

**Шифр «Електропідігрів»**

**РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ  
ДЛЯ ЕЛЕКТРОПІДІГРІВУ МОТОРНОГО МАСЛА ІЗ  
САМОРЕГУЛЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ**

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт зі спеціальності  
«Автомобільний транспорт» за напрямом: «Автомобільна електроніка»

**ЗМІСТ**

|                                                                                                       | стор |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ВСТУП                                                                                                 | 3    |
| 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ПУСКОВОГО<br>ЗНОШУВАННЯ І СПОСОБІВ ПІДГРІВАННЯ ДВИГУНА             | 5    |
| 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ МОТОРНОГО МАСЛА В<br>ПІДДОНІ КАРТЕРА ДВИГУНА                          | 9    |
| 2.1. Теоретичні дослідження                                                                           | 9    |
| 2.2. Експериментальні дослідження                                                                     | 17   |
| 3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПІДГРІВУ<br>МАСЛА КАРТЕРА ДВИГУНА ДЛЯ ПОЛЕГШЕННЯ ЙОГО<br>ЗАПУСКУ | 22   |
| ВИСНОВКИ                                                                                              | 27   |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                            | 29   |

**ВСТУП**

На нинішньому етапі розвитку сільського господарства практично відсутнє централізоване зберігання техніки в опалювальних гаражах в зимовий період, і велика її частина зберігається на відкритих майданчиках. Тому час, що витрачається на передпускову підготовку двигуна, складає 40 - 80 хв., а знос двигуна в процесі пуску до 70 % від загального експлуатаційного зносу. В умовах експлуатації автотракторної техніки найбільш ефективним способом вирішення даної проблеми є передпусковий підігрів.

Більшість наукових робіт по підігріву моторного масла в двигунах внутрішнього згорання проводилися на традиційних засобах теплової підготовки (трубчасті електронагрівачі, індивідуальні підігрівачі, газові пальники, і ін.). Проте за останніх 15 - 20 років відбулися значні зміни в науці і техніці. Проведені пошукові науково-дослідні роботи (НДР) показали, що, використовуючи сучасні досягнення можна створити нові високоефективні технічні засоби передпускового підігріву моторного масла в піддоні картера ДВЗ, використовуючи саморегулюючі джерела тепло, що забезпечує високу надійність і якість цієї технічної операції. Інформаційно-патентні дослідження показали, що до теперішнього часу немає методик розрахунку і проектування електронагрівальних пристроїв, виконаних на базі саморегулюючих нагрівальних елементів (позисторів), що стримує широке їх використання. Тому робота по розробці і обґрунтуванню параметрів електронагрівальних пристроїв з саморегулюванням потужності є актуальним науковим завданням і представляє значний теоретичний і прикладний інтерес.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності використання автотракторної техніки і поліпшення якості передпускового підігріву моторного масла в зимовий період за рахунок застосування електронагрівального пристрою з саморегулюванням потужності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих матеріалів щодо пускового зношування і способів підігрівання двигуна.
2. Дослідити процес передпускового підігріву моторного масла в піддоні картера двигуна внутрішнього згорання пристроєм з саморегулюванням потужності і розробити його конструктивну схему.
3. Розробити математичну модель процесу підігріву моторного масла пристроєм з саморегулюванням потужності і провести теоретичний аналіз енергетичних і режимних показників саморегулюючого пристрою електропідігріву моторного масла.
4. Теоретично і експериментально обґрунтувати раціональні конструктивні і режимні параметри пристрою з саморегулюванням потужності.
5. Вивчити формування температурного поля при підігріві моторного масла пристроєм з саморегулюванням потужності і розробити методику інженерного розрахунку, провести виробничі випробування і дати економічну оцінку його використання.
6. Розробити пристрої передпускового підігріву масла картера двигуна для полегшення його запуску.



## 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ПУСКОВОГО ЗНОШУВАННЯ І СПОСОБІВ ПІДГРІВАННЯ ДВИГУНА

Як показали дослідження, проведені в НАМІ, ефективним засобом зниження мінімальної пускової частоти обертання і мінімальної пускової температури є включення до складу рідини ізопропілнітратом.

Залежність мінімальної температури пуску дизеля типу В-2 від співвідношення етилового ефіру і ізопропілнітратом показана на рис. 1. Як видно з рисунка, при досягненні певної кількості ізопропілнітратом в етиловому ефірі ефективність присадки знижується.

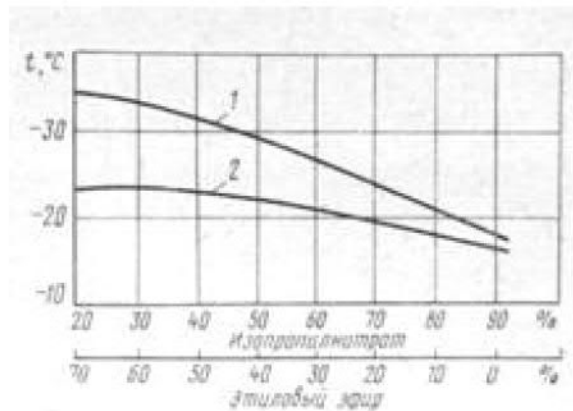


Рис. 1. Вплив співвідношення етилового ефіру і  
ізопропілнітратом в пусковій рідині на мінімальну температуру  
пуску двигуна В-2 при використанні різних олій:  
1 -МТ-14П; 2 - МТ 16П

Г. С. Лосавіо узагальнив різні дані про величини пускових зносів. Він запропонував метод розрахунку величини пускового зносу двигуна залежно від температури. Як параметр для порівняння величин зносу ним прийнятий діаметральний знос циліндрів за один пуск, виражений в еквівалентному йому «пробігу» зносі циліндрів. На рис. 2 показана залежність пробігу, еквівалентного по зносу одному пуску, від температури двигуна при пуску за даними різних авторів.

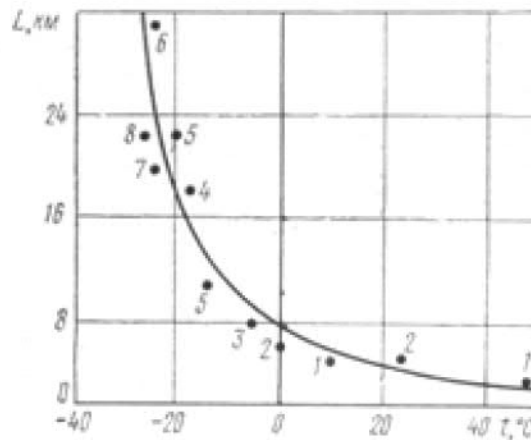


Рис. 2. Залежність пускових зносів двигунів від температури:

- 1 - по Е. А. Чудакову; 2 - по О. В. Дибову; 3-до В. П. Каріцькому;  
 4- по Л. Л. Демянову; 5 - по Г. С. Лосавію; 6- по І. А. Туркевич;  
 7-по А. А. Гуреев; 8- по Г. С. Савелєву

Як видно з рис. 2, при пониженні температури нижче  $-0 \dots -15\text{ }^\circ\text{C}$  пускові зноси двигунів різко зростають.

Найефективнішим варіантом передпускової підготовки двигуна є використання автономного підігрівача (рис. 3). По суті, цей пристрій є невелика піч, яка працює на бензині або дизельному паливі. Насосом паливо подається в камеру згоряння, де запалюється від нагрітого керамічного штифта. Обігрівач підігріває охолоджуючу рідину автомобіля, прокачує її через власний теплообмінник. Далі тепло передається двигуну і радіатору грубки. Після нагріву антифризу до  $30^\circ\text{C}$  включається вентилятор салону, а коли температура досягає  $70^\circ\text{C}$  і вище - підігрівач переходить в режим очікування. Залишається функціонувати лише система продуву камери, рідинний насос і вентилятор обігрівача. Автономний передпусковий підігрівач двигуна має і літній режим, коли салон продувається вентилятором.

Автономний підігрівач Webasto Thermo Top E (дизель) - це невід'ємна частина кожного дизельного автомобіля, що експлуатується в холодну пору



року. Даний підігрівач може бути обладнаний на тракторних двигунах з встановленням таймеру і дистанційного пульта (рис. 4).

