

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ”
(НУ “ОМА”)

ШЕБАНОВ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 621.431.74.03

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
СИСТЕМ МАЩЕННЯ ЦИЛІНДРІВ**

05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія»
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
БОГАЧ Валентин Михайлович,
Національний університет «Одеська морська академія»,
завідувач кафедри технології матеріалів і судноремонту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ТИМОШЕВСЬКИЙ Борис Георгійович,
Національний університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова,
завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння;

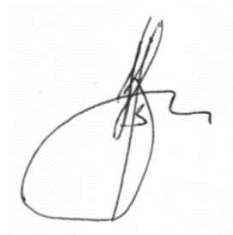
кандидат технічних наук, доцент
БІЛОУСОВ Євген Вікторович,
Херсонська державна морська академія,
декан факультету суднової енергетики.

Захист дисертації відбудеться 21 червня 2018 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029 м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корпус 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: 65029 м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корпус 2, та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 21 травня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



Нікольський В. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для забезпечення ходкості річкових та морських суден застосовують теплові двигуни, з яких більше 80% двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Основні втрати під час генерування і передачі механічної енергії в ДВЗ (до 30 %) пов'язані з тертям, вібрацією та тепловою енергією, що відводиться з випускними газами та охолоджуючою рідиною. Із них, значну частину складають витрати механічної енергії на забезпечення руху циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна.

Зі збільшенням вантажопідйомності та швидкості ходу суден, енергонасиченість, розміри, потужність ДВЗ та втрати механічної енергії пропорційно збільшуються. Для зменшення цих втрат необхідно забезпечити ефективну організацію управління процесом мащення деталей ЦПГ.

В сучасних ДВЗ має місце нерівномірність процесу подачі мастила до робочої поверхні циліндрової втулки, яка виникає з причин імпульсної подачі мастила при нагнітанні його лубрикатором.

Це призводить до завищеної кількості мастила на початку циклу мастилоподачі і недостатній його кількості в кінці цього циклу, що підвищує вірогідність завищених зносів деталей ЦПГ і раптових зупинок двигуна.

Таким чином, актуальним стає науково-прикладне завдання встановлення впливу параметрів роботи системи мащення на рівномірність розподілу мастила по робочій поверхні циліндрової втулки, що потребує вдосконалення існуючих технологій мащення ЦПГ суднового ДВЗ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота розвиває результати досліджень, виконаних автором у рамках загального плану НУ"ОМА" по удосконаленню процесів мащення циліндрів суднових дизелів і держбюджетних тем "Розвиток теорії й методів відновлення працездатності сполучень деталей засобів транспорту" (ДР № 0109U001537), і "Розвиток сучасної теорії й практики технічної експлуатації морського й річкового флоту: концепції, методи, технології" (ДР № 0114U000346), в яких автор виконав окремі розділи.

Мета дослідження – підвищення ефективності роботи лубрикаторної системи суднового ДВЗ шляхом забезпечення рівномірності подачі мастила до деталей ЦПГ.

Наукова гіпотеза дослідження полягає у тому, що забезпечення рівномірності подачі мастила на дзеркало циліндрової втулки можливо підтриманням постійного тиску в лубрикаторній системі шляхом зміни її об'єму та гідравлічного опору.

Для досягнення мети й підтвердження наукової гіпотези вирішувалися наступні завдання дослідження.

Головне завдання дослідження полягає в визначенні оптимальних характеристик процесу мащення циліндрів ДВЗ для забезпечення рівномірного розподілу мастила по поверхні його контакту з деталями ЦПГ, яке вирішується шляхом попереднього аналізу наступних допоміжних завдань:

- встановлення гідравлічних характеристик процесу мащення деталей ЦПГ суднових ДВЗ та визначення характеру руху робочої рідини в лубрикаторній системі;
- розробка математичної моделі процесу руху мастила для умов роботи лубрикаторної системи з постійним тиском мастила в ній і перемінним, пульсуючим тиском в порожнині циліндра ДВЗ;
- встановлення залежності рівномірності подачі мастила на дзеркало циліндра від конструктивних особливостей елементів лубрикаторної системи.

Для підтвердження результатів дослідження розроблена, створена й випробувана в експлуатаційних умовах удосконалена система мащення циліндрів суднових ДВЗ.

