

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**КОЦЮМБАС ОЛЕГ ЙОСИФОВИЧ**



УДК 621.43.016.4(031)

**ВПЛИВ ЗМІНИ РОЗМІРІВ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ  
НА ЇХНІЙ ТЕПЛОВИЙ СТАН ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА  
І ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ АВТОМОБІЛЯ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів-2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гудз Густав Стефанович,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри «Експлуатація та ремонт  
автомобільної техніки», м. Львів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Рудзінський Володимир Васильович,**  
Житомирський державний технологічний університет,  
завідувач кафедри «Автомобілі та автомобільне  
господарство», м. Житомир

кандидат технічних наук, доцент  
**Грубель Михайло Григорович,**  
Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра  
Сагайдачного,  
доцент кафедри «Автомобілі та автомобільне  
господарство», м. Львів

Захист дисертації відбудеться «23» вересня 2015 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, корп. XIV., ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «\_\_\_» серпня 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



М. Ф. Боднар

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Для підвищення надійності двигуна (ДВЗ) та стабільності його техніко-економічних характеристик на стадії проектування та виробництва потрібно забезпечувати довговічність деталей шатунно-поршневої групи. Для цих деталей важливими показниками, якими визначають їх властивості під час експлуатації, є рівень технології виробництва, механічні характеристики матеріалів, якість робочих поверхонь деталей з урахуванням подальших можливостей їх ремонту. Оптимізація перелічених показників в значній мірі дозволить збільшити ресурс як самих деталей, так і двигуна в цілому, а, отже, істотно скоротить витрати на запасні частини.

До найбільш поширеного методу підвищення ресурсу двигунів належить метод відновлення їх гільз способом розточування до ремонтних розмірів. Він передбачає збільшення діаметру гільз циліндрів, що призводить до зменшення товщини стінок, й тим самим до зміни температурного режиму двигуна в цілому, який визначає стабільність робочих показників ДВЗ. Крім того, збільшення діаметру гільз циліндрів впливає на тягово-швидкісні показники та паливну економність автомобіля. У зв'язку з цим дослідження процесів зміни температурного режиму роботи двигуна з відновленими гільзами становить актуальну науково-прикладну задачу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у рамках науково-дослідної роботи кафедри «Експлуатація та ремонт автомобільної техніки» («Дослідження і оптимізація експлуатаційних властивостей автомобілів, технічного обслуговування та транспортних процесів», № державної реєстрації 0114U001687) й Інституту інженерної механіки та транспорту («Новітні та ресурсозберігаючі технології на транспорті, в промисловості, надійність і діагностика машин, конструкцій і споруд») Національного університету «Львівська політехніка». Дисертаційна робота відповідає «Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 року», прийнятій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 03.08.2011 р. № 732-р, а також «Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період і до 2020 року».

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи — встановити вплив збільшення діаметрів циліндрів на зміну температурного режиму, економності та енергетичних показників роботи двигуна, а також тягово-швидкісних та паливно-економічних властивостей автомобіля.

Для досягнення мети у роботі сформульовані та розв'язувались такі задачі:

1. Аналіз чинників, які впливають на робочі процеси та надійність ДВЗ.
2. Огляд методів теплових розрахунків автомобільних двигунів.
3. Розроблення математичної моделі для дослідження температурних полів в контактному середовищі «гільза циліндрів – охолодник».
4. Створення вимірювального комплексу і проведення стендових випробувань ДВЗ з метою перевірки адекватності математичної моделі.
5. Параметрична зовнішня ідентифікація граничних умов теплових моделей «гільза – охолодник» розв'язуванням зворотної задачі теплопровідності.
6. Комп'ютерне моделювання теплових процесів і порівняння його результатів з вислідами стендових випробувань ДВЗ.
7. Дослідження дії впливових чинників на температурний режим контактного

середовища «гільза – охолодник» ДВЗ за допомогою планового математичного експерименту та отримання регресійних залежностей для визначення тривалості досягнення квазіусталеного теплового режиму ДВЗ.

8. Дослідження впливу збільшення діаметрів циліндрів на зміну потужності, обертового моменту і витрати палива ДВЗ та тягово-швидкісні й паливно-ощадливі властивості автомобіля.

**Об'єкт дослідження** — температурні поля контактного середовища «гільза – охолодник» ДВЗ, характеристики ДВЗ, тягово-швидкісні та паливно-економічні властивості автомобіля.

**Предмет дослідження** — закономірності комплексного впливу густини теплового потоку, коефіцієнта тепловіддачі та товщини стінки гільзи циліндра ДВЗ на її температурний режим, а також зміни діаметру циліндра на показники роботи ДВЗ і динамічні та паливно-ощадливі властивості автомобіля.

**Методи дослідження** — математичне моделювання, планування експерименту, стендові випробування, системний аналіз, ідентифікація граничних умов, розв'язування зворотної задачі теплопровідності, теорія експлуатаційних властивостей автомобіля.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблено метод моделювання процесів теплопередачі та теплообміну на сіткових моделях у контактному середовищі «гільза – охолодник» ДВЗ;
- вперше досліджено комплексний вплив густини теплового потоку, коефіцієнта тепловіддачі та товщини гільзи циліндра на температурний режим контактного середовища «гільза – охолодник»;
- вдосконалено метод розв'язування теплових задач для гільз ДВЗ зі зміненими параметрами;
- розроблено контрольно-вимірювальний комплекс на основі модульного принципу для стендових випробувань ДВЗ;
- встановлено вплив збільшення діаметрів циліндрів на зміну характеристик ДВЗ та тягово-швидкісні й паливно-економічні властивості автомобіля.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що розроблена методика дослідження контактного середовища «гільза – охолодник» на сіткових теплових моделях дала змогу розширити базу знань про робочі процеси ДВЗ та експлуатаційні властивості автомобіля на основі:

- отримання температурних полів;
- вивчення впливу умов тепловіддачі на температурний режим контактного середовища;
- аналізу впливу товщини гільзи циліндрів на її температурний режим;
- отримання регресійних залежностей для визначення тривалості досягнення квазіусталеного теплового режиму ДВЗ з урахуванням дії впливових чинників;
- визначення впливу збільшення діаметру циліндра на зміну характеристик ДВЗ і тягово-швидкісних та паливно-ощадливих властивостей автомобіля.

Рекомендації та технічні рішення, запропоновані у цій роботі, прийняті та використовуються у філії концерну «Техвоєнсервіс» ЛАРЗ (м. Львів).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. В опублікованих спільних роботах дисертанту належать: [1, 11] — створення математичної моделі контактного середовища “гільза – охолодник” ДВЗ; [2, 10, 12] — математичне моделювання процесу температурних полів гільзи і охолодника; [3, 13] — розрахунок граничних умов для моделювання температурного режиму середовища “гільза – охолодник”; [4, 14] — моделювання температурного стану контактного середовища “гільза – охолодник” за різних варіантів роботи ДВЗ; [5, 15, 20] — визначення мінімальної кількості експериментів з умови забезпечення точності; [6, 16] — розроблення методики експериментальних досліджень теплового стану ДВЗ; [7, 18] — аналіз робіт з впливу зміни розмірів циліндрів на тепловий стан двигуна; [8, 17, 19] — розроблення модулів вимірювального комплексу для експериментальної установки; [9] — техніко – економічне обґрунтування потреби ремонту гільз циліндрів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались та обговорювались на: 9-му, 10-му та 11-му міжнародних симпозіумах українських інженерів-механіків у Львові (2009, 2011, 2013 рр.); 58-й науково-технічній конференції у Національному лісотехнічному університеті України (м. Львів, 2008 рр.); 12-й, 13-й та 14-й міжнародних конференціях у Севастопольському національному технічному університеті (м. Севастополь, 2009, 2010, 2011 рр.); 2-й та 4-й міжнародних науково-технічних конференціях у Луцькому Національному технічному університеті (м. Луцьк, 2012, 2014 рр.); 64-й, 65-й, 66-й, 67-й, 68-й та 69-й науково – практичних конференціях Національного транспортного університету (м. Київ, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 рр.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 20 робіт, з яких 8 у наукових фахових виданнях України та 1 — в іноземному фаховому науковому міжнародному виданні, решта — у працях та тезах доповідей на конференціях.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, додатків, списку використаних джерел із 142 назв. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок, у т.ч. 157 с. основного тексту, 62 рисунки та 9 таблиць.

## ОСНОВИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуті питання експлуатаційної надійності автомобільних двигунів. При цьому проаналізовані причини та джерела шкідливих впливів, які погіршують працездатність автомобільних двигунів. Взаємодія двигунів із середовищем наведена на схемі (рис. 1). Згідно з цією схемою у розглянутих процесах, поряд з іншими, домінує процес зношування деталей. Експлуатаційна надійність ДВЗ значною мірою визначається терміном служби циліндро - поршневої групи (ЦПГ). Прийнято вважати, що збільшення зазорів у вузлах тертя ЦПГ є наслідком абразивного, молекулярно-механічного та корозійного виду зношування. Питанням зношування деталей присвячена низка робіт відомих вчених - трибологів

(І. В. Крагельський, Р. В. Кугель, А. В. Чічінадзе, П. А. Ребіндер, В. Д. Кузнецов, Л. І. Зайцев, Д. Н. Гаркунов, М. М. Хрущов, Д. Доусон, Г. Флайтер, Е. Рабінович та інші). Це пояснюється надзвичайною складністю процесів зношування робочих поверхонь циліндрів і їх залежністю від великої кількості конструктивних та експлуатаційних чинників. У роботі розглянуті гіпотези та теорії зношування циліндрів з позицій окремих особливостей цих процесів.

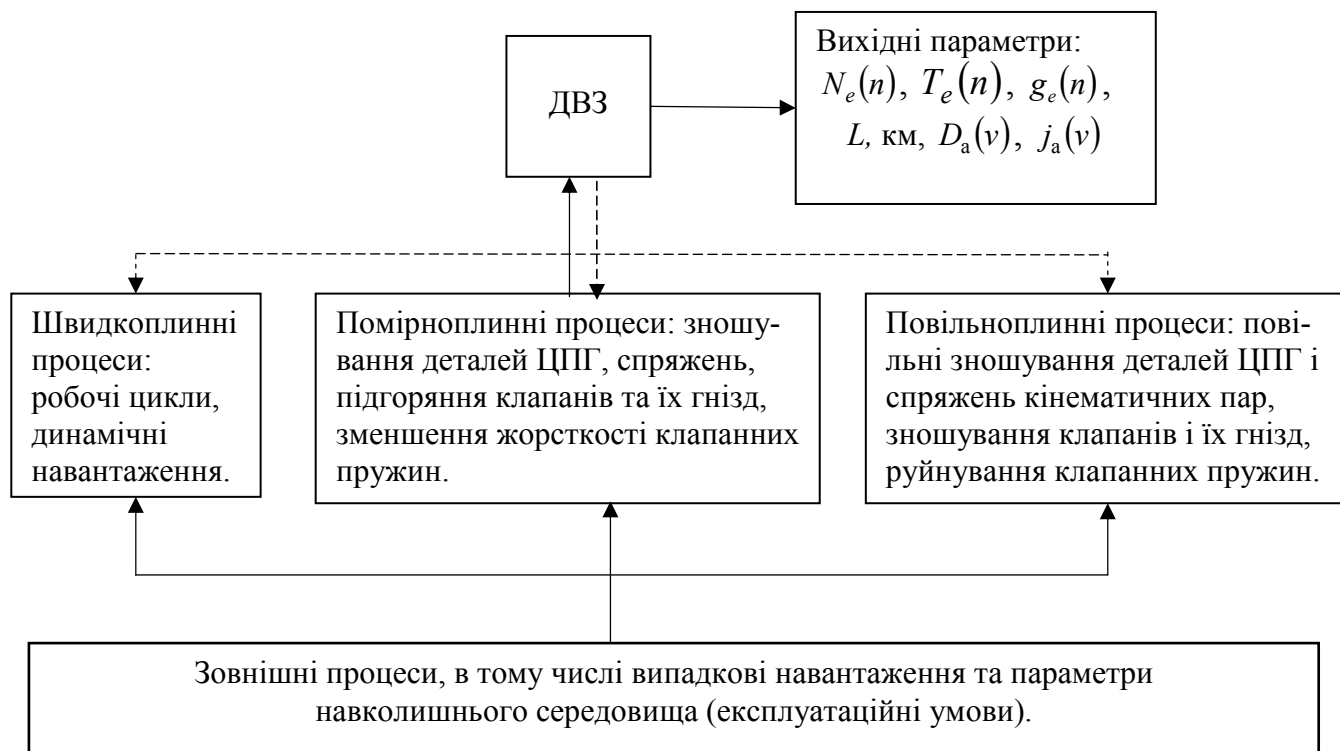


Рисунок 1 – Взаємодія між внутрішніми та зовнішніми процесами у ДВЗ

Оскільки процеси зношування супроводжуються зростанням температури поверхонь тертя, то в роботі розглянутий системний взаємозв'язок зворотного впливу температурного стану двигуна на його експлуатаційні властивості (рис. 2).

Аналіз публікацій показав, що на сьогодні практично не дослідженими залишаються особливості теплопередачі в існуючих ДВЗ при зміні їх конструктивних параметрів внаслідок ремонтних дій та специфіки функціонування системи охолодження, а також їх впливу на тягово-швидкісні та паливно-ощадливі властивості автомобіля. Це підкреслює актуальність теми і сформульованих задач.

**Другий розділ** присвячений математичному опису теплових процесів у ДВЗ, які полягають у безперервному повторенні термодинамічного циклу, в результаті якого деталі двигуна знаходяться у періодичному нестационарному стані.

Термодинамічні процеси у ДВЗ достатньо ґрунтовно висвітлені у фундаментальних працях М. Х. Дяченка, О. К. Костіна, А. С. Орліна, Г. Б. Розенбліта, В. А. Сиволапова та інших, але залишились поза увагою питання впливу геометричних параметрів гільз на температурний режим двигунів.

При дослідженні динаміки температурних полів контактного середовища «гільза циліндрів – охолодник» ДВЗ потрібно розв'язати систему рівнянь у

часткових похідних, які описують процеси тепломасопереносу у складних об'єктах з розподіленими параметрами за відповідних крайових умов:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] + q(x, y, z) = c_1 \rho_1 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] = c_2 \rho_2 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (2)$$

де індекси  $i=1,2$  відносяться до матеріалу циліндра (1) та охолоджувального середовища (2);  $\lambda_i(x, y, z, t)$ , ( $i=1,2$ ) – коефіцієнти теплопровідності;  $q(x, y, z)$  – густина теплового потоку;  $c_i(x, y, z, t) \cdot \rho_i(x, y, z, t)$ , ( $i=1,2$ ) – об'ємна теплоємність;  $t$  – температура,  $\tau$  – час;  $x, y, z$  — поточні координати.

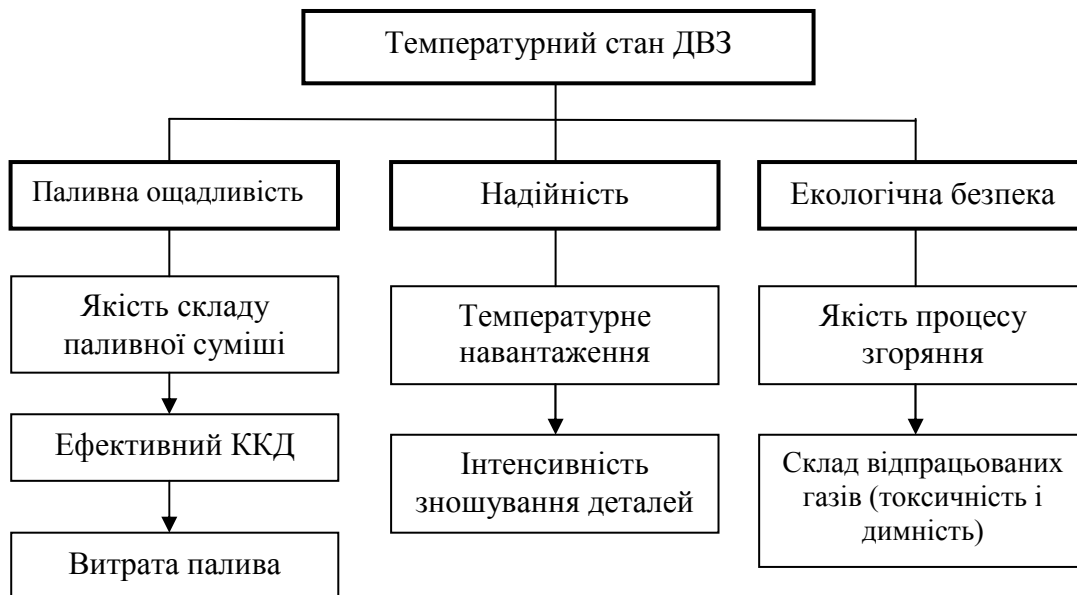


Рисунок 2 – Вплив температурного стану ДВЗ на його експлуатаційні властивості

Оскільки рівняння (1), (2) належать до нестационарних контактних задач в областях неklasичної форми за неоднорідних граничних та складних початкових умов, то вони не мають точного аналітичного розв'язку.