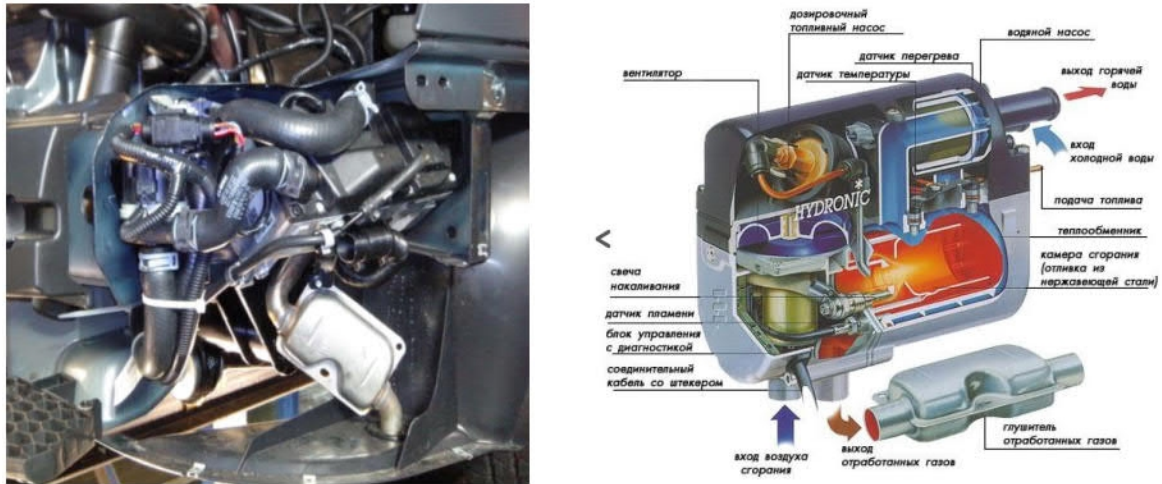


Рис. 3. Автономний підігрівач



Рис. 4. Передпусковий підігрівач Webasto Thermo Top E (дизель) з можливістю встановлення таймеру і дистанційного пульта

За рахунок використання керамічного штифта Webasto Thermo Top E (дизель) не дає сильного навантаження на акумулятор, вона нижче в порівнянні з іншими пристроями. Це пристрій знижує і витрати палива при

включенні підігрівача. Зменшується також і знос компонентів двигуна. Таким чином попереджаються всілякі поломки.

Тепловий акумулятор для пуску двигуна (рис. 5). Фактично воно являє собою великий термос, в якому знаходиться рідина того ж об'єму, що і в системі охолодження. Поки двигун працює, рідина в термосі постійно оновлюється, підтримуючи запас «окропу». Перед пуском окремий насос міняє холодний і гарячий антифриз місцями. З термоса за 10-15 секунд рідина подається в систему охолодження, і мотор швидко зігрівається - можна пускати. В салон відразу ж починає надходити тепле повітря.



Рис. 5. Тепловий акумулятор для пуску двигуна

Факельні підігрівачі (рис. 6), використовуються в більшості в техніці, де необхідно її ефективний розігрів в найкоротші терміни. Підігрівач експлуатується при температурі від  $-15^{\circ}\text{C}$  до плюс  $+65^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 6. Факельний підігрівач



## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ МОТОРНОГО МАСЛА В ПІДДОНІ КАРТЕРА ДВИГУНА

### 2.1. Теоретичні дослідження

Основною характеристикою позисторів, яка в значній мірі визначає їх характер роботи в пристрої електропідігріву моторного масла, є температурна залежність опору (рис. 7). При подачі напруги на пристрій відбувається розігрівання позисторів таким, що проходить по ним струмом. У початковий момент до температури перемикання позисторів ( $t_{пер}$ ) відбувається зниження їх опору ( $R_n$ ) і зростання споживаної потужності. Це дозволяє швидко розігріти корпус УЕМС. Проте після  $t_{пер}$  опір позисторів різко зростає, обумовлене змінами в кристалічній решітці напівпровідникового матеріалу. При цьому потужність пристрою знижується пропорційно маслу, що підігрівається. Таким чином, забезпечується регулювання потужності УЕМС пропорційно тепловому навантаженню.

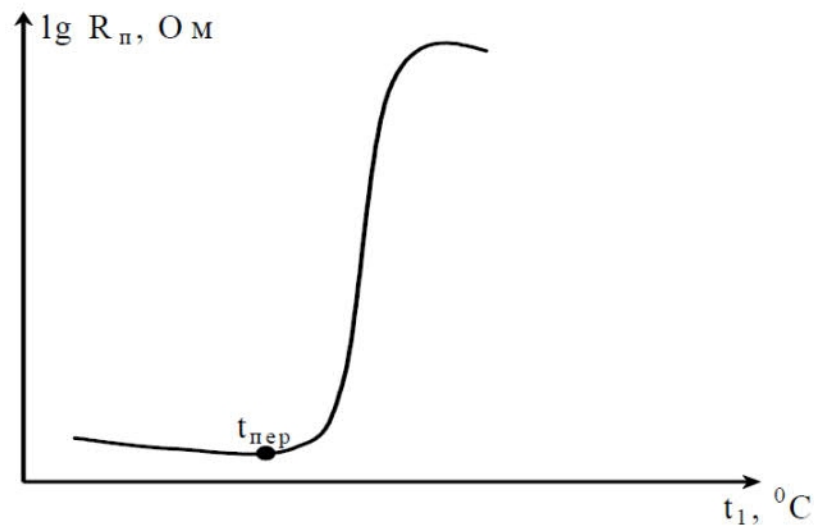


Рис. 7. Типова температурна характеристика опору позистора

При температурах нижче  $t_{пер}$  залежність опору від температури приблизно підкоряється звичайному закону для терморезисторів з негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКС)

$$R_n(t_1) = B'' e^{-B'/t_1}. \quad (1)$$

Відповідно потужність УЕМС на цій ділянці описується виразом

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{B'' e^{-B'/\eta}}. \quad (2)$$

На ділянці вище  $t_{nep}$  залежність опору позистора має позитивний ТКС

$$R_n(t_1) = A'' e^{at_1}. \quad (3)$$

Тоді потужність УЕМС прийме вигляд

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{A'' e^{at_1}}. \quad (4)$$

Рівняння теплового балансу (рис. 8) для процесу підігріву моторного масла в піддоні картера ДВЗ пристроєм з саморегулюванням потужності в загальній формі застосовано до елементарно малого проміжку часу має вигляд

$$dQ_{заг} = dQ_{ноз} + dQ_{ку} + dQ_{м} + dQ'_{м1} + dQ'_{м2} + dQ'_{пк}. \quad (5)$$

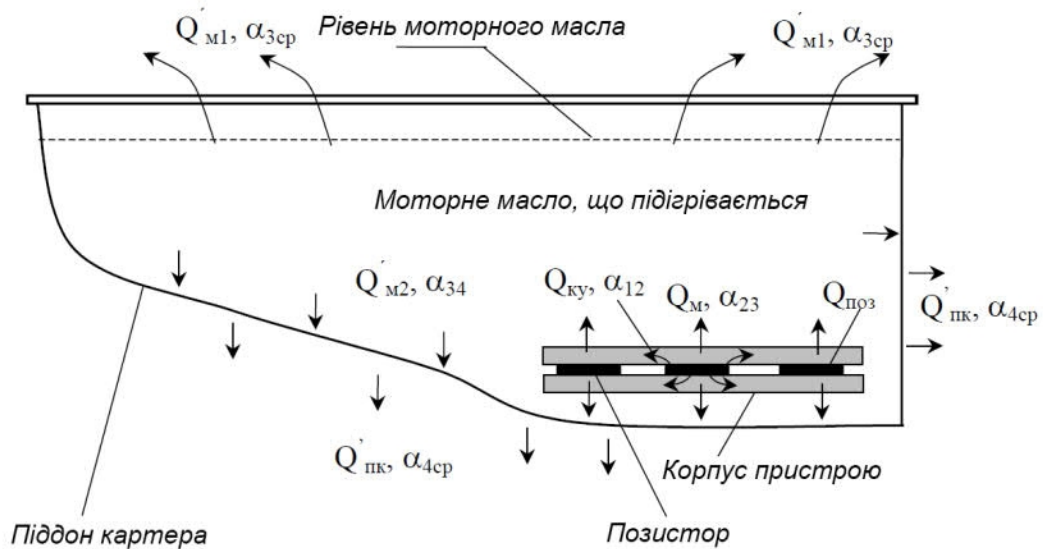


Рис. 8. Схема до розрахунку теплового балансу УЕМС

Кількість тепла  $dQ_{заг}$  виділеної за елементарно малий проміжок часу визначається сумарною потужністю позисторів  $P_{yc}$  (тобто потужністю пристрою) та тривалістю часу  $d$

$$dQ_{заг} = P_{yc}(t_1) d\tau. \quad (6)$$

При подачі напруги на пристрій, струм, який проходить через позистори, викликає їх нагрівання, в результаті чого відбувається передача тепла від позисторів корпусу пристрою. Тоді рівняння теплового балансу для позисторів має вид

$$P_{\text{yc}}(t_1)d\tau = C_1M_1dt_1 + a_{12}(t_1 - t_2)F_1d\tau. \quad (7)$$

Кількість тепла переданого позисторами корпусу пристрою йде на прирощення його температури, при цьому відбувається тепловіддача від корпусу пристрою в моторне масло. Рівняння теплового балансу для корпусу пристрою в диференціальному вигляді можна записати у наступному вигляді

$$a_{12}(t_1 - t_2)F_1d\tau = C_2M_2dt_2 + a_{23}(t_2 - t_3)F_2d\tau. \quad (8)$$

