рідиною, повітрям, а також (частково) моторною оливою (охолодження поршнів) і паливом (охолодження насосфорсунок дизелів, форсунок систем безпосереднього впорскування бензину або газу). Залежно від прийнятого способу охолодження, до складу системи охолодження входять різні пристрої і механізми, які забезпечують підведення охолоджувача до деталей і теплообмінників [4, 5].

При нормальній тривалій роботі, у більшості двигунів температура охолоджуючої рідини повинна бути від 85 °С до 105 °С. Швидко досягнення такої температури під час «холодного» запуску (процес прогріву двигуна) є вкрай бажаним.

На ряді сучасних двигунів температура охолоджуючої рідини може перевищувати 120 °С.

На даний час дослідженню процесів, що відбуваються в системах охолодження ДВЗ, приділяється недостатньо уваги. Зокрема, актуальним питанням є

особливості роботи системи охолодження з насосом охолоджуючої рідини з приводом від електродвигуна. За наявними аналітичними даними, використання таких насосів дозволяє покращити економічність двигуна.

На більшості автомобільних двигунах застосовується примусова система охолодження, в якій рух охолоджуючої рідини здійснюється рідинним насосом [1, 6]. На шляху охолоджуючої рідини з сорочки охолодження в верхньому патрубку встановлюється термостат – клапан, який автоматично, в залежності від температури, змінює напрямок руху охолоджувальної рідини. Якщо рідина холодна, клапан термостата перекриває прохід рідини в радіатор і направляє її відразу до насоса – здійснюється циркуляція по «малому колу» системи охолодження. Клапан термостата починає відкриватися, пропускаючи охолоджуючу рідину в радіатор, при температурі від 70 °С до 90 °С, в залежності від типу двигуна та його особливостей.

Інтенсивному охолодженню охолоджуючої рідини в радіаторі сприяє потік повітря, створюваний нагнітаючим або всмоктуючим вентилятором. Швидкість потоку охолоджуючого повітря залежить від швидкості руху автомобіля. Змінювати швидкість потоку можна кількома способами [7, 8, 15]:

- за допомогою жалюзі, встановлених перед радіатором;
- відключенням одного з вентиляторів;
- роботою гідромумфти привода вентилятора.

Контроль над роботою системи охолодження здійснюється за допомогою датчиків і показчика температури, а також сигналізатора аварійної температури охолоджувальної рідини. Датчики встановлюються в системі охолодження двигуна, а показчик і сигналізатор – на приладовій дошці в кабіні водія.

Механічне перекачування рідини по короткому колу охолодження при холодному запуску, як це реалізовано на більшості ДВЗ, вимагає певних витрат енергії і збільшує загальну витрату палива. Хоча термостат і перекриває велике коло з радіатором, але все одно через циркуляцію рідини двигун розігрівається довше [9]. Використання насоса прямого приводу від електродвигуна дозволяє оптимізувати (пришвидшити) процес прогріву охолоджуючої рідини, а значить, двигун швидше вийде на нормальний тепловий режим роботи.

Мета дослідження

Метою даної роботи є дослідження процесів, які відбуваються при прогріві системи охолодження бензинового ДВЗ з рідинною системою охолодження, у двох виконаннях – з насосом охолоджуючої рідини, що має постійний механічний привід, та з насосом, який має привід від електродвигуна; визначення функцій залежності температури охолоджуючої рідини від часу прогріву.

Матеріали та методи досліджень

За основу для розрахунків та моделювання роботи системи охолодження були взяті дані фірми ElringKlinger Motortechnik GmbH (ФРН), інженери якої проводили стендові випробування бензинових малолітражних двигунів автомобілів Opel Meriva і Ford Focus на змішаному та міському циклах роботи [9]. В базовому виконанні досліджуваний двигун має механічний привід насоса охолоджуючої рідини.

На рисунку 1 показано характеристики підігріву рідини в системі охолодження бензинового 4-тактного ДВЗ, під час запуску та прогріву, отримані за результатами експериментів [9]. Графік прогріву охолоджуючої рідини можна розбити на 4 етапи, найбільш інтенсивний прогрів відбувається під час другого етапу (позначення T_2).