Для задач, які не мають розв'язку в замкнутій аналітичній формі, або коли отримані розв'язки надто складні, що не можуть бути використані для практичного розрахунку, широко застосовуються методи математичного моделювання.

В Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України ім. Г. Є. Пухова для розв'язування задач стосовно процесів тепломасопереносу розроблений програмний комплекс Фур'є-2  $x, y, z$ , який дозволяє дослідникам, інженерам–проектувальникам та експлуатаційникам без попереднього програмування розв'язувати дво-вимірні і тривимірні задачі тепломасопереносу в діалоговому режимі та отримувати результати в наочному і зручному для використання вигляді. Цей комплекс за участі

автора доопрацьований для дослідження теплових процесів у ДВЗ.

Програмний комплекс побудований на методі кінцевих різниць та належить до класу сіткових моделей наближеного розв'язку крайових задач. Метод має похибки апроксимації від першого до четвертого порядку відносно кроку.

Створений за допомогою програмного комплексу конфігуратор гільзи циліндра та схема теплообміну на її поверхнях наведені на рис. 3.

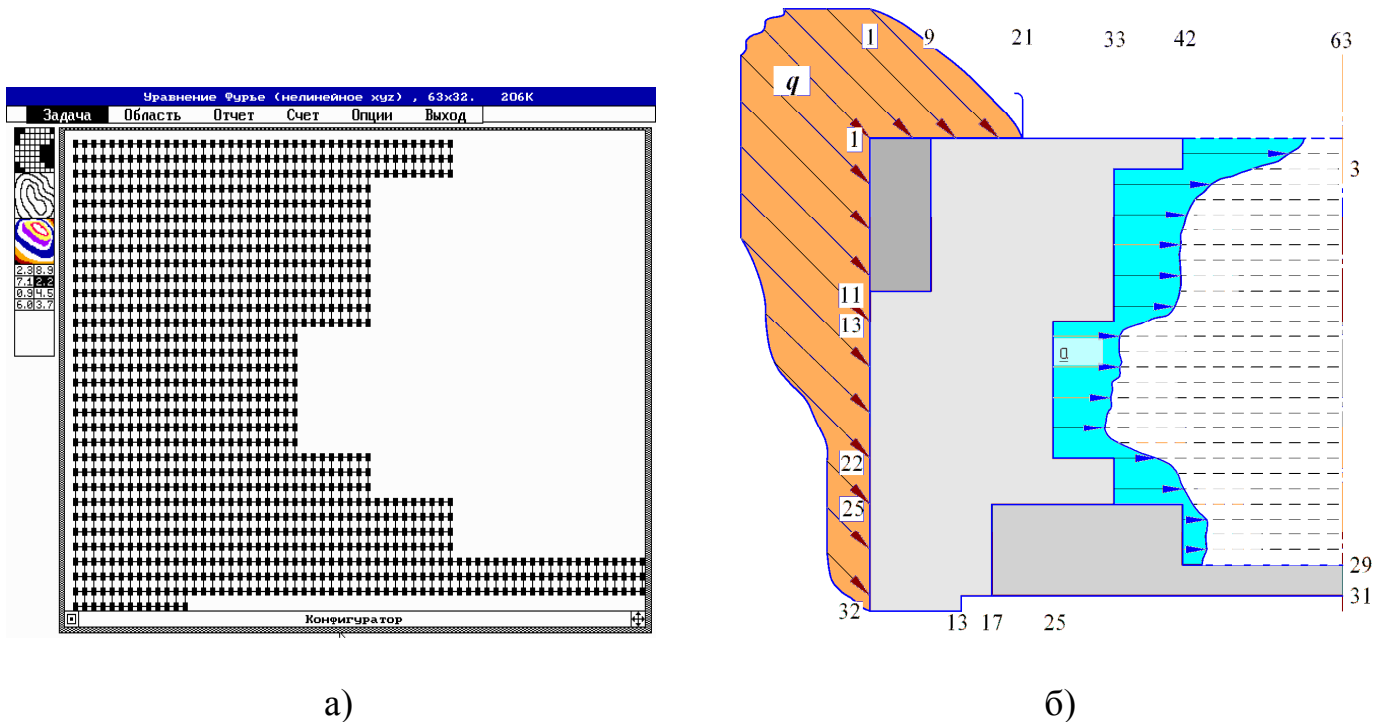


Рисунок 3 – Конфігуратор гільзи циліндра двигуна ЗМЗ-511.10 (а) та схема теплообміну на її поверхнях (б), цифрами позначені координати вузлів

Об'єктом для моделювання була гільза циліндра двигуна ЗМЗ-511.10. Кроки за осями  $x$  та  $y$  прийняті  $0,00025$  м і відповідають міжремонтному інтервалу  $0,5$  мм, тобто  $0,25$  мм на сторону, крок за віссю  $z$  —  $0,005$  м.

Програмою передбачено автоматичну зміну числового значення коефіцієнта  $\lambda$  залежно від температури згідно з лінійним або експоненціальним законами. Однак врахування зміни теплопровідності ускладнює розв'язування. Тому в усіх випадках, коли ця залежність не має істотного впливу на кінцевий результат, величиною  $\lambda$  оперували як сталюю.

Програмою реалізується циклічне завдання результуючої за теплопередачею температури газів під час робочого ходу і випуску з боку камери згоряння  $t_p$  та результуючої температури пальної суміші під час впуску і стиску  $t_B$ , яка фіксується на межі моделі за час  $\Delta t$ .

Інтервали часу визначались кількістю обертів колінчастого вала за секунду, а крок за часом  $\Delta t$  повинен відповідати часу, упродовж якого здійснюється половина оберту або повний оберт колінчастого валу, залежно від зміни заданої результуючої за теплопередачею температури. Завдання проміжку часу  $\tau$  визначалось кількістю обертів колінчастого вала (або тактів) двигуна, яку потрібно здійснити до



вимірювання температури. Таким чином, значення температури під час розв'язування можливо визначати через половину оберту валу або за будь-який проміжок часу.

Крок за часом  $\Delta\tau = 0,0375$  с відповідає одному циклу (двом обертам) колінчастого валу на номінальному режимі (за  $n = 3200$  хв<sup>-1</sup>). На внутрішній поверхні циліндра задані граничні умови другого роду, а на зовнішній — граничні умови третього роду. Коефіцієнти теплопровідності чавунної гільзи  $\lambda_1 = 47$  Вт/(м·К), охолоджувального середовища  $\lambda_2 = 0,68$  Вт/(м·К); об'ємної теплоємності — відповідно  $c_1\rho_1 = 3600000$  і  $c_2\rho_2 = 4100000$  Дж/(м<sup>3</sup>·К).

Доопрацьований програмний комплекс було апробовано, в результаті чого отримано якісне температурне поле гільзи циліндра (рис. 4), оскільки граничні умови третього роду задавались наближено за літературними даними (яскравішому кольору відповідають вищі температури, а темнішому — нижчі).

Кількісні значення коефіцієнтів тепловіддачі можна отримати лише розв'язком зворотної задачі теплопровідності комп'ютерним моделюванням за результатами натурального експерименту.