Кількість тепла розігрівання корпусу пристрою, що виділилося в результаті, йде на приріст температури моторного масла. При розігріванні відбуваються втрати тепла від моторного масла у внутрікартерне повітря і до стінок піддону картера. Рівняння теплового балансу для моторного масла в диференціальній формі можна представити у вигляді

$$a_{23}(t_2 - t_3)F_2d\tau = C_3M_3dt_3 + a_{34}(t_3 - t_4)F_3d\tau + a_{3cp}(t_3 - t_{3cp})F_{3cp}d\tau. \quad (9)$$

Тепло, передане від моторного масла стінкам піддону картера, йде на приріст його температури, при цьому відбувається нагрів піддону, а в результаті цього втрати тепла в навколишнє повітря. Рівняння теплового балансу для стінок піддону картера в диференціальній формі можна представити у вигляді

$$a_{34}(t_3 - t_4)F_3d\tau = C_4M_4dt_4 + a_{4cp}(t_4 - t_{4cp})F_{4cp}d\tau. \quad (10)$$

Таким чином, математична модель процесу підігріву моторного масла в піддоні картера ДВЗ електронагрівальним пристроєм з саморегулюванням потужності можна представити у вигляді системи диференціальних рівнянь:



$$\begin{cases} \frac{dt_1}{d\tau} = \frac{P_{yc}(t_1) - a_{12}(t_1 - t_2)F_1}{C_1 M_1}, \\ \frac{dt_2}{d\tau} = \frac{a_{12}(t_1 - t_2)F_1 - a_{23}(t_2 - t_3)F_2}{C_2 M_2}, \\ \frac{dt_3}{d\tau} = \frac{a_{23}(t_2 - t_3)F_2 - a_{34}(t_3 - t_4)F_3 - a_{3cp}(t_3 - t_{3cp})F_{3cp}}{C_3 M_3}, \\ \frac{dt_4}{d\tau} = \frac{a_{34}(t_3 - t_4)F_3 - a_{4cp}(t_4 - t_{4cp})F_4}{C_4 M_4}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{при } t_1 \text{ } t_{nep} \quad P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{B'' e^{-B'/t_1}},$$

$$\text{при } t_1 \text{ } t_{nep} \quad P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{A'' e^{at_1}}.$$

Система (11) описує теплообмінні процеси в режимі саморегулювання потужності УЕМС, що відбуваються при підігріві моторного масла в піддоні картера ДВЗ.

Вирішення отриманої математичної моделі проводилося методом Рунге-Кутта четвертого порядку із змінним кроком. Для цього була розроблена програма в Mathcad 2001i Professional, що виконує це рішення на персональному комп'ютері.

Для проведення теоретичних досліджень за допомогою комп'ютерної програми Curve Expert 1.34 отримані апроксимовані вирази експериментальній функції зміни опору позистора (з характеристиками  $R_{ном} = (2,5 \dots 6,8) \text{ Ом}$ ,  $t_{nep} = 130^\circ\text{C}$ ) від його температури (12) - (15). Вирази описують функцію зміни опору з коефіцієнт кореляції, рівним  $r = 0,98 \dots 0,99$ :

$$1. R_{ном}=2,5 \text{ Ом}, t_{nep}=130^\circ\text{C}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 2,717 - 0,0053t_1 + 2,101 \cdot 10^{-5} t_1^2 \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}, \\ R(t_1) = \frac{-86,49361}{1 - 3215709e^{-0,086t_1}} \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (12)$$

$$2. R_{ном}=3,3 \text{ Ом}, t_{nep}=130^\circ\text{C}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 3,433 - 0,005t_1 + 1,86 \cdot 10^{-5} t_1^2 \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}, \\ R(t_1) = \frac{-255,096}{1 - 79315993e^{-0,091t_1}} \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (13)$$

$$3. R_{ном}=4,8 \text{ Ом}, t_{nep}=130^\circ\text{C}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 3,433 - 0,005t_1 + 1,86 \cdot 10^{-5} t_1^2 \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}, \\ R(t_1) = \frac{-255,096}{1 - 7931599,3e^{-0,0812t_1}} \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (14)$$

$$4. R_{\text{ном}} = 6,8 \text{ Ом}, t_{\text{нep}} = 130^\circ\text{C}$$

$$\begin{cases} R(t_1) = 6,917 - 0,0053t_1 + 2,101 \cdot 10^{-5} t_1^2 \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}, \\ R(t_1) = \frac{-1}{3,4425 - 0,676e \ln(t_1)} \text{ nput}_1 130^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (15)$$

Використовуючи математичну модель (11), а також отримані вирази (12) - (15) були встановлені закономірності зміни динамічних показників УЕМС (рис. 9).

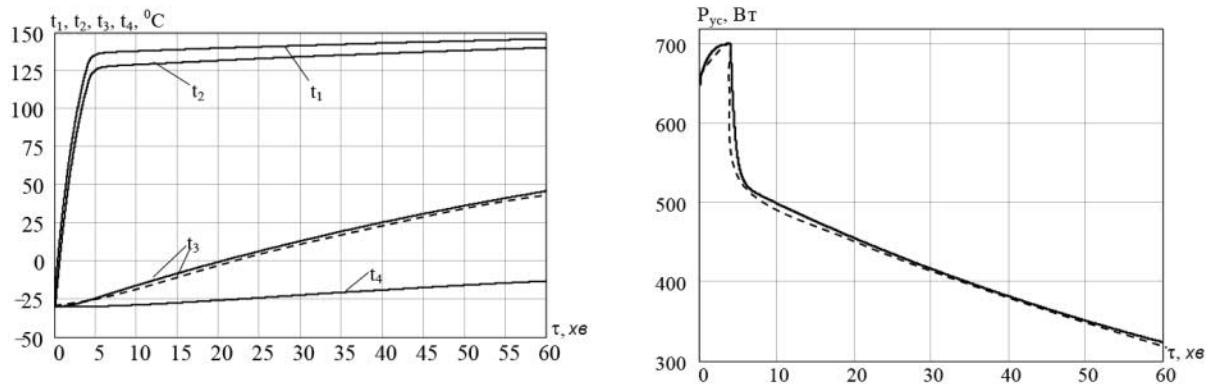


Рис. 9. Закономірності зміни динамічних показників УЕМС:

$t_1, t_2, t_3, t_4$  – температури позистора, корпусу пристрою, моторного масла, стінок піддону;  $P_{yc}$  – потужність УЕМС;  
 - - - - - експеримент; ————— теорія

Зіставивши результати розрахунку з дослідними даними, отриманими в ході попередніх експериментальних досліджень по підігріву моторного масла в піддоні картера двигуна КАМАЗ встановили, що середнє процентне їх відхилення знаходиться в межах 6...8 %. Згідно цим даним, в процесі підігріву моторного масла забезпечується зниження потужності пристрою пропорційно тепловому навантаженню, а температура поверхні корпусу пристрою не перевищує максимально допустиму  $200^\circ\text{C}$ .



Також були встановлені динамічні характеристики УЕМС з різними параметрами позисторів. Аналіз цих залежностей показав, що із збільшенням  $R_{ном}$  позистора, відбувається зниження пікової потужності пристрою при незначній відмінності в часі розігрівання моторного масла. Великі значення пікової потужності можуть негативно позначитися на експлуатації електронагрівального пристрою, тому були вибрані позистори з номінальним опором  $R_{ном} = 6,8 \text{ Ом}$ .