На рисунку 1а показано графік для двигуна із штатною системою охолодження, в якій рух рідини за малим та великим колами розподіляється термостатом, на рисунку 1б – двигуна із електроприводом насоса охолоджуючої рідини. В першому випадку температуру $T = 130$ °С охолоджуюча рідина набуває за $t = 200$ с, в другому – майже вдвічі швидше, за $t = 125$ с. Зменшений час прогріву двигуна з електроприводом насоса охолоджуючої рідини забезпечує швидший вихід двигуна на необхідний робочий тепловий режим, що забезпечує економію палива 3 %.

Температура ввімкнення електродвигуна насоса становить 130 °С. До досягнення цієї температури водяний насос не працює зовсім.

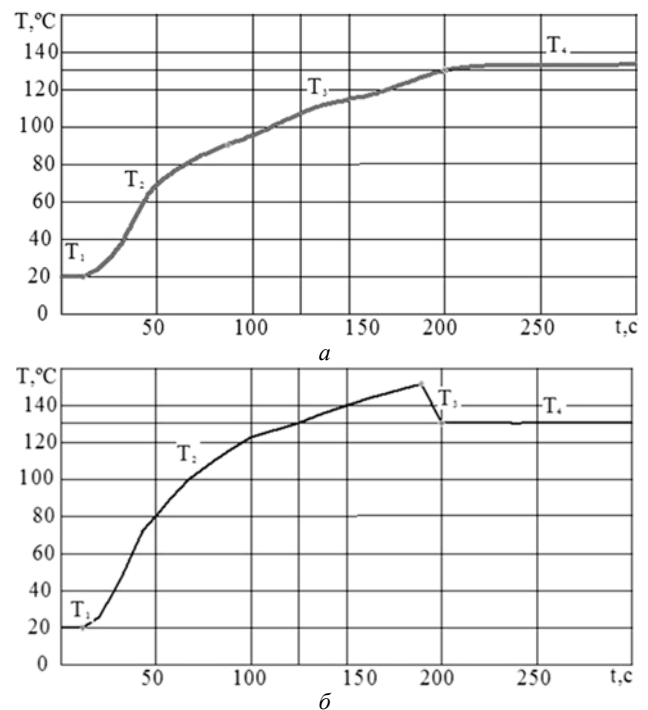


Рисунок 1. Графік залежності прогріву двигуна від часу його роботи:

а – штатна система охолодження; б – модернізована система охолодження

Виклад основного матеріалу дослідження

За рекомендаціями [1, 10] для бензинового двигуна робочим об'ємом $\Sigma V_h = 1,3 \text{ дм}^3$ розраховано параметри системи рідинного охолодження:

- кількість теплоти, що передається охолоджуючому середовищу $Q_{в} = 60,8 \text{ кДж/с}$;
- розрахункова витрата насоса $G_{ж.р} = 1,84 \text{ дм}^3/\text{с}$;
- потужність, що витрачається насосом, $N_{в.н.} = 0,27 \text{ кВт}$.

Розрахунок системи охолодження виконано за даними теплового балансу двигуна в комп'ютерній програмі Engine Calculation [11].

Експериментальні дані графіку залежності прогріву модернізованого двигуна від часу його роботи на інтервалі T_2 (рис. 1б), для зручності їх використання в подальших дослідженнях, представляємо у вигляді математичної поліноміальної функції. З огляду на форму графіка, згідно рекомендацій [12, 13], для даної залежності знаходимо математичну поліноміальну функцію другого порядку.

На графіку ділянки найбільш інтенсивного прогріву T_2 ставимо ряд точок, які заносимо до таблиці 1 обчислення найменших квадратів. В цій же таблиці наведено результати подальших розрахунків.