У третьому розділі викладені технічні вимоги до експериментальних випробувань ДВЗ з метою визначення граничних умов третього роду. Описаний стенд 1 DS 1036 kV (Чехія), який адаптований до випробувань автомобільного двигуна ЗМЗ-511.10. Він представляє собою установку, що включає електричні машини і прилади для випробування об'єктів із обертальним робочим органом.

Головним завданням дообладнання стенда постало забезпечення можливості точного вимірювання температур гільзи та охолодника в характерних точках, запису значень цих температур, обертового моменту й частоти обертання колінчастого валу залежно від часу. Згідно з переліком параметрів, які повинні реєструватись, автором у співдружності з ДП НДІ «Система» (м. Львів) був створений вимірювальний комплекс. Він побудований за модульним принципом, у якому вимірювальні модулі розміщені на крос-платі та з'єднані з допомогою контактних роз'ємів. Комплекс включає персональний комп'ютер; перетворювач інформації – 64-канальний осцилограф засобу паралельної діагностики "Автосканер" від Open System; модулі живлення, вимірювання температур, вимірювання обертового моменту ДВЗ, вимірювання частоти обертання.

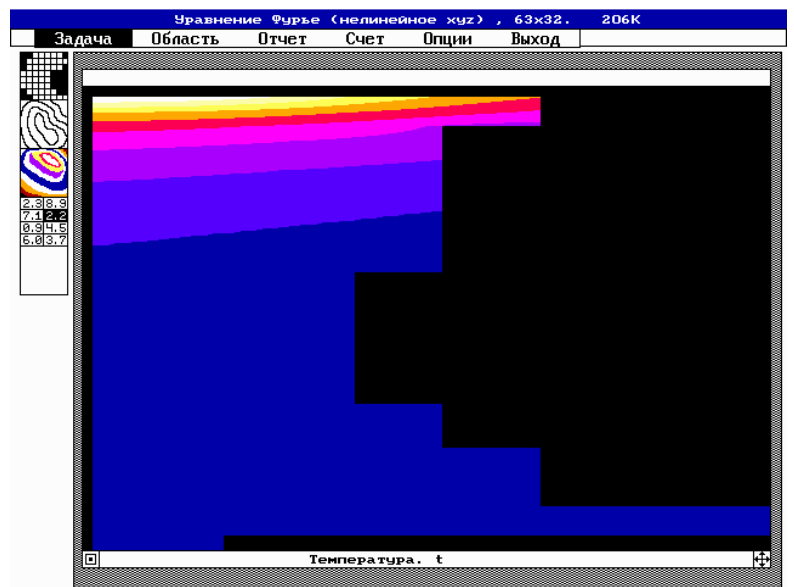


Рисунок 4 – Якісне температурне поле гільзи циліндра двигуна ЗМЗ-511.10

У роботі наведені електричні схеми вимірювального комплексу, їх тарувальні графіки та фрагменти осцилограм і викладена методика визначення обсягу випробувань ДВЗ з метою отримання достатньої точності результатів досліджень.

Принципова схема дообладнаного випробувального стенда наведена на рис. 5.

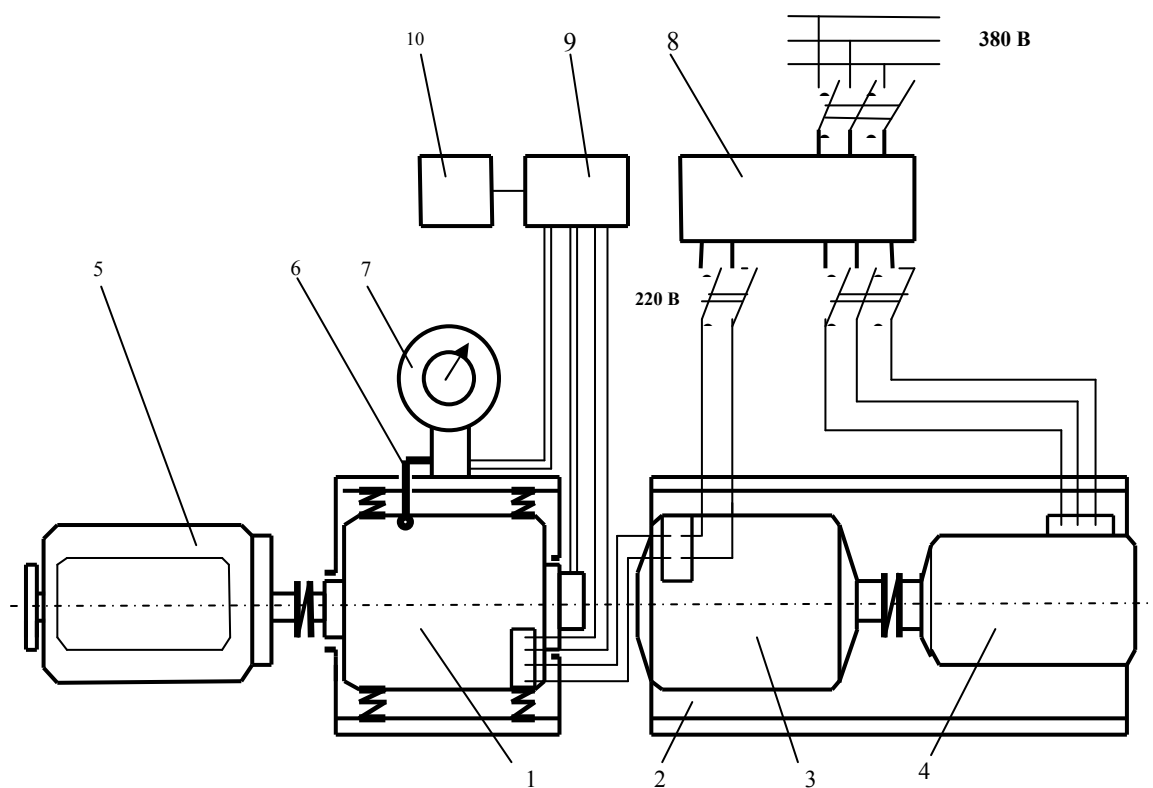


Рисунок 5 – Принципова схема дообладнаного стенда 1 DS 1036 kV:

1 – балансірний динамометр; 2 – рекуперативний пристрій; 3 – генератор постійного струму; 4 – асинхронний електродвигун; 5 – досліджуваний двигун; 6 – реактивний важіль вагової головки; 7 – динамометрична вага; 8 – шафа керування; 9 – пульт керування; 10 – модульно-реєструюча апаратура вимірювального комплексу

У четвертому розділі наведено стислий опис суті системологічного підходу до дослідження властивостей АТЗ, який базується на роботах Е. В. Гаврилова, М. Ф. Дмитриченка, Ю. В. Завадського, О. Ф. Нефьодова та інших вчених. Це дало змогу виявити основні чинники, які впливають на температурний режим ДВЗ, зокрема: 1) генерована теплота; 2) розподіл генерованої теплоти в елементах ЦПГ; 3) теплофізичні властивості матеріалів ЦПГ; 4) умови відведення генерованої теплоти; 5) конструктивні параметри деталей ЦПГ; 6) зміна тепловиділення у часі.

Серед перелічених чинників одну з визначальних ролей відіграють умови тепловіддачі. Взагалі, коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  залежить від форми та розмірів поверхні охолодження, швидкості, температури та теплофізичних властивостей охолоджуючого середовища, температури тіла та інших чинників. Наявні методи аналітичного визначення коефіцієнта  $\alpha$  не завжди відображають реальні умови, у яких працюють деталі ЦПГ, і тому істотно відрізняються від дійсного значення. З огляду на це, виникло завдання отримання істинних значень коефіцієнта тепловіддачі.

Відомо, що зараз значна увага приділяється розв'язуванню зворотних задач теплопровідності (ЗЗТ), у яких за наявними (досить обмеженими) даними про значення температури всередині тіла можна реконструювати його температурне поле, визначити теплофізичні властивості та геометричні характеристики, ідентифікувати початкові та граничні умови, а також уточнити саму математичну модель явища.

Саме за допомогою розв'язування ЗЗТ на підставі стендових випробувань була виконана параметрична ідентифікація граничних умов третього роду. Проводилось 5 випробувань із заданими початковими умовами та розрахованими граничними умовами 2-го роду (тепловими потоками).