Об'єкт дослідження – процес мащення циліндрів судового ДВЗ.

Предметом дослідження є гідравлічні характеристики процесу руху робочої рідини в системах мащення циліндрів судового дизельного двигуна.

Методи дослідження містили в собі: системний підхід до розробки методики дослідження; методи планування багатфакторного експерименту й статистичної обробки експериментальних даних; фізичне й математичне моделювання процесів руху мастила в лубрикаторних системах; чисельні способи вирішення диференціальних рівнянь; імітаційне моделювання на персональному комп'ютері; методи оцінки адекватності фізичних та математичних моделей реальним процесам.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що оптимізація процесу мащення циліндрів судового двигуна, для створення умов рівномірного розподілу мастила по поверхні його контакту з деталями ЦПГ забезпечується підтриманням постійного тиску в лубрикаторній системі протягом усього циклу мастилоподачі шляхом зміни об'єму системи та заданням оптимального гідравлічного опору.

У результаті дослідження **вперше** встановлено, що:

- імпульсний (змінний) характер тиску в системі мащення обумовлює подачу більшої частини мастила в циліндри ДВЗ на перших 2-х обертах колінчастого вала двигуна, зі значною (1,3...2,2 м/с) швидкістю та з послідовними перервами в подачі протягом 3...5 обертів, це обумовлює значну нерівномірність подачі мастила, що призводить до нестабільності його плівки на дзеркалі циліндра;

- стабільність плівки мастила на поверхнях тертя деталей ЦПГ забезпечується постійним тиском в лубрикаторній системі, який створюється при наступних гідравлічних і геометричних характеристиках: однаковій жорсткості пружин клапана штуцера і акумулятора об'єму мастила, при зусиллях пружин рівних тиску продувального повітря ДВЗ; розміри каналу дроселя, які забезпечують оптимальний опір на виході із системи мащення, для розглянутих ДВЗ, знаходяться в інтервалі 1,5...2 мм;

- **удосконалено** математичну модель руху робочої рідини в умовах роботи лубрикаторної системи з постійним тиском мастила в ній;

- **отримали подальший розвиток** методи експериментальних досліджень лубрикаторних систем судових ДВЗ в експлуатаційних умовах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці удосконаленої, з оптимальними гідравлічними характеристиками, системи мащення циліндрів, що підвищує ефективність експлуатації судових ДВЗ.

Розроблений метод, алгоритм і програми розрахунку основних параметрів процесу мастилоподачі дозволяють визначати досконалість системи мащення, а також одержувати вихідні дані для проектування нових вузлів і систем.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в науково-дослідницьку роботу (Акт від 03.11.2017 р.), та в навчальний процес НУ"ОМА" (Акт від 07.11.2017 р.), а також на головних двигунах Wartsila 7RTA84T т/х "Bet Fighter" (Акт від 05.02.2012 р.), 6RTA52 т/х "Bay Ranger" (Акт від 14.11.2013 р.) і 6RTA52 т/х "Island Ranger" (Акт від 12.06.2014 р.). Економічний ефект від викорис-

тання розробок, в розрахунку на одне судно із двигуном RTA, складає 22...35 тис. USD на рік в залежності від потужності двигуна.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно: проведений інформаційний пошук, забезпечено методологічне обґрунтування, проведені експериментальні дослідження, виконано натурне та імітаційне моделювання, сформульовані висновки і впроваджені результати роботи у виробничий процес.