Таблиця 1 – обчислення методом найменших квадратів

t^0	t	t^2	t^3	t^4	T	$T \cdot t$	$t^2 \cdot T$
1	10	100	1000	10000	20	200	2000
1	20	400	8000	160000	25	500	10000
1	30	900	27000	810000	44	1320	39600
1	40	1600	64000	2560000	66	2640	105600
1	50	2500	125000	6250000	80	4000	200000
1	60	3600	216000	12960000	92	5520	331200
1	70	4900	343000	24010000	102	7140	499800
1	80	6400	512000	40960000	110	8800	704000
1	90	8100	729000	65610000	116	10440	939600
1	100	10000	1000000	100000000	122	12200	1220000
1	110	12100	1331000	146410000	125	13750	1512500
1	120	14400	1728000	207360000	128	15360	1843200
1	130	16900	2197000	285610000	132	17160	2230800
1	140	19600	2744000	384160000	137	19180	2685200
1	150	22500	3375000	504250000	140	21000	3150000
1	160	25600	4096000	655360000	143	22880	3660800
1	170	28900	4913000	835210000	146	24820	4219400
1	180	32400	5832000	1049760000	149	26820	4827600
1	190	36100	6859000	1303210000	150	28500	5415000
19	1900	247000	36100000	5624516000	2027	242230	33596300

Звідси система для знаходження коефіцієнтів поліному a_0, a_1, a_2 має наступний вигляд

$$\begin{cases} 19 \cdot a_0 + 1900 \cdot a_1 + 247000 \cdot a_2 = 2027; \\ 1900 \cdot a_0 + 247000 \cdot a_1 + 36100000 \cdot a_2 = 242230; \\ 247000 \cdot a_0 + 36100000 \cdot a_1 + 5624516000 \cdot a_2 = 33596300. \end{cases}$$

Розв'язання системи лінійних рівнянь методом Крамера

$$\Delta = \begin{vmatrix} 19 & 1900 & 247000 \\ 1900 & 247000 & 36100000 \\ 247000 & 36100000 & 5624516000 \end{vmatrix} = 144597828000000;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 2027 & 1900 & 247000 \\ 242230 & 247000 & 36100000 \\ 33596300 & 39100000 & 5624516000 \end{vmatrix} = 389552212000000;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 19 & 2027 & 247000 \\ 1900 & 242230 & 36100000 \\ 247000 & 33566300 & 5624516000 \end{vmatrix} = 2433874821200000;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 19 & 1900 & 2027 \\ 1900 & 247000 & 24223 \\ 247000 & 36100000 & 33596300 \end{vmatrix} = -715538100000.$$

Знаходження коефіцієнтів полінома:

$$a_0 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{38955221200000}{14459782800000} = 2,69;$$

$$a_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{243387482120000}{14459782800000} = 1,68;$$

$$a_2 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-715538100000}{14459782800000} = -0,0049.$$

Таким чином, шуканий поліном функції $T(t)$ має вигляд:

$$T = 2,69 + 1,68 \cdot t - 0,0049 \cdot t^2.$$

За знайденою функцією будуємо графік і порівнюємо із результатами експерименту (див. рис. 2). Розрахований індекс кореляції $R^2 = 0,987$ підтверджує тотожність експериментальної та отриманої математично характеристики прогріву рідини в системі охолодження бензинового ДВЗ з електроприводом насоса.

Аналогічним чином виконуємо пошук функції $T(t)$ для двигуна в із системою охолодження в штатному виконанні (див. рис. 1а). Поліном даної функції має вигляд:

$$T = -1,46 + 1,66 \cdot t - 0,0066 \cdot t^2.$$

Отриманий графік функції температури від часу прогріву наведено на рисунку 3.

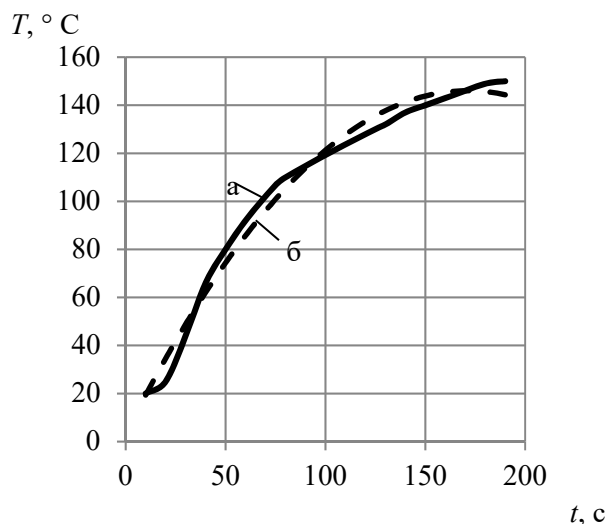


Рисунок 2. Залежність температури прогріву двигуна з електроприводом насоса охолоджуючої рідини від часу його роботи в інтервалі T_2 :