За результатами випробувань здійснювалось наближене моделювання температурних режимів середовища «гільза – охолодник» і за співпадінням температурних кривих визначались граничні умови третього роду, тобто числові значення коефіцієнта тепловіддачі.

У табл. 1 наведені значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  у вертикальних вузлах моделі, отримані розв'язуванням ЗЗТ. Позначення  $\alpha_{\min}$  відповідає режиму холостого ходу, а  $\alpha_{\max}$  — номінальної потужності. Середні значення коефіцієнта тепловіддачі на вибраних режимах  $\alpha_{\min}$  та  $\alpha_{\max}$  прийняті як початкові дані для подальшого складання матриці планування експерименту.

Таблица 1

**Значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  у вузлах моделі**

Вузол	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$	Вузол	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$	Вузол	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$
	Вт/(м <sup>2</sup> · град)			Вт/(м <sup>2</sup> · град)			Вт/(м <sup>2</sup> · град)	
1	2800	6000	7-16	1100	3300	22	700	2100
2	2500	5000	17	1000	3200	23	600	1700
3	2200	4500	18	950	3000	24	550	1500
4	1600	4300	19	900	2800	25	500	1400
5	1400	3500	20	850	2500	26-28	400	1400
6	1200	3300	21	800	2200			
Середнє значення							1100	3000

Отримані значення максимальної густини теплових потоків та коефіцієнта тепловіддачі (на режимі номінальної потужності), а також аналогічних мінімальних величин (на режимі холостого ходу) показані на схемах теплообміну на поверхнях гільзи циліндрів (відповідно рис. 6 а, б).

У результаті моделювання процесу на режимі холостого ходу впродовж 30 с з подальшим виходом на режим номінальної потужності отримано нестационарне температурне поле гільзи та охолодника, фрагмент зміни якого для характерних вузлів створеної моделі наведений на рис. 7. Отже, можна констатувати, що на режимі максимальної потужності різниці як між температурами зовнішньої поверхні гільзи номінального та ремонтного розмірів (максимум 3 – 4°), так і за тривалістю її прогрівання, несуттєві. Спостерігається значне відставання у тривалості прогрівання охолодника від гільзи внаслідок їх різних теплофізичних параметрів.



Метод планування експерименту формує поєднання екстремальних значень вагомих чинників, які діють на об'єкт та предмет дослідження, в усіх можливих комбінаціях, навіть у нереальних (віртуальних). Для ДВЗ даними режимами слугують поєднання протилежних (максимальних з мінімальними) значень двох чинників — густини теплового потоку та тепловіддачі. Наприклад, мінімальна густина теплового потоку та максимальна тепловіддача можливі за тривалого руху на спуску гірської дороги з великим ухилом та високою швидкістю на одній з вищих передач за режиму примусового холостого ходу і відсутності або повного відкриття клапана термостата. Поєднання максимального теплового потоку та мінімальної тепловіддачі теоретично можна припустити у разі значної кількості накипу, засмічення, несправностей помпи системи охолодження або термостата (закриття клапана). З метою дослідження температурного стану середовища „гільза – охолодник” розглянуті усі комбінації поєднання екстремальних величин за режимів холостого ходу та максимальної потужності.

Оскільки математичне моделювання дає змогу оперативно змінювати як конструктивні, так і режимні чинники, то певний інтерес викликає спільна дія на тривалість стабілізації температурного режиму циліндрів таких чинників як густина теплового потоку  $q$ , коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  та товщина стінки гільзи  $h$ , тобто  $\tau = f(q, \alpha, h)$ .

З цією метою, зважаючи на отримані результати математичного моделювання, залучено метод планування експерименту, на підставі якого складена матриця типу  $2^3$  (табл.2), згідно з якою, на основі комп'ютерних експериментів, визначали тривалість стабілізації температури середовища «гільза-охолодник».

Таблиця 2

**Матриця планування експерименту  $2^3$  з визначення впливу  $q$ ,  $\alpha$ ,  $h$  на тривалість стабілізації температурного режиму середовища «гільза-охолодник»**

№ експерименту	Значення чинників		
	$X_1$ ( $q$ , кВт/м <sup>2</sup> )	$X_2$ ( $\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> ·град)	$X_3$ ( $h$ , 10 <sup>-3</sup> м)
1	49,4	1100	5,25
2	189	1100	5,25
3	49,4	3000	5,25
4	189	3000	5,25
5	49,4	1100	6
6	189	1100	6
7	49,4	3000	6
8	189	3000	6

У матриці планування експерименти 1-4 відповідають третьому ремонтному розміру гільз, 5-8 — номінальному; 1 та 5 — холостому ходу, 4 та 8 — режиму максимальної потужності; 2 й 6 — максимальній густині теплового потоку за мінімаль-

ної тепловіддачі і, навпаки, 3 й 7 — мінімуму теплового потоку за максимуму тепловіддачі (два останні режими є віртуальними).

На основі опрацювання даних комп'ютерного експерименту отримана регресійна залежність для розрахунку тривалості стабілізації температурного режиму контактної середовища «гільза-охолодник» ДВЗ:

$$\tau = 164,25 - 35,5X_1 - 72,5X_2 + 10,75X_3 - 8,25X_1X_2 - 5X_1X_3 - 2,5X_2X_3, \quad (3)$$

де  $X_1, X_2, X_3$  — кодовані значення дійсних величин чинників  $q, \alpha, h$  відповідно:

$$X_1 = \frac{q - 119,2}{69,8}; \quad X_2 = \frac{\alpha - 2050}{950}; \quad X_3 = \frac{h - 5,625}{0,375}.$$

Результати визначення тривалості стабілізації на основі моделювання, згідно з наведеною вище матрицею, подані у табл. 3.

Таблиця 3

**Результати визначення тривалості стабілізації температурного режиму контактної середовища «гільза-охолодник» ДВЗ**

№ експерименту	Тривалість стабілізації температурного режиму ( $\tau$ , с)	
	Експериментальні значення	Розрахункові значення
1	245	245,75
2	202	201,25
3	123	122,25
4	44	44,75
5	283	282,25
6	217	217,75
7	148	148,75
8	52	51,25

Виконані дослідження дозволяють констатувати, що запропоновані моделі експерименту типу  $2^3$  адекватно описують досліджуваний процес досягнення стабілізації температурного режиму, оскільки спостерігається неістотна розбіжність між комп'ютерним експериментом та теоретичними значеннями його тривалості. Це й підтвердила перевірка адекватності моделі за загальновідомими критеріями.

За вагомістю впливу на тривалість досягнення квазістаціонарного стану чинники розташовуються у такій послідовності: коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ , густина теплового потоку  $q$ , товщина стінки гільзи  $h$ . Крім цього, знаки коефіцієнтів рівняння регресії визначають напрямок впливу зміни чинників на тривалість досягнення стабілізації температурного режиму середовища «гільза - охолодник»: збільшення значень густини теплового потоку  $q$  і коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  спричинює скорочення тривалості досягнення стабілізації, а товщини стінки гільзи  $h$  — навпаки, робить процес довготривалішим. Взаємодія чинників за одночасної їх зміни впливає на тривалість досягнення стабілізації в сторону її зменшення у такому порядку:  $q\alpha, qh, \alpha h$ .

У п'ятому розділі розглянуто наслідки збільшення діаметру циліндрів, у т. ч. після розточування гільз до ремонтних розмірів. Відзначено, що це призводить до змін не тільки температурного режиму, а й характеристик двигуна, внаслідок чого змінюються експлуатаційні властивості автомобіля в цілому. Серед низки цих властивостей одне з найважливіших місць займають тягово – швидкісні (ТШВ), на які впливає збільшення діаметру циліндра, а також показники економності автомобіля. Хоча тягова сила та швидкість руху автомобіля є випадковими величинами і можуть бути описані ймовірно - статистичними методами, загальноприйнятими критеріями оцінювання ТШВ є граничні (тестові) можливості автомобіля, що визначаються зовнішньою швидкісною характеристикою (ЗШХ) двигуна. Тому в роботі розглянуті і порівняні саме ті параметри (чи їх взаємозалежності), що відображають або безпосередньо впливають на зміну тягово-швидкісних та паливно - економічних властивостей автомобіля з номінальними (н) та ремонтними (в) розмірами гільз циліндрів двигунів:

- ЗШХ як функції ефективної потужності  $N_e$ , обертового моменту  $T_e$  та питомої витрати палива  $g_e$  двигунів від кутової швидкості колінчастого валу  $\omega_e$ ;
- залежності обертового моменту  $T_k$  на ведучих колесах та розподілу силового балансу від швидкості руху автомобіля  $v$ ;
- функції динамічного чинника  $D$  та пришвидшення автомобіля  $j$  від швидкості руху;
- залежності тривалості та шляху розгону від швидкості, зокрема, за  $v = 60$  км/год та  $v = 70$  км/год;
- лінійної експлуатаційної витрати палива –  $Q_s$  у типовому (магістральному) їздовому циклі.