Роботи [8,14,17] підготовлені автором одноосібно. З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: [1,11] - розробка математичної моделі, [2,3,13] - планування і проведення експериментів, [4-6,16,18] - обробка й інтерпретація їхніх результатів, [7,9,10,12,15] - розробка методики і впровадження вдосконаленої конструкції системи мащення.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались на 8 науково-технічних конференціях: міжнародних наукових конференціях "Сучасні проблеми суднової енергетики 2006" (м. Одеса, 2006 р., 2007 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції "Суднові енергетичні установки й системи: експлуатація й ремонт" (м. Одеса, 2009 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Енергетика судна: експлуатація та ремонт" (м. Одеса 2010 р.); науково-технічній конференції "Суднові енергетичні установки: експлуатація й ремонт" (м. Одеса 2012 р.); науково-технічних конференціях "Енергетика судна: експлуатація та ремонт" (м. Одеса 2014 р., 2017 р., 2018 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 18 наукових роботах (з них 3 одноосібно), зокрема: у наукових профільних виданнях, що входять в перелік МОН України – 8 наукових статей; у закордонних наукових профільних виданнях – 2 наукові статті; у збірниках матеріалів наукових конференцій – 8 тез доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний об'єм роботи складає 217 сторінок, з них 182 сторінки основного тексту, 77 рисунків, 10 таблиць, бібліографія з 155 найменувань на 13 сторінках, 4 додатка на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** міститься обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими планами, темами, викладені мета і задачі досліджень. Описано методи досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, що виносяться на захист. Приведено дані про апробацію роботи і публікації по темі досліджень.

У **першому розділі** "*Аналіз робіт про сучасний стан ефективності експлуатації лубрикаторних систем*" здійснено огляд літературних джерел по дослідженню проблеми забезпечення ефективності процесу мащення деталей ЦПГ судових ДВЗ і вибрано напрямок дисертаційного дослідження. Визначено особливості сучасних лубрикаторних систем та виконано критичний аналіз методів розрахунку і моделювання процесів руху мастила в цих системах. Здійснено аналіз впливу ефективності експлуатації систем мащення циліндрів на техніко-економічні показники роботи судового двигуна.

Проведений аналіз по темі дисертаційної роботи показав, що при експлуатації суднових двигунів широко використовуються системи мащення з регулюванням подачею мастила в циліндри за допомогою компютера. В результаті досліджень попередніх авторів встановлено, що такі системи являють ефективними. Однак, як показала експлуатація, застосування нових систем не вичерпало всіх можливостей поліпшення розподілу й ефективності використання мастил. Як і раніше мають місце завишені зноси деталей ЦПГ, натирання на втулках, поломка поршневих кілець (ПК) і закоксовування вікон.

Тому підхід до модернізації існуючих конструкцій, проектуванню і розробці нових систем мащення для суднових двигунів, має ґрунтуватися, насамперед, на результатах всебічних теоретичних і експериментальних досліджень, а також на вивченні взаємозв'язку гідравлічних характеристик системи з механізмом і параметрами процесу подачі мастила, що визначають ефективність його використання, величину зносів деталей ЦПГ і основні техніко-економічні показники суднових дизельних двигунів. Такий висновок дав можливість обґрунтувати основні напрямки дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** *“Загальна методика дисертаційного дослідження ефективності лубрикаторних систем”* реалізовано вибір напрямку дослідження методом експертних оцінок можливих варіантів підвищення ефективності експлуатації суднових дизелів шляхом удосконалення систем і процесів мащення їх циліндрів по таких критеріях як: актуальність, наукова новизна, економічна ефективність, можливість використання в умовах судна та відповідність основним напрямкам наукової спеціальності.

Методами системного підходу розроблено технологічну карту дисертаційного дослідження, в якій визначені об'єкт та предмет дослідження, сформульовані робоча гіпотеза та головна задача дослідження. Для вирішення головної наукової задачі сформульовані три складові задачі.

Враховуючи, що безпека судноплавства прямо залежить від безаварійної роботи головного двигуна, який в свою чергу пов'язаний з роботоздатністю окремих його елементів та опираючись на існуючі дослідження була встановлена необхідність пошуку нових шляхів підвищення ефективності суднових ДВЗ шляхом поліпшення процесів мащення їх циліндрів визначене як **запит практики**.

Для проведення експериментальних досліджень розроблена методика, яка забезпечила коректність вирішення завдання проведення експериментальних досліджень роботи лубрикаторної системи при експлуатації суднових двигунів.

Встановлено, що подачі мастила в циліндри двигуна відбувається переважно в ті періоди, коли біля мастильних отворів переміщуються компресійні кільця, організовуючи імпульсне падіння (на стиску) і наростання (при розширенні) тиску газів, що діють на канали зі сторони циліндра. Неприступність до вивчення процесів подачі мастила в циліндр на двигуні, а також різноманіття їх конструкцій і умов роботи вимагає спеціальних засобів, що дозволяють задавати умови досліджень систем мащення, близькі до реальних. Виходячи з викладеного, для експериментальних досліджень вибрано стенд, що має широкі функціональні можливості по дослідженню системи мащення, який було адаптовано до умов роботи цих систем при експлуатації ДВЗ.