a – експеримент; *б* – графік функції

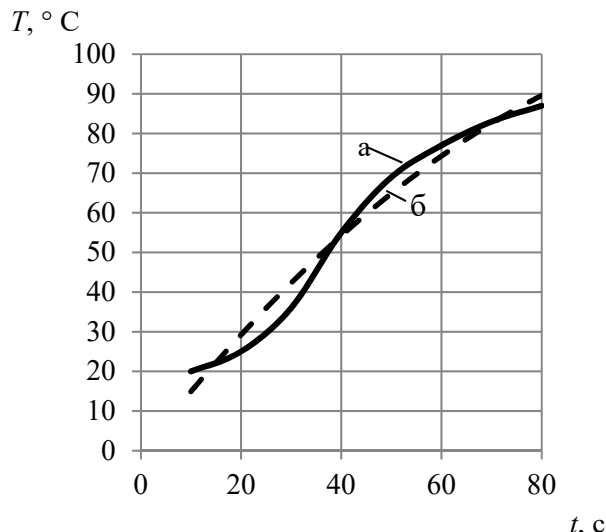


Рисунок 3. Залежність температури прогріву двигуна з прямим приводом насоса від часу його роботи в інтервалі T_2 :

a – експеримент; *б* – графік функції

Розрахований індекс кореляції $R^2 = 0,977$ підтверджує тотожність експериментальної та отриманої математично характеристики прогріву рідини в системі охолодження з механічним приводом насоса та рухом охолоджуючої рідини по великому та малому колах.

Висновки

Проведено аналіз існуючих систем охолодження двигунів внутрішнього згорання при їх роботі на режимі холодного запуску. Встановлено, що актуальним є забезпечення насоса охолоджуючої рідини прямим приводом від електродвигуна.

Схему системи охолодження досліджуваного двигуна було модернізовано заміною привода насоса охолоджуючої рідини, а саме, ремінний привід через шків замінено на прямий привід від електродвигуна постійного струму моделі SLT42GM20.

Встановлено інтенсивність прогріву бензинового двигуна базової конструкції від часу його роботи, та двигуна з електроприводом насоса охолоджуючої рідини. Здійснено аналіз результатів показників модернізованого ДВЗ, який показав, що час прогріву двигуна з електроприводом насоса охолоджуючої рідини скорочується від часу прогріву з механічним приводом. Реальний час прогріву двигуна скорочується на півтори хвилини, що забезпечує економію палива 3 %. Температура ввімкнення електродвигуна насоса становить 130 °С.

Для 1, 3- літрового бензинового двигуна визначено потрібні параметри насоса: потужність $N_{в.н} = 0,27$ кВт; частота обертання колінчастого вала двигуна $n = 5600$ хв⁻¹.