Для розгляду обрано вантажний автомобіль класу  $N_2$ , на якому зазвичай використовується досліджуваний двигун ЗМЗ-511.10.

Проведені в роботі аналітичні розрахунки показують, що збільшення ступеня стиску на 2,8 % разом із збільшенням робочого об'єму на 3,3 % внаслідок розточування гільз зумовлює зростання обертового моменту та потужності за малих обертів – на 4,6 %, за середніх – на 4 %, а за максимальних – на 3,2 %; зокрема, максимальний обертовий момент за частоти обертання  $2200 \text{ хв}^{-1}$  збільшився від 284,4 до 295,9 Н·м (4 %), максимальна потужність за  $3200 \text{ хв}^{-1}$  від 84,6 до 87,4 кВт (3,3 %). Щодо паливної економності, то незважаючи на зменшення питомих витрат палива  $g_i$  та  $g_e$  на 1,1 – 1,2 % на усіх режимах, годинна витрата палива двигуном  $G_{\text{пал}}$  зростає від 3,3% за малих обертів до 2,1% за номінальних унаслідок збільшення робочого об'єму.

Аналізом динамічних характеристик автомобіля встановлено, що при застосуванні збільшених діаметрів циліндрів максимальний динамічний чинник на першій передачі  $D_{\text{max}}$  підвищився з 0,341 до 0,355, що відповідає зростанню максимального обертового моменту двигуна на 4 %. На вищій (прямій) передачі максимум динамічного чинника  $D_{v \text{ max}}$  збільшився з 0,0483 до 0,0506, тобто на 4,7 %.

Вказане збільшення динамічного чинника автомобіля з відновленими циліндрами двигуна може бути використане на реалізацію однієї з трьох умов:

- 1) Можливість подолання більшого кута підйому поздовжнього профілю дороги: на першій передачі зростання може становити 4,5 %, а на прямій — 7,9 %.
- 2) Можливість проїзду дорожніх покриттів з більшим коефіцієнтом опору коченню (за ввімкненої першої передачі на 76,5 %, за прямої — на 12 %) під час руху на горизонтальній ділянці дороги.
- 3) Зростання пришвидшення при розгоні на 4,3 (7,9) % під час руху відповідно на першій (прямій) передачі.

Наведений у роботі порівняльний аналіз залежностей динамічної характеристики та пришвидшення від швидкості руху дозволив здійснити якісне оцінювання ТШВ автомобіля, а кількісне – отримано шляхом визначення показників динаміки розгону. Результати розрахунків тривалості та шляху розгону автомобіля з номінальними та збільшеними циліндрами двигуна показані на рис. 8.

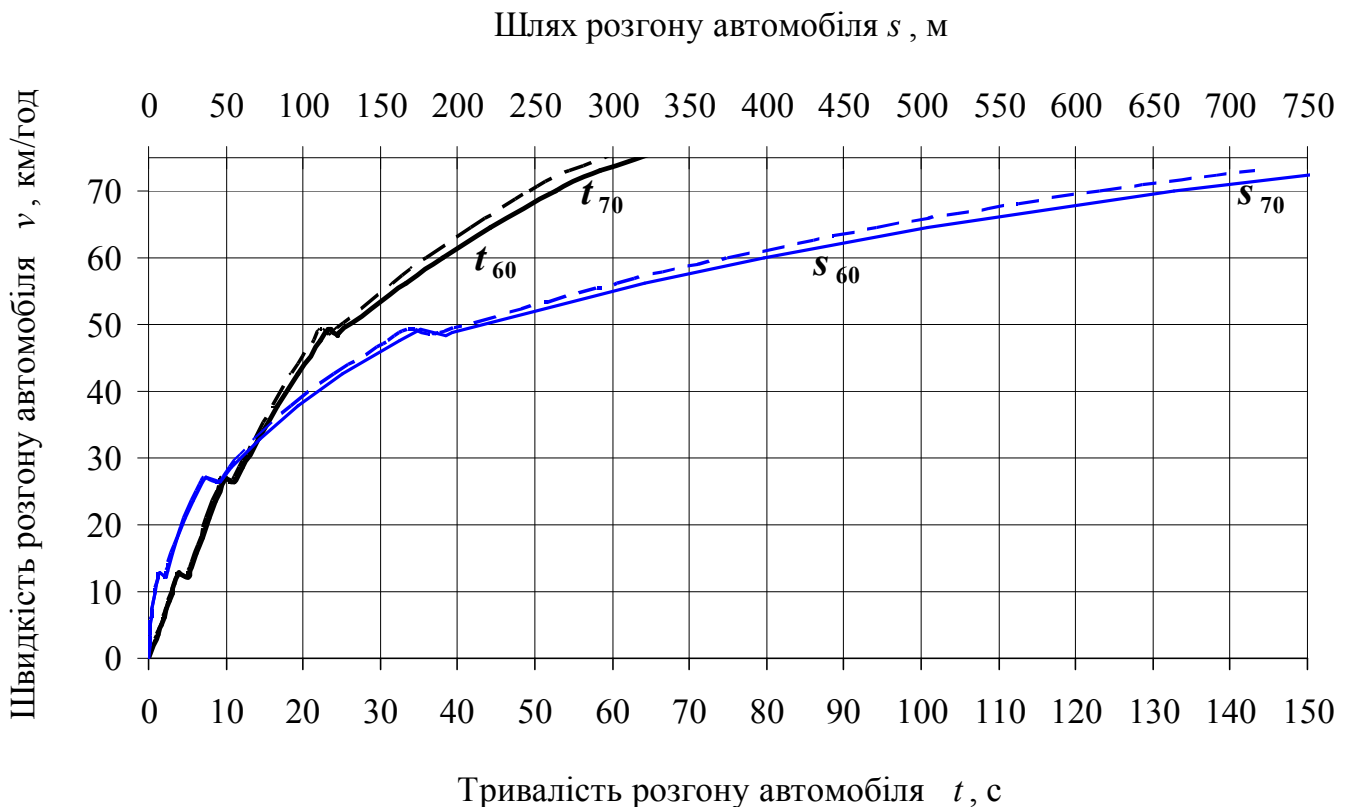


Рисунок 8 – Залежності швидкості розгону від тривалості та шляху розгону автомобілів з — номінальним і - - - збільшеним діаметром циліндрів двигуна

Порівнянням показників динаміки розгону встановлено, що на перших трьох передачах домінантним є вплив перебігу кривих обертового моменту двигуна та втрати швидкості після перемикань на кожен вищу передачу. Тривалість рушання з місця до швидкості  $v_{\min}$  зменшилась на 4,7 %; далі спостерігається практично стала різниця на кожній з передач між відповідними показниками: 4,0 – 4,7 % на першій;



від 2,4 % для шляху або 3,2 % для тривалості розгону до 3,7 % на другій; 3 – 4,4 % на третій. Це пояснюється повільним темпом зростання та відносно незначним впливом сил опору коченню та повітря у діапазонах швидкостей до 50 км/год. За перевищення швидкості 50 км/год на прямій передачі спостерігається істотніше відхилення (з тенденцією зростання) між відповідними кривими тривалості та шляху розгону. Зрозуміло, що сили опору, які пропорційні квадрату швидкості, зростають інтенсивніше. При цьому стає помітним вплив саме тої частки надлишкової сили розгону, яка є наслідком збільшення діаметру циліндра. Тривалість розгону з місця до швидкості 60 км/год автомобіля з відновленими циліндрами двигуна зменшилась з 38,11 с до 36,08 с, тобто на 5,3 %; відповідний шлях — з 398 до 374 м або на 6 %. Для однієї із базових швидкостей магістрального циклу 70 км/год співвідношення вказаних величин становить за тривалістю 52,76 — 49,4 с (6,4 %), а за шляхом 664 — 615 м (7,2 %). Для швидкості 81,6 км/год, яка відповідає режиму номінальної потужності, тривалість розгону зменшилась з 81,2 до 74,2 с (8,6 %), шлях з 1265 до 1140 м (9,9 %); для максимальної швидкості відповідні значення тривалості становлять 93,8 с і 84,3 с (10,1 %), шляху розгону — 1555 м та 1373 м (11,7 %).

