

**КАЧМАР Р.Я.** канд.техн.наук, доцент  
**ПАНЧИШИН А. С.** магістр-механік  
Національний університет "Львівська  
політехніка"

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОСТАТА З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ

*Проведено теоретичні та експериментальні дослідження системи рідинного охолодження з термомеханічним термостатом, проведено порівняння термомеханічного і електронного термостата; обґрунтовано доцільність заміни на електронний термостат.*

Однією з головних умов, які забезпечують надійну роботу автомобільного двигуна з оптимальними показниками, є підтримка його заданого теплового стану. Тепловий стан (або температурний режим) характеризується робочою температурою основних деталей двигуна - поршня, стінки і головки циліндра та інших, яка є функцією теплового навантаження на ці деталі та їх теплообмінних властивостей. У процесі роботи автомобільного двигуна необхідно підтримувати такий тепловий стан його деталей, який відповідає найбільш придатному поєднанню якості протікання робочого процесу з точки зору паливної економічності та викидів шкідливих речовин та необхідної надійності і ресурсу двигуна.

Сьогодні актуальність роботи обумовлена підвищенням вимог до регулювання теплового стану двигунів, які принципово неможливо виконати за допомогою традиційного термомеханічного термостата, а також розширенням його функцій і широким поширенням мікропроцесорних систем для комплексного управління автомобільними двигунами. До недавнього часу система рідинного охолодження залишалася однією з

небагатьох систем двигуна, в якій не використовувалися можливості електронного керування, яке дозволяє підтримувати оптимальний тепловий стан двигуна на різних режимах його роботи.

Необхідно відмітити, що вплив різних показників роботи двигуна на його температурний режим є достатньо дослідженим, зокрема, такі вчені як Гутаревич Ю.Ф., Формальчик Є.Ю., Симоненко Р.В., Агапов Д.С., Безюков О.К., які встановили вплив температурного стану двигуна на паливно-екологічні показники двигуна, вплив властивостей охолоджувачів рідин на характеристики енергоустановок тощо. Водночас, жоден з фахівців не розглядав можливість удосконалення існуючої системи охолодження застосуванням термостата з електронним керуванням.

Застосування електронного керування відкриттям термостата на сьогодні не становить конструктивної складності, водночас недослідженим виявляється обґрунтування алгоритмів функціонування таких керуючих дій.

Тому основне завдання дослідження полягає у виявленні на основі експериментальних досліджень особливості регулювання температури охолодної рідини при типових режимах

роботи двигуна за допомогою традиційного термомеханічного термостата, а також пошуку взаємозв'язку конструктивних параметрів термостата з процесом регулювання теплового стану двигуна.

Для реалізації поставленої мети було сформовано основні завдання досліджень:

- створити лабораторну установку для дослідження роботи автомобільних термостатів;

- виявити на основі експериментальних досліджень особливості регулювання температури охолодної рідини двигуна за допомогою традиційного термомеханічного термостата;

- обґрунтувати вимоги до термостата з електронним управлінням, які дозволять йому ефективно працювати у складі комплексних систем регулювання теплового стану двигуна;

- розробити принцип дії та конструкцію термостата з електронним управлінням, а також знайти основи побудови алгоритму керування ним.

Для виконання поставлених завдань необхідно спочатку визначити ступінь впливу зовнішніх чинників на показники теплового стану двигуна. Визначити тепловий стан двигуна в складі автомобіля за температурою окремих деталей досить складно, тому зазвичай його оцінюють за температурою охолодної рідини або температурою оливи в картері, які є найважливішими показниками теплового стану двигуна.

Вплив температури охолодної рідини на індикаторні показники двигуна неоднозначний. З одного боку, зі збільшенням температури охолодної рідини підвищується температура стінки циліндра, що тягне за собою зменшення кількості теплоти, що відводиться за робочий хід в систему рідинного охолодження, а також збільшення індикаторної потужності. З іншого боку, зростає підігрів свіжого заряду на впуску, що призводить до падіння індикаторної потужності через зменшення коефіцієнта наповнення. Водночас, чим вища

температура охолодної рідини, тим менша теплове напруження деталей, що контактують з гарячими газами.

Також, згідно з даними [1], зі збільшенням температури охолодної рідини з 90 до 110 °С знижується вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобільних двигунів на 20 і 10 % відповідно [2].

Система автоматичного регулювання температури термомеханічним термостатом зводиться до найпростішої схеми, де вхідним сигналом для системи рідинного охолодження є переміщення замикаючого елемента клапана термостата, а вихідним - температура охолодної рідини. Величина поточної температури охолодної рідини є результатом двох різноспрямованих процесів - підведення теплоти до рідини в двигуні і відведення теплоти в радіаторі. Також істотний вплив створюють збурення, викликані зміною поглинання тепла додатковими системами автомобіля, що працюють в контурі системи охолодження, внаслідок зміни режимів їх роботи (радіатор опалювача салону, газові випарники в системах живлення скрапленням газом тощо).