Метою обґрунтування конструктивних параметрів УЕМС було підвищення ефективності використання пристрою: зниження його вартості, поліпшення енергетичних показників роботи, оптимізація масогабаритних показників і задоволення вимогам якості технологічного процесу підігріву моторного масла: відсутність пригорання масел на поверхні пристрою.

Оскільки вартість пристрою в значній мірі визначається кількістю використовуваних позисторів, те підвищення енергетичних показників роботи УЕМС і зниження його вартості можна забезпечити за умови

$$Q_{yc} \rightarrow \max \text{ і } n \rightarrow \min. \quad (16)$$

В ході теоретичного аналізу було встановлено, що збільшення кількості передаваного тепла можливе збільшенням щільності теплового потоку, або площі поверхні пристрою, а збільшення щільності теплового потоку із збільшенням коефіцієнта тепловіддачі від позистора до корпусу пристрою при зменшенні питомого теплового опору контакту.

Аналіз розрахункових даних дозволив стверджувати, що зниження контактного термічного опору, а значить, збільшення коефіцієнта тепловіддачі від позистора до корпусу пристрою 12 приводить до збільшення споживаної потужності і скорочення часу розігрівання моторного масла. Проте потрібно відзначити, що збільшення 12 більше  $3000 \text{ Вт/м}^2\text{С}$  не приводить до істотного скорочення часу нагріву (криві практично зливаються). Тому контактний термічний опір винен знаходитися в межах  $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{С/Вт}$ .



Для обґрунтування площі тепловіддаючої поверхні нагрівального пристрою був введений термін - питома площа УЕМС ( $F_{y\partial}$ )

$$F_{y\partial} = F_2 / F_1. \quad (17)$$

Згідно теоретично отриманим даним максимум теплового потоку спостерігається при  $F_{y\partial} = 19,4$ . Подальше збільшення  $F_{y\partial}$  призводить до зниження теплового потоку. Зниження теплового потоку відбувається через те, що при збільшенні площі поверхні УЕМС ( $F_2$ ) зменшується середньоповерхнева температура  $t_2$ , а отже, і температурний натиск ( $t_2 - t_3$ ). Так само відбувається зменшення коефіцієнта тепловіддачі від поверхні пристрою в моторне масло (23) згідно виразу (18) із-за лінійного розміру  $l_0$ , що збільшується, при збільшенні  $F_2$ .

$$a_{23} = \frac{\lambda C}{l_0} (Gr Pr)^n \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (18)$$

В результаті теоретичних досліджень були отримані розрахункові криві підігріву моторного масла в піддоні картера двигуна (рис. 10), а також зміни потужності УЕМС при використанні як тепловідвід різні матеріали (сталь, алюміній, мідь).

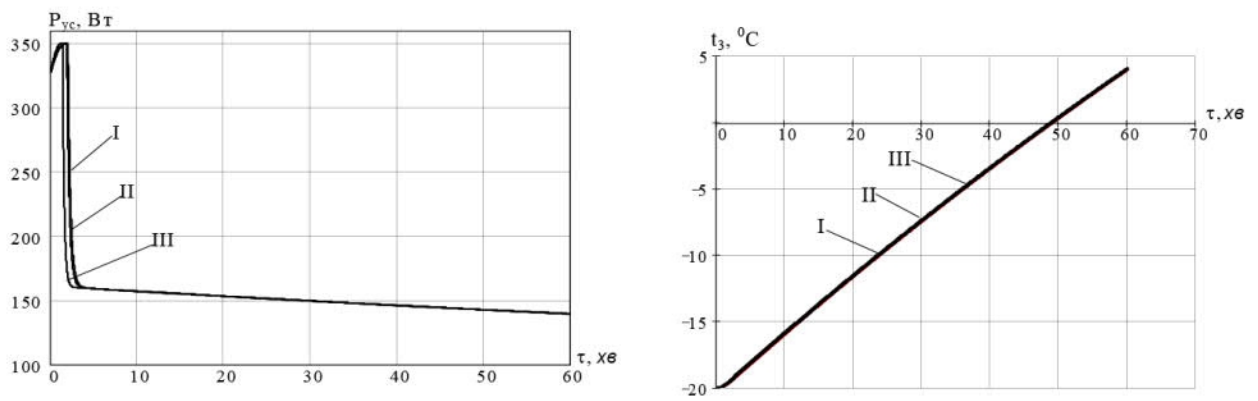


Рис. 10. Обґрунтування вибору матеріалу корпусу УЕМС (а)  
динаміка споживаної потужності УЕМС, (б) зміна температури  
моторного масла в піддоні картера:

I - сталь; II - алюміній; III - мідь

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що динаміка споживаної потужності пристрою і температури моторного масла для тепловідвідних поверхонь з різного матеріалу практично співпадають. Це відбувається тому, що для всіх варіантів:

$$\frac{1}{a_{23}} \gg \frac{\delta_1}{\lambda_1} i \frac{1}{a_{23}} \gg \frac{1}{a_{12}}, \quad (19)$$

а внаслідок цього коефіцієнти теплопередачі приблизно рівні

$$k_{\text{сталь}} \approx k_{\text{алюмінія}} \approx k_{\text{міді}}. \quad (20)$$

Тому, як матеріал тепловіддаючої поверхні пристрою вибрали сталь як найбільш дешеву. Теоретично також встановлено, що товщина корпусу не робить істотного впливу на динаміку процесу, тому для зниження масогабаритних показників пристрою прийнята товщина корпусу 0,5 мм.

Одним з основних параметрів, що визначають енергоємність процесу підігріву моторного масла в піддонах картерів ДВЗ, є потужність нагрівального пристрою. Критерієм її вибору являється мінімальна витрата електроенергії УЕМС.

Основний вплив на витрату електроенергії роблять втрати теплової енергії у внутрикarterне повітря і від стінок піддону в навколишнє середовище.

Оскільки потужність УЕМС величина непостійна, то для кількісної її оцінки використовували середню потужність, що обчислюється за наступною формулою

$$P_{\text{ус.рс}} = \frac{\int_0^{\tau_{\text{нагр}}} P_{\text{ус}}(\tau) dt}{\tau_{\text{нагр}}}. \quad (22)$$

Встановлено, що збільшення середньої потужності УЕМС призводить до зниження часу нагріву моторного масла в піддоні картера. Проте при значеннях середньої потужності УЕМС вище 450 Вт для трактора Т-40, 600 Вт для трактора Т-150, 720 Вт для двигуна автомобіля КамАЗ, 1,1 кВт для двигуна трактора К-700, зменшення часу нагріву стає менш інтенсивним.



Це означає, що ефективність процесу нагріву падає, збільшуються втрати в навколишнє середовище, що відбивається на витраті електроенергії.

Згідно з отриманими даними, мінімум витрати електроенергії на підігрів моторного масла спостерігається у трактора Т-40 в межах середньої потужності від 420 Вт до 500 Вт, у трактора Т-150 в межах від 450 Вт до 550 Вт, у автомобіля КамАЗ в межах від 620 Вт до 700 Вт, у трактора К-700 в межах від 1 кВт до 1,1 кВт.

## 2.2. Експериментальні дослідження

Для експериментальних досліджень режимних і конструктивних параметрів УЕМС при підігріві моторного масла в піддоні картера ДВЗ був розроблений експериментальний стенд, схема якого представлена на рис. 11. Дослідження проводилися в спеціалізованій камері холоду ВАТ «Алмаз».