Комп'ютерним моделюванням руху автомобіля у типовому магістральному циклі, який регламентується чинним ГОСТ 20306-90, на базі об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi визначено лінійні експлуатаційні витрати палива  $Q_s$  автомобілів з номінальним ( $Q_s = 26,75$  л/100 км) та збільшеним ( $Q_s = 26,43$  л/100 км) діаметрами циліндрів двигуна. Оцінка цих показників дозволяє стверджувати, що збільшення діаметру циліндрів не спричинить погіршення показників паливної економії автомобіля, оскільки розрахована лінійна витрата палива навіть зменшилась на 1,2 %.

## ВИСНОВКИ

У роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача — оцінено комплексний вплив вагомих чинників на температурну стабілізацію автомобільного двигуна та зміну розміру циліндрів на тягово-швидкісні і паливно-економічні властивості автомобіля. Результати виконаних досліджень дають підстави зробити такі висновки:

1. Вперше розроблений метод математичного моделювання теплопередачі та теплообміну в контактному середовищі «гільза циліндрів – охолодник».
2. Вперше виконано дослідження дії впливових чинників на температурний режим контактної середовища «гільза – охолодник» ДВЗ за допомогою планового математичного експерименту. Отримано регресійні залежності для визначення тривалості досягнення квазіусталеного теплового режиму ДВЗ на основі системологічного підходу. Діапазон зміни тривалості стабілізації температури складає 44 – 283 с в залежності від режиму роботи та товщини стінки гільзи.
3. Здійснено аналіз чинників, які впливають на експлуатаційну надійність ДВЗ, проведено ретроспективний огляд методів теплових розрахунків та досліджень ДВЗ, що дало змогу визначити граничні умови за різних

варіантів роботи двигуна, зокрема, середні значення теплових потоків на внутрішній поверхні циліндра змінюються з 49,4 до 189 кВт/м<sup>2</sup> відповідно за режимів холостого ходу та номінальної потужності.

4. Створений вимірювальний комплекс та проведені стендові випробування ДВЗ з метою перевірки правильності математичної моделі задачі.
5. Здійснена параметрична зовнішня ідентифікація граничних умов теплових моделей «гільза – охолодник» розв'язуванням зворотної задачі теплопровідності комп'ютерним моделюванням і порівнянням її результатів з вислідами стендових випробувань ДВЗ. Діапазон середніх значень  $\alpha$  становить для відповідних режимів 1100 – 3000 Вт/(м<sup>2</sup> · град).
6. Проведено дослідження впливу зміни розмірів циліндрів на показники роботи ДВЗ та динамічні властивості автомобіля. Максимальний обертовий момент збільшився на 4%, номінальна потужність ДВЗ – на 3,3%, максимальний підйом, що може подолати автомобіль, на 4,5%, пришвидшення залежно від передачі на 4–21%, динамічний чинник за критичної швидкості на вищій передачі – на 4,7%, тривалість і шлях розгону з місця до 60 (70) км/год зменшилися відповідно на 5,3 (6,4) та 6 (7,2) %.
7. Встановлено незначне покращення на 1,2 % показників паливної економності автомобіля внаслідок збільшення діаметру циліндрів за допомогою комп'ютерного моделювання руху автомобіля в передбаченому чинним стандартом їздовому магістральному циклі.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті в наукових фахових виданнях**

1. Гудз Г. С. Дослідження закономірностей розподілу температурних полів у автомобільних гільзах циліндрів / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Збірник “Вісті Автомобільно-дорожнього інституту ДонНТУ”. – Горлівка, 2009. - №1(8). – С. 126–130.
2. Гудз Г. С. Визначення температурних полів та часу досягнення стабілізації теплового стану гільзи циліндрів і охолодника / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Вісн. Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. - Луганськ, 2010. – № 6(148). – С. 110–113.
3. Гудз Г. С. Визначення динаміки теплового стану гільзи циліндрів і охолодника за номінальної потужності автомобільного двигуна / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Вестн. Харьковского нац. автом.- дор. ун-та. – Харьков, 2010. – Вып. 51. – С. 180 – 183.
4. Гудз Г. С. Дослідження температурних полів та часу досягнення квазіусталеного теплового режиму гільзи циліндрів і охолодника за багаторівневих граничних умов / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Вісн. НКЦ НТУ у м. Львові, № 18. – Львів, 2010. – С. 61–64.
5. Гудз Г. С. Визначення обсягу натурних випробувань ДВЗ з метою отримання достатньої точності досліджень / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Вісн. Севастопольського нац. техн. ун-ту. Серія: Машинобудування та транспорт. - Севастополь, 2011.- Вип 121/2011. - С. 91-93.

6. Експериментальні дослідження теплових режимів гільзи циліндрів та охолодника ДВЗ / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас, О. Р. Клипко // Наукові нотатки. – Вісн. Луцького НТУ. - Луцьк, 2012. - Вип 36. - С. 73-77.
  7. Немый С. В. Влияние ремонтных изменений размеров цилиндров двигателей на их температурное состояние / С. В. Немый, О. Й. Коцюмбас // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – М., 2014. - Вып 1 (36). - С. 27-32.
  8. Вимірювальний комплекс для системного дослідження теплового стану середовища “гільза-охолодник” ДВЗ / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас, О. Р. Клипко // Наукові нотатки. – Вісн. Луцького НТУ. - Луцьк, 2014. - Вип 45. - С. 153-158.
  9. Гудз Г. С. Техніко-економічна доцільність ремонту автомобільних гільз циліндрів / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Наук. вісн. Нац. лісотехнічного ун-ту України. – Львів, 2008. – вип. 18.5.– С. 70–75.
- Опубліковані праці апробаційного характеру**
10. Глобчак М. В. До питання визначення впливу конструктивних параметрів елементів циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння на їх температурний режим / М. В. Глобчак, Я. П. Яворський, О. Й. Коцюмбас // LXIV наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2008. – С. 403-404.
  11. Гудз Г. С. Принципи побудови теплової моделі гільзи циліндра автомобільного двигуна / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // 9-ий міжнар. симп. укр. інж.-механіків у Львові: Тези доп.– Львів, 20-22 травня 2009.– С. 256-257.
  12. Глобчак М. В. Передумови до математичного моделювання температурних режимів відремонтованих гільз циліндрів / М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // LXV наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2009. – С. 388.
  13. Гудз Г. С. Визначення часу досягнення стаціонарного теплового режиму системи охолодження двигуна математичним моделюванням / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // LXVI наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2010. – С. 406.
  14. Гудз Г. С. Принципи системного підходу до дослідження теплового режиму автомобільного двигуна / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // LXVII наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2011. – С. 416.
  15. Глобчак М. В. Принципи зовнішньої параметричної ідентифікації граничних умов теплової моделі гільзи циліндрів ДВЗ / М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // 10-ий міжнар. симп. укр. інж.-механіків у Львові: Тези доп.– Львів, 20-22 травня 2011. – С. 305-307.
  16. Гудз Г. С. Розроблення вимірювального комплексу для дослідження температурного режиму спряження “гільза циліндрів–охолодник” ДВЗ / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // LXVIII наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2012. – С. 477.
  17. Глобчак М. В. Модуль вимірювання крутного моменту при випробуваннях ДВЗ / М. В. Глобчак, О. Р. Клипко, О. Й. Коцюмбас // 11-ий міжнар. симп. укр. інж.-механіків у Львові: Тези доп.– Львів, 2013. – С. 217.
  18. Немый С. В. Вплив ремонтних розмірів гільз циліндрів на температурний стан автомобільних двигунів / С. В. Немый, О. Й. Коцюмбас, А. О. Коляса // 11-ий міжнар. симп. укр. інж.-механіків у Львові: Тези доп.– Львів, 2013. – С. 215.