Звідси випливає, що існуюче регулювання температури охолодної рідини термостатом зазвичай зводиться до релейного (крокового) керування температурним станом двигуна і не дозволяє підтримувати різну постійну температуру на сталих режимах. В класичній системі залежно від інтенсивності тепловиділення в двигуні (навантаження, частоти обертання валу двигуна) і інтенсивності охолодження в радіаторі (температури навколишнього середовища, швидкості набігаючого потоку повітря і тощо) температура охолодної рідини знаходиться в певному інтервалі. Причому, цей інтервал дорівнює інтервалу температури налаштування термоелемента термостата, наприклад, 80...100 °С. Тому, в процесі експлуатації температура охолоджувальної рідини на виході з двигуна може змінюватися відносно заданої в межах 8 ... 12 °С [1].

Таким чином, температура охолодної рідини не залишається стабільною не тільки на перехідних, але і на стаціонарних режимах роботи двигуна. Через особливості системи автоматичного регулювання температури, а також через специфіку принципу дії термостата, при зниженні навантаження двигуна, температура охолодної рідини на виході з сорочки охолодження падає внаслідок зменшення потужності теплових втрат, що відводяться в системі рідинного охолодження. З аналізу впливу температури охолодної рідини на показники токсичності і паливної економічності двигуна очевидно, що доцільно підтримувати підвищену температуру охолодної рідини на низьких навантаженнях і знижувати її на високих.

Існуюча система регулювання температури охолодної рідини за допомогою термомеханічного термостата не дозволяє забезпечити оптимальний тепловий стан двигуна з точки зору паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів навіть на стаціонарних режимах роботи двигуна.

Для проведення експериментального дослідження особливостей роботи і регулювання температури охолодної рідини двигуна за допомогою традиційного термомеханічного термостата, на кафедрі експлуатації та ремонту автомобільної техніки НУ "Львівська політехніка" була створена лабораторна установка (рис. 1), яка імітує роботу системи рідинного охолодження двигуна.

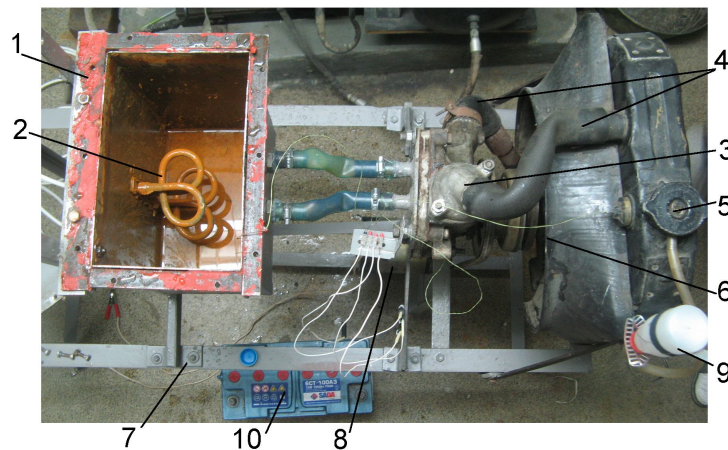


Рис. 1. Елементи лабораторної установки: 1 - резервуар, 2 - нагрівні елементи, 3 - термостат, 4 - патрубки, 5 - радіатор, 6 - вентилятор, 7 - рама, 8 – електродвигун, 9 – бачок, 10 – АКБ

Принцип роботи даного стенда полягає у відтворенні функціональних дій рідинної системи охолодження для двигуна внутрішнього згоряння. Для запуску замикаємо коло електродвигун-джерело живлення (аккумуляторна батарея 10), після чого електродвигун 8 через пасову передачу взаємодіє з водяною помпою 3 і вентилятором 6. Після чого електронагрівачі 2 імітують теплопередачу від роботи двигуна.

Водяна помпа змушує циркулювати охолодну рідину по малому колу охолодження (резервуар-водяна помпа-перепускний клапан термостата-

резервуар). Так продовжується доти, поки не спрацює термостат, тобто поки не відкриється його основний клапан.

Для визначення температури в кожному з контурів установки було використано термопари, які після тарування були вмонтовані на установці. Одна термопара вмонтована у резервуар 1, друга – в корпус водяної помпи 3 для аналізу різниці температур охолодної рідини від відводу теплоти від нагрівальних елементів (циліндропоршневої групи) до обігу кола охолодження (мале - велике). Третя термопара була розташована в горловині

радіатора – для встановлення моменту відкриття термостата.