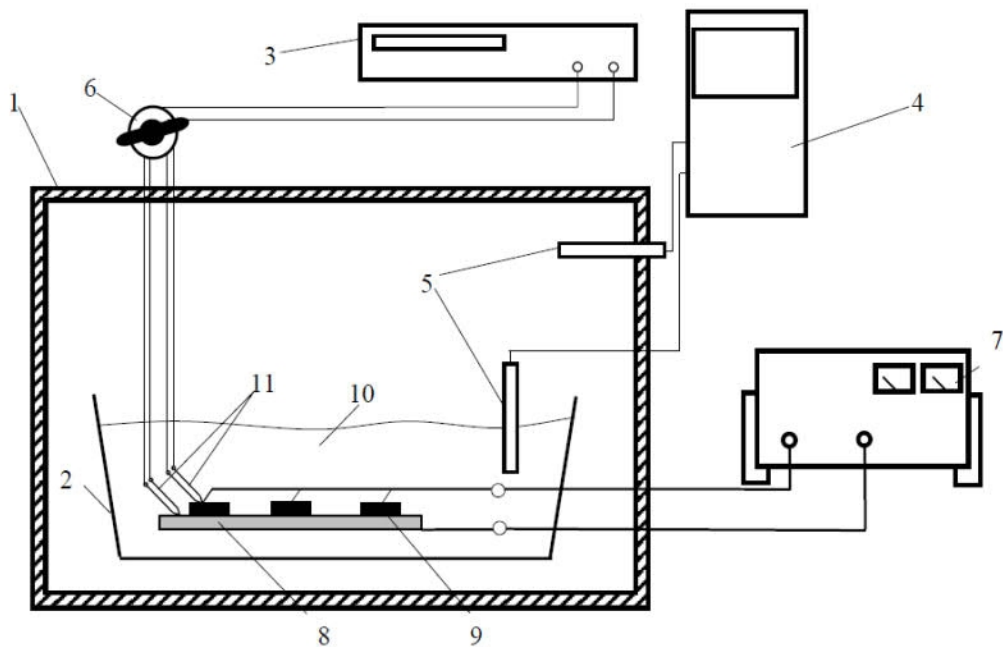


Рис. 11. Схема експериментального стенду:

- 1 - камера холоду (КХТ - 04 - 004); 2 - піддон картера ДВЗ; 3 - прилад комбінований цифровий Щ-300; 4 - самописець Ксп4; 5 - термометри опору ТСП-50М; 6 - галетный перемикач; 7 - джерело живлення постійного струму В-ТІПД-315-28,5; 8 - пластина; 9 - позистори; 10 - моторне масло; 11 - термопари ХК



Обробка експериментальних даних проводилася в прикладній програмі MathCAD 2001 Professional і STATISTICA.

Представлені результати експериментальних досліджень енергетичних і конструктивних параметрів УЕМС, а також результати досліджень контактного термічного опору пари позистор - пластина, впливи температури навколишнього середовища на динамічні показники УЕМС, формування температурного поля в піддоні картера ДВЗ і дослідження діелектричних властивостей забруднених моторних масел.

В результаті експериментальних досліджень контактного термічного опору між позистором і корпусом пристрою (теповідвідною поверхнею) вирішувалося завдання обґрунтування достатньої шорсткості тепловідвідної поверхні і зусилля стиснення в зоні контакту різних пар матеріалів (позистор - сталь, позистор - алюміній, позистор - мідь). Теоретично було доведено, що обґрунтування вище приведених параметрів дозволить понизити термічний опір в зоні контакту, а значить підвищити ефективність процесу підігріву моторного масла.

Аналіз дослідних даних показав, що із збільшенням зусилля стиснення у всіх контактних пар відбувається спочатку різке, а потім плавне після  $60 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , зменшення контактного термічного опору. Підвищення чистоти обробки поверхонь (тобто зменшення середньої висоти мікронерівностей) також призводить до зниження термічного опору контакту, причому криві в цьому випадку мають пологіший характер.

Сумісний аналіз проведених експериментальних досліджень контактного термічного опору між позистором і корпусом пристрою, а також обґрунтування конструктивних параметрів дозволив запропонувати наступні раціональні параметри УЕМС: матеріал корпусу (сталь), товщина стінки тепловіддаючої поверхні  $\delta = 0,5 \text{ мм}$ , чистота обробки матеріалу корпусу пристрою дотична з поверхнею позистора  $10 \dots 20 \text{ мкм}$ , зусилля стиснення  $(0,6 \dots 1,2) \cdot 10^7 \text{ Па}$ , питома площа тепловіддаючої поверхні пристрою  $F_{\text{вд}} = 19,2$ .

Дослідженнями формування температурного поля моторного масла в піддоні картера двигуна КамАЗ-740 встановлено, що найбільш ефективним розташуванням УЕМС є горизонтальне розташування, що забезпечує мінімальну нерівномірність ( $Y_n = 0,76 \%$ ) підігріву моторного масла у всьому об'ємі піддону картера, що підвищує надійність безперебійного надходження мастила в деталі сполучень циліндропоршневої групи двигуна на пускових режимах його роботи.

В результаті експериментальних досліджень по обґрунтуванню потужності УЕМС були отримані залежності часу розігрівання моторного масла в піддонах картерів двигунів ЯМЗ-240Б, КамАЗ-740, СМД-60 від середньої потужності електронагрівального пристрою УЕМС.

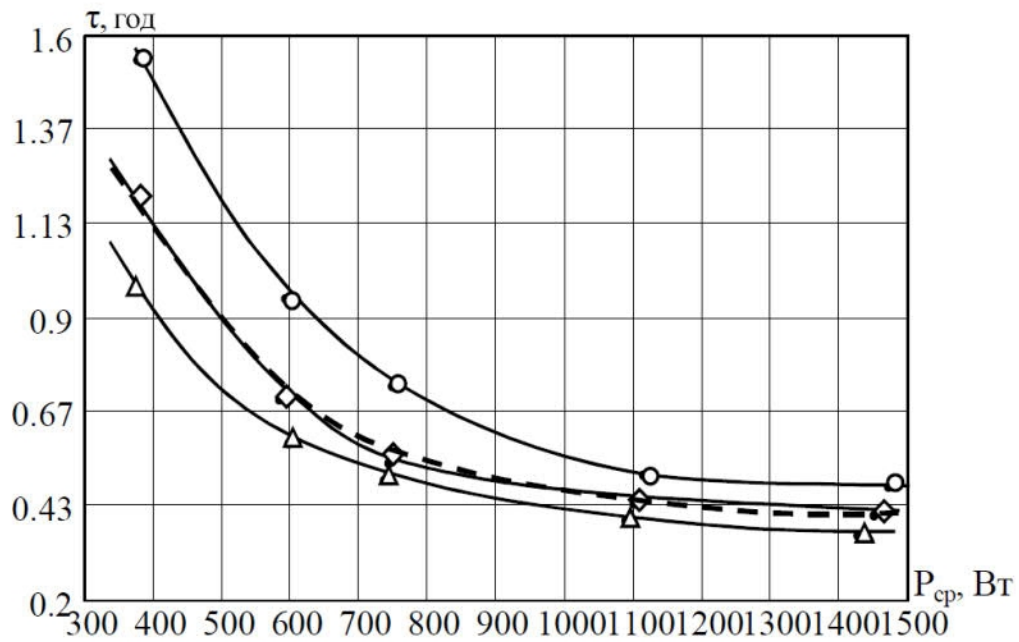
Як видно з рис. 12, *а*, збільшення середньої потужності УЕМС від 200 Вт до 600 Вт викликає різке зниження часу розігрівання моторного масла, проте збільшення потужності понад 600 Вт приводить до зменшення інтенсивності розігрівання. Це відбувається в результаті збільшення втрат тепла в процесі підігріву від моторного масла в навколишнє середовище, що приводить до додаткової витрати електроенергії.

Згідно з отриманими даними на рис. 12, *б* спостерігаються точки мінімуму витрати електроенергії УЕМС для двигуна ЯМЗ-240Б, які знаходяться в межах 1000...1100 Вт, для двигуна КамАЗ-740 в межах 650...700 Вт, для двигуна СМД-60 в межах 450...550 Вт.

Таким чином, в ході проведених досліджень були встановлені оптимальні потужності пристрою електропідігріву моторного масла з саморегулюванням потужності для двигунів ЯМЗ-240Б, КамАЗ-740, СМД-60, які забезпечують мінімум витрати електроенергії.

Згідно проведеним дослідженням впливу температури навколишнього середовища на динамічні показники УЕМС встановлено, що із зростанням температури моторного масла відбувається спочатку стрибкоподібне, а потім пропорційне зниження потужності пристрою (рис. 13, *а*).