19. Експериментальна установка для дослідження температурного режиму ДВЗ / М. В. Глобчак, О. Р. Клипко, О. Й. Коцюмбас, А. О. Коляса // LXIX наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2013. – С. 503.
20. Глобчак М. В. Принципи перевірки адекватності теплової моделі «гільза – охолодник» ДВЗ / М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас, В. В. Малащенко // LXIX наук.-практ. конф. Нац. трансп. ун-ту. Тези доп. – К.: НТУ, 2013. – С. 504.

## АНОТАЦІЯ

Коцюмбас О. Й. Вплив зміни розмірів гільз циліндрів на їхній тепловий стан та характеристики двигуна і тягово-швидкісні властивості автомобіля. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2015.

Робота присвячена вирішенню науково-прикладної задачі — оцінюванню комплексного впливу вагомих чинників на температурну стабілізацію автомобільного двигуна та зміни розміру циліндра на тягово-швидкісні і паливно-економічні властивості автомобіля.

Розроблена методика моделювання тепловіддачі контактної середовища «гільза – охолодник» ДВЗ на сіткових моделях. Ідентифіковано умови тепловіддачі цього середовища розв'язуванням зворотної задачі теплопровідності за результатами стендових випробувань та комп'ютерного моделювання. Отримано температурні поля в контактному середовищі за різних поєднань розмірів гільзи та режимних чинників. З використанням методу математичного планування експерименту отримана регресійна залежність для розрахунку тривалості стабілізації температурного режиму ДВЗ. Досліджено вплив зміни діаметру гільзи циліндрів на енергетичні показники ДВЗ та тягово-швидкісні й паливно-ощадливі властивості автомобіля.

Ключові слова: температурний режим, гільза циліндрів двигуна, автомобіль, тепла модель, параметрична ідентифікація, тягово-швидкісні властивості, паливна ощадливість.

## АННОТАЦИЯ

Коцюмбас О. Й. Влияние изменения размеров гильз цилиндров на их тепловое состояние и характеристики двигателя и тягово-скоростные свойства автомобиля. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Национальный университет «Львовская политехника». – Львов, 2015.

Работа посвящена решению актуальной научно – прикладной задачи — оцениванию комплексного влияния весомых факторов на температурную стабилизацию автомобильного двигателя и изменения его размера цилиндров на тягово-скоростные и топливно – экономические свойства автомобиля.

С этой целью разработана сеточная модель контактной среды «гильза – охладитель» ДВС, базирующаяся на общей методологии моделирования задач

теплофизики программном комплексе «Фурье – 2 XYZ», который обладает высокой информационной производительностью. Адекватность тепловой модели проверена по результатам стендовых испытаний двигателя ЗМЗ – 511.10.

В работе решены следующие задачи: 1) анализ факторов, влияющих на рабочие процессы и надежность ДВС; 2) обзор методов тепловых расчетов и исследований ДВС; 3) разработка математической модели для исследования температурных полей в контактной среде «гильза цилиндров – охладитель»; 4) разрабатывание измерительного комплекса и проведение стендовых испытаний ДВС с целью проверки правильности математической модели задачи; 5) параметрическая внешняя идентификация граничных условий тепловых моделей «гильза – охладитель» решением обратной задачи теплопроводности компьютерным моделированием и сравнением ее результатов с итогами стендовых испытаний ДВС; 6) исследование действия влияющих факторов на температурный режим контактной среды «гильза – охладитель» ДВС с помощью планового математического эксперимента и получения регрессионных зависимостей для определения времени достижения квазиустановившегося теплового режима ДВС на основании системологического подхода; исследование влияния увеличения размеров цилиндров на изменение мощности, крутящего момента и расхода топлива ДВС и тягово – скоростные и топливно – экономические свойства автомобиля.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые создан метод моделирования процессов теплопередачи и теплообмена на сеточных моделях контактной среды «гильза – охладитель» ДВС; усовершенствован метод решения тепловых задач для гильз ДВС с измененными параметрами; разработан контрольно-измерительный комплекс на основе модульного принципа для стендовых испытаний ДВС; впервые исследовано комплексное влияние плотности теплового потока, коэффициента теплоотдачи и толщины гильзы цилиндра на температурный режим контактной среды «гильза – охладитель»; обнаружено влияние увеличения размеров цилиндров на изменение характеристик ДВС и тягово – скоростные и топливно – экономические свойства автомобиля.

В первом разделе рассмотрены вопросы эксплуатационной надежности автомобильных двигателей, которая в большой степени определяется сроком службы деталей цилиндра – поршневой группы (ЦПГ). Проанализированы современные взгляды на протекание процесса износа ЦПГ ДВС. Поскольку износ сопровождается повышением температуры поверхностей трения, то в работе рассмотрена взаимосвязь температурного состояния двигателя и его эксплуатационных свойств.

Второй раздел посвящен математическому описанию тепловых процессов в ДВС, которые состоят в непрерывном повторении термодинамического цикла, в результате которого температурное поле деталей изменяется по периодическому закону. Разработана математическая модель контактной среды «гильза – охладитель», базирующаяся на программном комплексе «Фурье – 2 XYZ», адаптированном с участием автора к решению поставленной задачи.

В третьем разделе описана испытательная установка, состоящая из стенда 1 DS 1036 kV (Чехия) и измерительного комплекса, разработанного автором совместно с НИИ «Система» (г. Львов) для регистрирования и записи необходимых параметров.

В четвертом разделе изложены принципы системологического подхода к исследованию температурных режимов контактной среды «гильза – охладитель» ДВС. На основании методов математического моделирования и планирования эксперимента получены регрессионные зависимости для определения времени стабилизации температурного режима контактной среды.

В пятом разделе рассмотрены последствия увеличения диаметра цилиндров ДВС, в т. ч. в результате ремонтных воздействий. В частности, это приводит к улучшению тяговых свойств автомобиля: возможности преодоления большего угла подъема либо увеличению ускорения от 4 до 8 % в зависимости от номера передачи; уменьшения времени и пути разгона с места соответственно на 5,3 и 6,0 %. Несмотря на улучшение тягово – скоростных свойств, топливная экономичность не ухудшилась, что оценено математическим моделированием движения автомобиля в магистральном ездовом цикле.

Рекомендации и технические решения, предложенные в работе, приняты и используются в практической деятельности филиала концерна «Техвоенсервис» ЛАРЗ (г. Львов).

Ключевые слова: температурный режим, гильза цилиндров двигателя, автомобиль, тепловая модель, параметрическая идентификация, тягово – скоростные свойства, топливная экономичность.

## SUMMARY

Kotsjumbas O. Y. Influence changes of sizes of shells of cylinders on their thermal state and descriptions of engine and hauling-speed properties of car. – Manuscript.

Dissertation fo the degree of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.22.02 – Automobiles and Tractors. – National University «Lviv Polytechnic», 2015.

The dissertation is devoted the decision of the scientific applied task — to the evaluation of complex influence of important factors on stabilizing of temperature of motor-car engine and change of size of cylinder on hauling speed and fuel economic properties of automobile.

Method of design of heat emission of contact environment «shell and cooler» of engine internal combustion (EIC) developed on net models. The terms of heat emission of this environment are identified the decision of reverse task of heat conductivity as a result of stand tests and computer design. The temperature fields in a contact environment are got by these methods at different combinations of sizes of shell and factors of the mode. Dependence of regression for timing stabilizing of temperature condition of EIC got with the use of method of planning of experiment. Influences of change of size of shell of cylinders on the power indexes of work of EIC and hauling – speed and fuel – economic properties of automobile are investigational.

Keywords: temperature condition, shell of cylinders of engine, vehicle, thermal model, self-reactance authentication, hauling – speed properties, fuel economy.

Підписано до друку 08.07.2015 р.  
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний.  
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 1,5. Обл.-видав. арк. 0,89.  
Тираж 100 прим. Зам. 153140.

Поліграфічний центр  
Видавництва Національного університету „Львівська політехніка”  
вул. Ф. Колесси, 4, 79013, Львів  
*Реєстраційне свідоцтво серії ДК № 4459 від 27.12.2012 р.*