Список літератури

1. Тимченко І. І. Системи ДВЗ: Навчальний посібник / І. І. Тимченко, П. В. Жадан, С. С. Жилін. – За заг. ред. проф. І. І. Тимченко. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 204 с.
2. Chastain J. Advanced Engine Cooling – Components, Testing and Observations / J Chastain, J. Wagner, J. Eberth // IFAC Proceedings Volumes. – Vol. 43, Issue 7, July 2010, P. 294-299. doi:10.3182/20100712-3-DE-2013.00007
3. Sureshkumar J. Overview on design of electric coolant pump for automotive application / J. Sureshkumar, R. Sivanantham, A. M. S. Thangappapillai, G. Murali, M. Shariq // SAE Technical Paper, 2019. – 19 p. doi:10.4271/2019-26-0114
4. Толстоногов А. П. Системи охолодження поршневих ДВС: Учеб. посібник / А. П. Толстоногов. – Самара: Самар. гос. аерокосм. ун-т, 2002. – 208 с.
5. Active coolant control strategies in automotive engines / K. B. Kim, K. W. Choi, K. H. Lee, K. S. Lee // International Journal of Automotive Technology. – 2010. – Vol. 11(6). – P. 767–772.
6. Balich G. W. The Gasoline 4-Stroke Engine for Automobiles / G. W. Balich, C. R. Aschenbach. – Notre Dame : University of Notre Dame, 2004. – 156 p.
7. Абрамчук Ф. І. Автомобільні двигуни. Підруч. для студентів спец. вищ. навч. Закладів / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов. – К. : Арістей, 2004. – 438 с.
8. Yoon Hyuk Shin. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption / Yoon Hyuk Shin, Sung Chul Kim, Min Soo Kim // Energy. – Vol. 57, 1 August 2013, P. 624–631. doi:10.1016/j.energy.2013.04.073
9. Суворов О. Электрическая помпа системы охлаждения / О. Суворов. – 2013. – Сайт «suvorov-castom.ru». – Режим доступа : <http://suvorov-castom.ru/elektricheskaya-pompa-sistemy-oxlzhdeniya-legko/>
10. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2008. – 496 с.
11. Слинько Г. І. Тепловий і динамічний розрахунок ДВЗ : навчальний посібник з курсового проектування / Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос, В. В. Слинько. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 130 с.
12. Задачин В. М. Чисельні методи : навчальний посібник / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с.
13. Лук'яненко І. Г. Економетрика: Підручник / І. Г. Лук'яненко, Л. І. Краснікова. – К. : Товариство «Знання», 1998. – 494 с.
14. Євсєєва Н. О. Підвищення технічних характеристик автомобіля шляхом удосконалення системи охолодження двигуна / Н. О. Євсєєва, С. П. Крест'янінов // Тиждень науки: щоріч. наук.-практ. конф., 16–20 квітня 2018 р.: тези доп. / Редкол.: В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 161–162.
15. Hoon Cho. Application of controllable electric coolant pump for fuel economy and cooling performance improvement / Hoon Cho, Dohoy Jung, Z. S. Filipi, D. N. Assanis, J. Vanderslice, W. Bryzik // Journal of engineering for gas turbines and power. – 2007. – Vol. 129(1). – P. 239–244. doi:10.1115/1.2227035

Одержано 02.02.2024

MATHEMATICAL MODELING OF HEATING PROCESS THE COOLING SYSTEM OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING WATER PUMP ELECTRIC DRIVE

- Yevsyeyeva N. Ph. D., Associate Professor of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: korskovan-at@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Sukhonos R. M. Sc., Senior lecturer of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: romevs@zp.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9683-3389
- Krestjaninov S. M. Sc., manager, PJSC “Nova Poshta”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail*: krestyaninov095@gmail.com

Purpose. It is to determine the functions of the temperature of the coolant on the time of heating of the cooling system of the small internal combustion engine in two variants – with a coolant pump with a constant mechanical drive, and with an electrical driven pump.

Research methods. Methods of analysis of scientific literature and theoretical generalization, methods of statistical analysis, synthesis, observation, method of project development have been used. The graphs were treated with the least squares with the finding a polynomial function of temperature from time. The accuracy of the results is evaluated by the correlation index R^2 .

Results. Modern internal combustion engines cooling systems, including the direct driven coolant pump, are considered. The dependence of the engine heating temperature on the time of its operation with a mechanical drive of the pump and a drive from the electric motor was found. Analysis of cooling systems of the modern internal combustion engine with a direct drive of the coolant pump and with a controlled electric drive was carried out.

Scientific novelty. Analysis of the cooling system of the car gasoline engine showed their dependence on the time of heating of the engine during cold start. It is established that engine with electrical driven pump has been found to reduce the heating time, compared to the engine with a mechanical drive of the pump, for one and a half minutes. This provides fuel savings 3 %, at the temperature of the pump motor switching on 130 °C. It is established that the use of the electric driven pump reduces its operation time by almost 50 %.