а

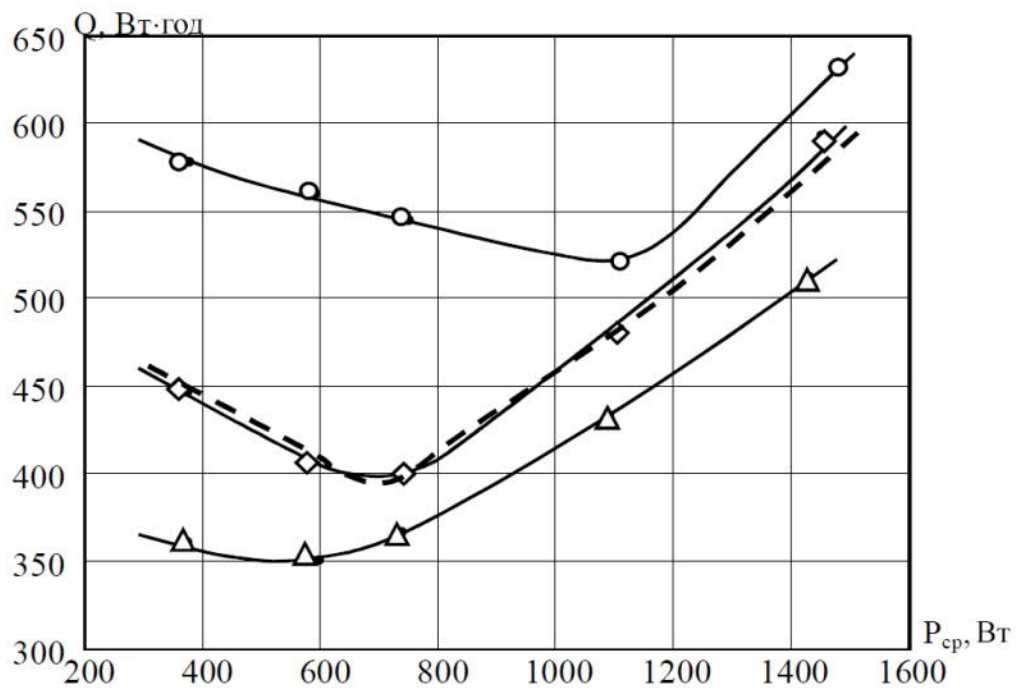


Рис. 12. Обґрунтування потужності УЕМС:

а - залежність потужності УЕМС від часу розігрівання моторного масла;

б - залежність витрати електроенергії від потужності УЕМС;

○ - ЯМЗ-240Б; ◇ - КамАЗ-740; Δ - СМД-60; --- - теорія; — - експеримент

На рис. 13, б показана залежність потужності УЕМС від температури позистора. При температурі позистора близькою до  $130^{\circ}\text{C}$  відбувається різке



падіння потужності УЕМС, а максимальна температура його не перевищує  $150^{\circ}\text{C}$ , що підтверджує відсутність пригорання моторного масла на поверхні нагрівального пристрою (температура лакоутворення моторного масла більше  $200^{\circ}\text{C}$ ).

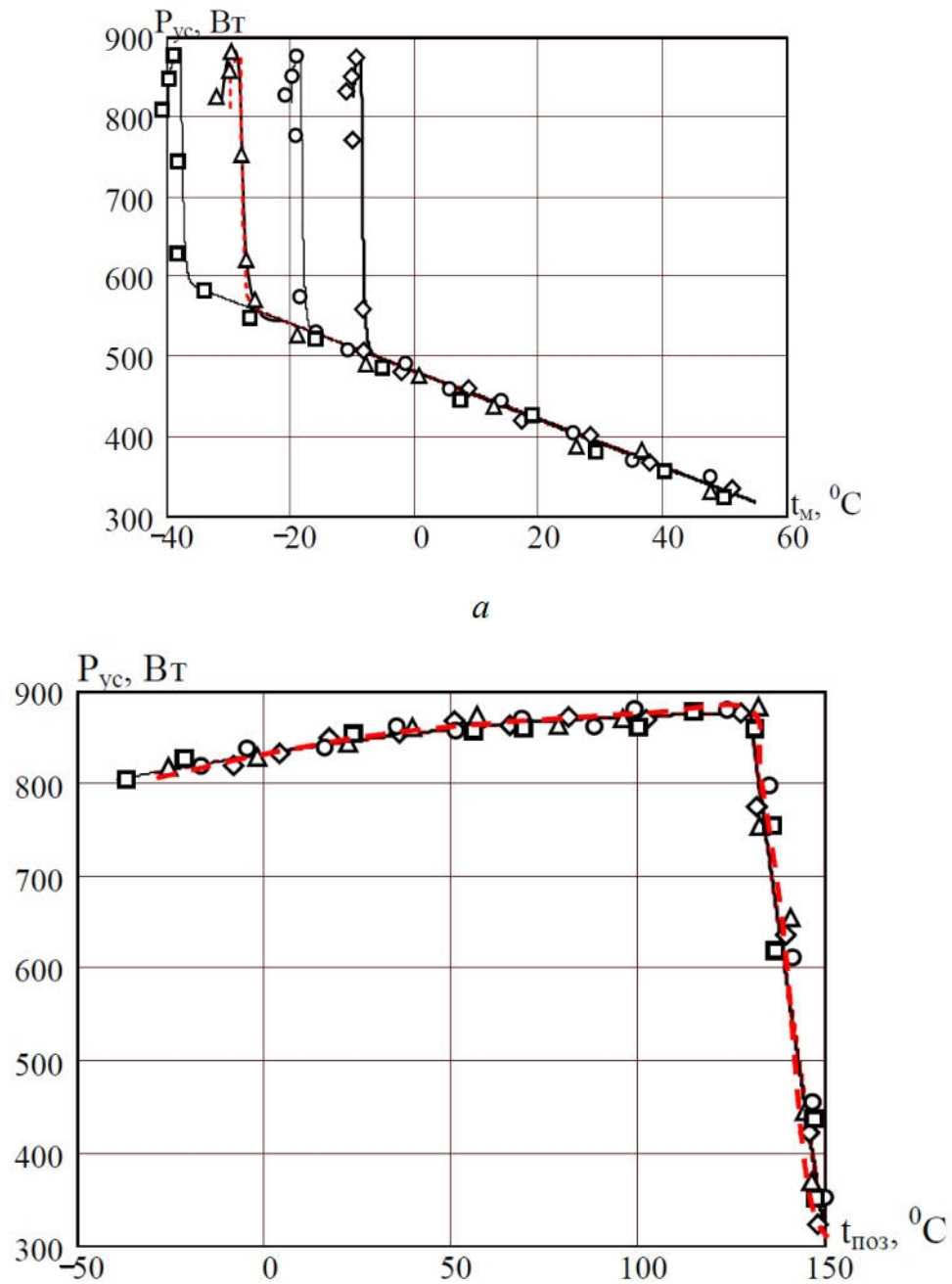


Рис. 13. Впливи температури навколишнього середовища на динамічні показники УЕМС:

*a* - залежність потужності УЕМС від температури моторного масла;

*б* - залежність потужності УЕМС від температури позистора;

$\diamond$  - 10  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\circ$  - 20  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta$  - 30  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\square$  - 40  $^{\circ}\text{C}$

Також в ході проведених досліджень було доведено, що з пониженням температури навколишнього середовища і за інших рівних умов відбувається збільшення потужності пристрою на 17 %.

Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні передумови про можливість саморегулювання потужності УЕМС і ефективності передпускового підігріву моторного масла в піддоні картера ДВЗ розробленим пристроєм без застосування традиційних систем автоматичного управління.

### **3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПІДГРІВУ МАСЛА КАРТЕРА ДВИГУНА ДЛЯ ПОЛЕГШЕННЯ ЙОГО ЗАПУСКУ**

Пристрій для підігріву (рис. 14) знаходиться в піддоні 1 картера і огинає маслоприймач 2. Воно складається з нижньої 3 і верхньою 4 струмопровідних пластин, розташованих паралельно і що скріплюють діелектричними стяжними гвинтами 5. Між пластинами 3, 4 розташовані децентралізовано і щільно до них притиснуті позистори 6, які укладені усередині діелектричної прокладки 7. Мінусова клема (-) джерела живлення підводиться до нижньої пластини 3 за допомогою болта 8. Плюсозна клема (+) підводиться від джерела живлення до верхньої пластини 4 за допомогою дроту через прохідний ізолятор 9. Масляні вікна 10 сприяють кращому змішуванню верхніх і нижніх шарів масла в піддоні 1 картера.

При подачі напруги на нижню 3 і верхню 4 пластини електричний струм проходить через позистори 6 і вони нагріваються до розрахункової температури (точки перемикавання). При цьому різко зростає електричний опір позисторів 6, споживання струму падає до мінімуму, тепловий потік від нижньою 3 і верхньою 4 пластин до масла, що розігрівається, зменшується. При зниженні температури пластин унаслідок тепловтрат і теплопередачі у



верхні шари масла температура на позисторах 6 стає нижчою за точку перемикання, генерування тепла зростає, що і обумовлює ефект саморегулювання. Децентралізоване розміщення позисторів 6 по всьому перетину піддону 1 знижує до мінімуму температурну і в'язкісну нерівномірність масла. При цьому кожен позистор 6 реагує на зміну температури масла в своїй зоні розміщення. І завдяки саморегулюванню, тобто зміні опору залежно від температури, вірогідність перегріву повністю виключається. Крім того, за рахунок двосторонньої тепловіддачі від позисторів 6 від нижньою 3 і верхньою 4 пластин і копіювання форми піддону пристроєм для підігріву збільшується ефективність їх використання за рахунок збільшення площі теплосприймаючої поверхні.