Для визначення загальної кількості теплоти, яка відводиться у систему охолодження при роботі двигуна на різних навантажувальних режимах, було проаналізовано рівняння теплового балансу:

$$Q = Q_e + Q_{ox} + Q_{вг} + Q_{нз} + Q_{ол} + Q_3, \text{ кВт}$$

де  $Q$  - теплота згоряння витраченого палива;  $Q_e$  – теплота, еквівалентна ефективній роботі;  $Q_{ox}$  - теплота, відведена охолодним середовищем;  $Q_{вг}$  - теплота, що виноситься відпрацьованими газами;  $Q_{нз}$  - теплота, втрачена в наслідок не повного згоряння палива;  $Q_{ол}$  - теплота, відведена оливою;  $Q_3$  - теплота, не врахована складовими теплового балансу.

Числові значення складових теплового балансу для частоти обертання колінвалу 600 об/хв. зведені в табл. 1. *Таблиця 1*

Складові	$Q_e$	$Q_{ox}$	$Q_{вг}$	$Q_{нз}$	$Q_3$	$Q$
Теплота, кВт	17,23	21,55	16,03	22,98	3,64	81,43

Після визначення загальної кількості теплоти, яка відводиться у систему охолодження при роботі двигуна для ustalених навантажувальних режимів на фіксованих частотах обертання колінчатого валу, тепло створене двигуном імітувалося вмиканням нагрівальних елементів. Результати групи проведених досліджень відображені на рис. 2.

Отримано графіки зміни температури охолодної рідини в резервуарі від часу нагрівання, з якого видно що температура охолодної рідини до 80°C зростає лінійно, після чого вона починає змінюватись прямопропорційно до кута відкриття клапана термостата.

Зміна температури охолодної рідини, що омиває термоелемент термостата, є меншою від температури в резервуарі, що пояснюється втратами тепла, а саме віддачею тепла середовищу.

Складові теплового балансу

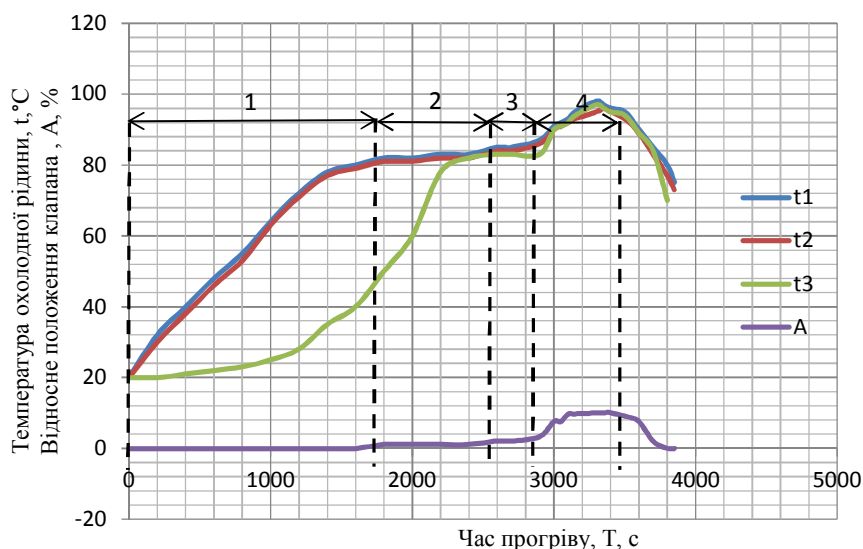


Рис. 2. Залежність температури від часу нагрівання охолодної рідини:

t1- температура охолодної рідини в резервуарі, t2- температура охолодної рідини, що омиває термостат, t3- температура охолодної рідини в радіаторі, А-відносне положення замикаючого елемента клапана термостата

Період прогрівання можна умовно розділити на чотири фази. Перша фаза (наближено тривалістю 1500 с) характеризується закритим станом термостата, коли вся охолодна рідина рухається по малому колу (за винятком невеликих витоків через основний клапан). Температура охолодної рідини на виході з двигуна (нагрівача) росте практично з постійною швидкістю. Деяке зменшення швидкості нагріву з часом викликане збільшенням тепловіддачі від поверхні сполучних патрубків нагрівача і насоса із-за підвищення їх температури. Температура охолодної рідини в радіаторі росте відповідно до витоків через основний канал, а також за рахунок перенесення теплоти в радіатор шляхом перемішування охолодної рідини і дії явища теплопровідності.

Друга фаза (тривалістю 700 с) розпочинається з температури 80 °С (для конкретної моделі термостата ця температура визначається складом наповнювача), коли основний клапан термостата привідкривається на величину близько 0,05...0,07 мм, що складає 0,5...0,7 % від повного ходу клапана. В результаті змішування холодної охолодної рідини з радіатора, ріст температури на виході з двигуна припиняється до моменту, поки радіатор не прогріється до температури, близької до температури охолодної рідини на вході в двигун.