Practical value. The functions of the coolant temperature dependence on the time of heating of the gasoline engine with the direct driven coolant pump and with the electrical driven pump are determined. This makes it possible to modernize the cooling system of small internal combustion engines.

Key words: mathematical model, method of least squares, pump, coolant, heating, cooling system, function.

References

1. Timchenko, I. I., Zhadan, P. V., Zhilin, S. S. (2007). *Sistemi DVZ: Navchalnij posibnik [ICE Systems: Study guide]*, Kharkiv (Ukraine): KhNADU, 204.
2. Chastain J., Wagner, J. Eberth (2010). *Advanced Engine Cooling – Components, Testing and Observations*. IFAC Proceedings Volumes 6 43, 7, 294–299. doi:10.3182/20100712-3-DE-2013.00007
3. Sureshkumar, J., Sivanantham, R., Thangappapillai, A. M. S., Murali, G., Shariq, M. (2019). Overview on design of electric coolant pump for automotive application. SAE Technical Paper 2019-26-01146 19. doi:10.4271/2019-26-0114
4. Tolstonogov, A. P. (2002). *Sistemy ohlazhdeniya porshnevnyh DVS: Uchebnoe Posobie [Cooling systems for piston internal combustion engines: Textbook]*, Samara (Russia) : Samara State Aerospace University, 208.
5. Kim, K. B., Choi, K. W., Lee, K. H., Lee, K. S. (2010). Active coolant control strategies in automotive engines. *International Journal of Automotive Technology* 11(6), 767–772.
6. Balich, G. W., Aschenbach, C. R. *The Gasoline 4-Stroke Engine for Automobiles* (2004). Notre Dame (USA): University of Notre Dame 6 156.
7. Abramchuk, F. I., Gutarevich Ju. F., Dolganov, K. E. (2004). *Avtomobil'ni dviguni [Automobile engines]*, Kyiv (Ukraine): Aristej, 438.
8. Yoon Hyuk Shin, Sung Chul Kim, Min Soo Kim (2013). Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption. *Energy*, 57, 624–631. doi:10.1016/j.energy.2013.04.073
9. Suvorov, O. Electric pump of the cooling system. Available at : <http://suvorov-castom.ru/elektricheskaya-pompa-sistemy-oxlazhdeniya-legko/>
10. Kolchin, A. I., Demidov V. P. (2008). *Raschet avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Calculation of automobile and tractor engines: Textbook for universities]*. 4th Edition, Moscow, 496.
11. Slyn'ko, G. I., Sukhonos, R. F., Slinko V. V. (2024). *Teplovij i dinamichnij rozrahunok DVZ : navchal'nij posibnik z kursovogo proektuvannja [Thermal and dynamic calculation of internal combustion engine: manual for course project]*, Zaporizhzhia (Ukraine): National University "Zaporizhzhia Polytechnic", 130.
12. Zadachyn, V. M., Konyushenko, I. G. (2014). *Chiselni metodi : navchalnij posibnik [Numerical methods: textbook]*. – Kharkiv (Ukraine): Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 180.
13. Luk'yanenko, I. G., Krasnikova, L. I. (1998). *Ekonometrika: Pidruchnik [Econometrics: Textbook]*, Kyiv (Ukraine): Tovarestvo "Znannya", 494.
14. Yevsyeyeva, N. O., Krestjaninov S. P. (2018). *Pidvishhennja tehnicnih charakteristik avtomobilja shljahom udoskonalennja sistemi oholodzhenja dviguna [Improving the technical characteristics of a car by improving the engine cooling system]*. Science week-2018 : Annual scientific and practical Conference. Zaporizhzhia (Ukraine), 161–162.
15. Hoon Cho, Dohoy Jung, Filipi, Z. S., Assanis, D. N., Vanderslice, J., Bryzik, W. (2007). Application of controllable electric coolant pump for fuel economy and cooling performance improvement. *Journal of engineering for gas turbines and power*, 129(1), 239–244. doi:10.1115/1.2227035