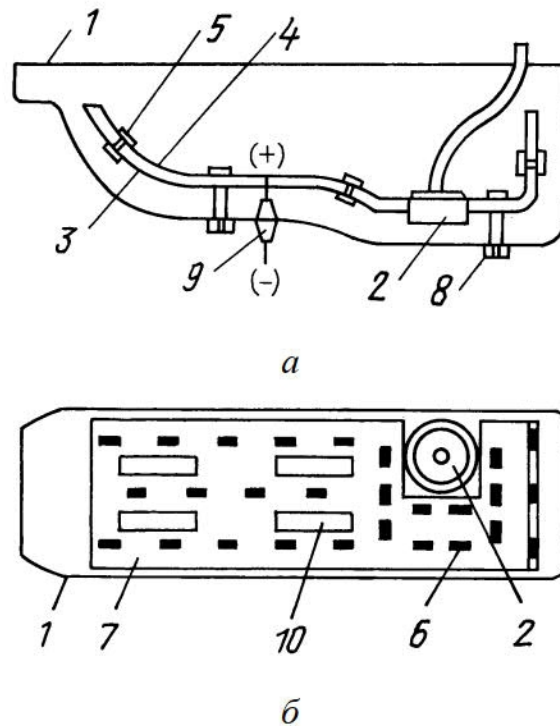


Рис. 14. Пристрій передпускового підігріву масла картера двигуна для полегшення його запуску, вигляд збоку (а) і вигляд зверху

без верхньої струмопровідної пластини (б) пристрою:

- 1 – піддон; 2 – маслоприймач; 3 – нижня струмопровідна пластина;
- 4 – верхня струмопровідна пластина; 5 – діелектричні стяжні гвинти;
- 6 – позистори; 7 – діелектричні прокладки; 8 – болт; 9 – прохідний ізолятор;
- 10 – масляні вікна

Таким чином, пропонуваний пристрій дозволяє понизити температурну і в'язкісну нерівномірність і підвищити ефективність використання позисторів за рахунок двосторонньої тепловіддачі від них і збільшення теплообмінної поверхні.

Загальна схема пристрою підігріву масла картера двигуна на рядному автомобільному двигуні внутрішнього згорання приведена на рис. 15.

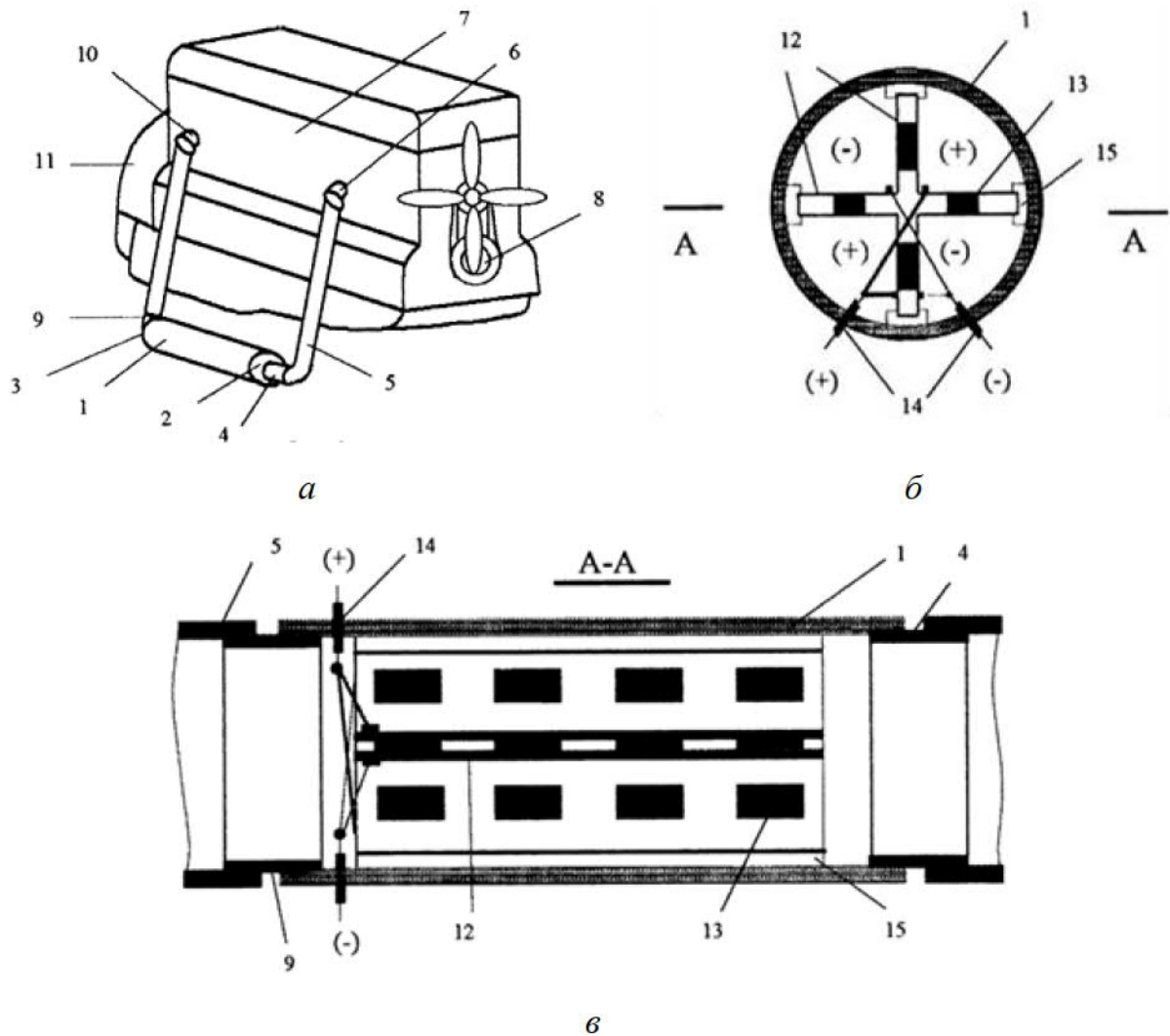


Рис. 15. Загальна схема пристрою підігріву масла картера двигуна на рядному автомобільному двигуні внутрішнього згорання (а), його поперечний розріз (б) і розріз А-А (в)

Пристрій для полегшення запуску двигуна внутрішнього згорання використовується як окремий підігрівач незамерзаючої рідини. Воно містить



корпус 1, виконаний у вигляді діелектричного шланга, з підвідними 2 і відвідним 3 вікнами. Пристрій підключений через підвідний штуцер 4 і шланг 5 до отвору 6, розміщеному в нижній частині рідинної порожнини блоку циліндрів двигуна 7 з боку шкарпетки колінчастого валу 8, а через відвідний штуцер 9 - до отвору 10, розташованому в нижній частині рідинної порожнини блоку циліндрів двигуна 7 з боку маховика 11. Електронагрівальний елемент виконаний у вигляді хрестовини з взаємно перпендикулярними металевими полицями 12, покритими електроізоляційною емаллю. Між металевими полицями 12 щільно затиснуті позистори 13. Металеві полиці 12 через ізолятори 14 по черзі підключені до позитивного і негативного полюса джерела живлення, а торці хрестовини заповнені діелектричною прокладкою 15. Електронагрівальний елемент встановлений в діелектричний шланг 1, підключений через штуцери 4 і 9 до системи охолодження двигуна 7.

Пристрій для полегшення запуску двигуна внутрішнього згорання працює таким чином. При подачі напруги на металеві полиці 12 електричний струм проходить через позистори 13 і вони нагріваються. При цьому відбувається нагрів незамерзаючої рідини в порожнині діелектричного шланга 1. Підігріта рідина в результаті термосифонного ефекту починає циркулювати за системою охолодження двигуна 7, прогріваючи його. Досягши заданої температури рідини (близькою до утворення бульбашок пари) відбувається замикання позисторів 13 унаслідок досягнення ними температури перемикання, споживаний струм зменшується до мінімуму, тепловий потік від позисторів 13 до рідини, що розігрівається, знижується, в результаті цього перегрівання і закипання рідини не відбувається. При зниженні температури рідини унаслідок тепловтрат в навколишнє середовище температура на позисторах 13 стає нижчою за точку перемикання, генерування тепла зростає. Таким чином забезпечується ефект саморегулювання. Виконання конструкції електронагрівального пристрою у вигляді хрестовини з взаємно перпендикулярними металевими полицями 12



збільшує поверхню теплообміну за рахунок двосторонньої тепловіддачі, а завдяки саморегулюванню виключається вірогідність перегріву і закипання рідини. Також при використанні пристрою з позисторами 13 не потрібна пускова і терморегулююча температура.