Фаза третя (тривалість близько 300 с) - початок процесу регулювання температури. У цій фазі, температури охолодної рідини на виході з двигуна і на виході з радіатора ростуть разом до моменту, коли термостат встановить такий розподіл потоків при якому настане рівновага між теплотою, що підводиться і відводиться.

У четвертій фазі термостат підтримує постійну температуру охолодної рідини, при якій існує рівновага між кількістю теплоти, що підводиться в нагрівачі (двигуні) і відводиться в радіаторі.

Очевидно, що така схема реалізації керування роботою термостата, яка

характеризується великою інерційністю, множинністю збурюючих чинників та недосконалістю конструкції не відповідає сучасним вимогам до таких складних автомобільних систем, зокрема, для забезпечення мінімальної токсичності відпрацьованих газів. Ситуація з класичним термостатом подібна до тієї, яка не так давно спостерігалася з карбюратором в автомобільній індустрії.

Виникає необхідність вдосконалення конструкції існуючого термостата застосуванням електронного регулювання його роботою. Ознайомившись з загальною будовою термостата з електронним керуванням, та системою в яку він входить, можна виділити його вагомі переваги:

1. Можливість плавного та якісного регулювання температури охолоджувальної рідини;

2. Зміщення моменту відкриття термостата в зону менших температур, що дасть можливість запобігти такому явищу, як перегрів двигуна;

3. Суттєве зменшення часу прогріву двигуна до робочої температури;

4. Підвищення економічності і екологічності таких типів двигунів автомобілів.

Для забезпечення цих переваг звичайний термостат повинен бути доповнений електронним регулятором, також повинні застосовуватися давачі температури на виході із радіатора і температури двигуна.

Завдяки можливому підвищенню температури охолодної рідини в діапазоні часткового навантаження, система терморегулювання сприяє зниженню середнього тиску тертя і граничних теплових втрат. Як результат також зменшується витрата палива, викид токсичних сполук із відпрацьованими газами.

Температура охолодної рідини в діапазоні до 105°С (від холостого ходу до середньої зони часткового навантаження) підтримується загальновідомим способом за допомогою твердотілого регулюючого елемента.

У діапазоні температури охолодної рідини до 95°C (верхня зона часткового навантаження до повного навантаження) регулювання здійснюється за допомогою додаткової електричної нагрівальної спіралі у твердотільному елементі. Нагрівальна спіраль у елементі керується системою терморегулювання, вона підігріває твердотільний елемент так, щоб терморегулятор спрацював від нагрівання і відкрився.

У процесі регулювання температури охолодної рідини в заданих діапазонах враховується частота обертів двигуна, рівень навантаження, ввімкнена передача, а також зовнішня температура.

На підставі проведених досліджень отримано такі результати:

1. Проведений аналіз існуючих систем рідинного охолодження двигуна внутрішнього згорання показав, що класична схема керування термостатом не відповідає сучасним вимогам до автомобільних систем, зокрема, за економічним і екологічним критеріями.

2. Створена лабораторна моделююча установка для дослідження автомобільних термостатів різних конструкцій, а також інших компонентів системи рідинного охолодження двигунів внутрішнього згорання.

3. Виявлені особливості регулювання температури охолодної рідини двигуна за

допомогою традиційного термомеханічного термостата. Зокрема, проведений аналіз робочої характеристики термостата двигуна ЗМЗ-511.10 показує, що регулювання температури охолодної рідини відбувається лише в діапазонах 0...30 % і 60...80 % ходу замикаючого елемента основного клапана (тобто в сумі близько 50 % повного ходу). Окрім цього, при використанні термомеханічного термостата неможливо забезпечити робочу температуру охолодної рідини в діапазоні 90...95 °С при холодному радіаторі.

4. На підставі виконаних досліджень, а також з врахуванням умов експлуатації автомобільної техніки сформований комплекс основних вимог до термостата з електронним управлінням.

#### Список джерел

1. Агапов Д.С. Улучшение топливно-экономических и энергетических показателей дизеля оптимизацией температурного режима: Дис. канд. техн. наук/ Санкт-Петербургский гос. аграрный ун-т. Санкт-Петербург. - 2004. -169 с.

2. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН. - 1998. - 214 с.

### **THERMAL OPTIMIZATION OF VEHICULAR ENGINE THERMOSTAT BY USING ELECTRONICALLY CONTROLLED**

*Theoretical and experimental studies of liquid-cooled with thermostat thermomechanical, thermomechanical and compared the electronic thermostat, the expediency of replacing the electronic thermostat.*