Таким чином, пропонована розробка дозволяє підвищити надійність роботи пристрою за рахунок виключення перегріву і закипання рідини, порушення термосифонної циркуляції в результаті застосування позисторів і ефективність використання їх за рахунок збільшення поверхні теплообміну, при цьому не потрібне використання пускової і терморегулюючої апаратури.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз технічних засобів передпускового підігріву моторного масла в піддоні картера двигуна внутрішнього згорання показав доцільність розробки з теоретичним обґрунтуванням і експериментальним підтвердженням пристрою електропідігріву моторного масла з саморегулюванням потужності виконаному на базі позисторів пристрою з саморегулюванням потужності.

2. Розроблена конструктивна схема пристроєм з саморегулюванням потужності, яка дозволяє поліпшити якість і надійність процесу підігріву без використання спеціальних засобів контролю і регулювання.

3. Розроблена математична модель, отримані аналітичні вирази температурної характеристики опору позистору у вигляді кусочно-заданих функцій і складена програма, що дозволяє моделювати процес передпускового підігріву моторного масла в піддоні картера двигуна внутрішнього згорання пристроєм з саморегулюванням потужності.

4. Теоретично і експериментально визначені оптимальні конструктивні і режимні параметри пристрою: матеріал корпусу (сталь), товщина стінки тепловіддаючої поверхні 0,5 мм, чистота обробки матеріалу корпусу пристрою дотична з поверхнею позистора 10...20 мкм, зусилля стиснення  $(0,6...1,2) \cdot 10^7$  Па, питома площа тепловіддаючої поверхні пристрою  $F_{\text{уд}} = 192$ . Визначені оптимальні потужності пристрою для тракторів Т-150 (450...550 Вт), К-700 (1000...1100 Вт) і автомобіля КамАЗ (650...700 Вт). Обґрунтовані параметри позистора найбільш відповідного для пристрою підігріву моторного масла: номінальний опір  $R_{\text{ном}} = 6,8$  Ом, температура перемикавання  $T_{\text{пер}} = 130$  °С.

5. Встановлена відсутність змін фізико-хімічних показників моторного масла і погіршення його якості в результаті підігріву пристроєм з саморегулюванням потужності.



6. Експериментально вивчено формування температурного поля моторного масла при його розігріванні пристроєм з саморегулюванням потужності. Встановлено, що найбільш ефективним розташуванням пристроєм з саморегулюванням потужності є горизонтальне розташування, що забезпечує мінімальну нерівномірність ( $Y_n = 0,76 \%$ ) підігріву моторного масла у всьому об'ємі піддону картера, що підвищує надійність безперебійного надходження мастила до деталей сполучень циліндро-поршневої групи двигуна на пускових режимах його роботи.

7. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені алгоритм, методика інженерного розрахунку пристроєм з саморегулюванням потужності що враховує особливості зміни його потужності і теплообмінних процесів підігріву моторного масла в режимі саморегулювання в піддонах картерів ДВЗ при низьких температурах навколишнього середовища.

8. Виробничі випробування показали, що в результаті використання УЕМС пуск двигуна здійснюється не більш, ніж трьома спробами пуску тривалістю кожній від 5 до 15 секунд з інтервалами між ними 1 - 1,5 хв, максимальний струм стартера знижується в середньому на 15...40 А, пускові обороти колінчастого валу збільшуються на 20...50 об/хв.

9. Розроблені пристрої передпускового підігріву масла картера двигуна для полегшення його запуску, які дозволяють понизити температурну і в'язкісну нерівномірність масла, що розігрівається, і підвищити ефективність використання саморегулювальних нагрівальних напівпровідникових елементів (позисторів) за рахунок збільшення поверхні тепловіддачі.

10. Пропонована розробка дозволяє підвищити надійність роботи пристрою за рахунок виключення перегріву і закипання рідини, порушення термосифонної циркуляції в результаті застосування позисторів і ефективність використання їх за рахунок збільшення поверхні теплообміну, при цьому не потрібне використання пускової і терморегулюючої апаратури.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Крамаренко Г.В. Техническое обслуживание автомобилей / Г.В. Крамаренко, И.В. Барашков. - М.: Транспорт, 1982. - 368 с.
2. Цуцоев В.И. Зимняя эксплуатация тракторов и автомобилей / В.И. Цуцоев. - М.: Московский рабочий, 1983. - 111 с.
3. Цуцоев В.И. Зимняя эксплуатация тракторов / В.И. Цуцоев. - М.: Высшая школа, 1983.- 120 с.
4. Пасечников Н.С. Эксплуатация тракторов в зимнее время / Н.С. Пасечников, И.В. Болгов. - М.: Россельхозиздат, 1972. - 144 с.
5. Стефановский А.Б. Улучшение пусковых автомобильных двигателей при низких температурах с помощью электрического предпускового подогрева. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. — М.: НАМИ, 1990.
6. Никифоров А.Н. Научные основы использования топлива и смазочных материалов в сельском хозяйстве / А.Н. Никифоров. - М.: Агропромиздат, 1987. - 246 с.
7. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ, изд. / К.М. Бадыштова, Я.А. Берштадт, Ш.К. Богданов и др.; Под ред. В.М. Школьников. — М.: Химия, 1989. - 432 с.
8. Покровский Г.П. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости / Г.П. Покровский. - М.: Машиностроение, 1985.- 195 с.
9. Конанов С.А. Исследование температурного режима системы смазки тракторного двигателя при его эксплуатации в холодное время года. Автореф.дисс. кандидата.техн.наук / С.А. Конанов. - Омск, 1972. - 22 с.
10. Никифоров А.Н. Рекомендации по применению топлива и смазочных материалов для автотракторной и сельскохозяйственной техники / А.Н. Никифоров. - М.: Росельхозиздат, 1975. - С. 10.
11. Бугаков Ю.С. Исследования влияния низких температур на эксплуатационные режимы смазки агрегатов силовой передачи



- гусеничного трактора класса 3 тонны. Автореферат диссертации / Ю.С. Бугаков. - 1970.
12. Колосюк Д.С. Автотракторные топлива и смазочные материалы / Д.С. Колосюк, А.В. Кузнецов. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. - 191с.
  13. Леонов О.Б. Нагрузки подшипников коленчатого вала на неустановившихся режимах работы дизеля / О.Б. Леонов, А.Я. Шкарупило. - Машиностроение, 1987. - №7. - 9-10 с.
  14. Сорокин Л.А. О кинетике изнашивания цилиндропоршневой группы автомобильного двигателя при пуске / Л.А. Сорокин // Автомобильная промышленность. - 1974, - №7. - 15-17 с.
  15. Суранов Г. И. К исследованию пусковых износов двигателей внутреннего сгорания / Г. И. Суранов // Тр. ЦНИИМЭ. – 1968. - Вып. 90. - 46 с.
  16. Суранов Г. И. Исследование пусковых износов деталей автомобильного двигателя / Г.И. Суранов, Л.А. Завьялов // Тр. ЦНИИМЭ. - 1969. - Вып. 102. - 43 с.
  17. Кох П.И. Надежность горных машин при низких температурах / П.И. Кох. - М.: Недра, 1972. - 192 с.
  18. Трибологические свойства антифрикционных смазывающихся материалов / В.Е. Барт, Ю.Н. Васильев, А.И. Вигдорович и др. - М.: ВНИИ ГССР, 1982.-62 с.
  19. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. - М., Машиностроение, 1974. - 46 с.
  20. Суранов Г.И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске / Г.И. Суранов. - М.: Колос, 1982. - 143 с.
  21. Зеленцов В.В. Влияние теплового режима автомобильных двигателей на процессы их изнашивания / В.В. Зеленцов. - Горький, 1979. - 68 с.
  22. Крамаренко Г.В. Безгаражное хранение при низких температурах / Г.В. Крамаренко и др. - М.: Транспорт, 1984. - 84 с.