Випробування лубрикаторної системи мащення здійснювались безпосередньо на двигуні за допомогою спеціального пристрою (рис.1). Між штуцером 1 і циліндром 2 двигуна встановлена камера 3 із прозорими вікнами, що дозволяє вести візуальні спостереження за процесом подачі мастила. Для забезпечення в камері такого ж тиску, який виникає в мастильних каналах 4 стінки втулки циліндра, внутрішній обсяг її обраний з умови $V_k = V_c / n$ і з'єднано із циліндром газовідводом 5, вхід у який зсередини циліндра розташований на одному рівні з мастильними отворами. Тут V_k - обсяг камери; V_c - сумарний обсяг просторів між компресійними кільцями; n - число мастильних отворів, розташованих на одному рівні з газовідводом 5. Для відключення камери передбачено клапан 6.

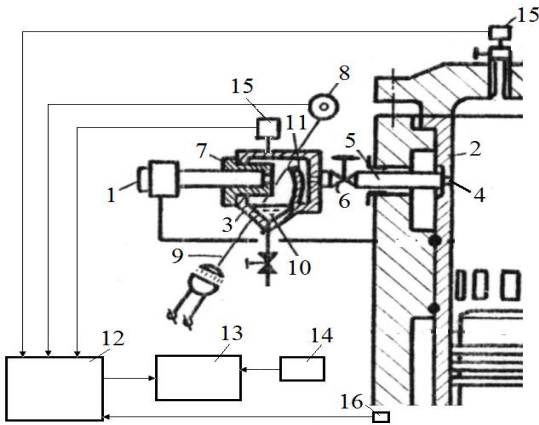


Рис.1. Схема експериментальної установки для дослідження роботи системи мащення в експлуатаційних умовах

Для візуального спостереження за скороминучими процесами мастилоподачі, у загальну схему стенда включена швидкісна кінокамера. Реєстрація сигналів від різних датчиків (переміщення, тиску, часу, оцінок мертвих точок, витрати мастила й ін.), на стенді здійснюється комплектом апаратури, що включає в себе підсилювач 13 із блоком живлення, магазин опорів, шлейфовий осцилограф 12, лічильник числа обертів і ін., усе те, що необхідно відповідно до завдань досліджень.

Для більшого наближення до розкриття сутності процесів, що відбуваються всередині каналів, ділянка каналу, що прилягає безпосередньо до дзеркала циліндра виконується прозорою (рис.2) і розміщується у камері стенда так, що рух мастила в прозорій ділянці й за його межами становить єдину ланку процесу, що знімається кінокамерою. Вікна камери і прозорі ділянки нагнітального тракту дозволяють вести візуальні спостереження за процесами, що відбуваються усередині каналу й визначати характеристики руху мастила.

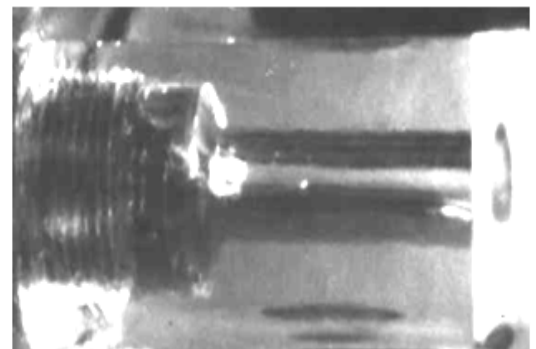


Рис.2. Прозора модель мастильного каналу

У камеру встановлюється штуцер 1 аналогічний штатному, на який кріпиться прозора модель мастильного каналу з необхідною геометрією. Мастило за допомогою трубопроводів і вентилів направляється в штуцер двигуна для забезпечення роботи каналу мащення, або в штуцер камери. При експериментальних дослідженнях розроблялись і використовувались датчики для реєстрації: тиску газів біля мастильних каналів – $P_Г$; ходу плунжера лубрикатора – $X_П$; ходу клапана штуцера – $X_{КЛ}$; відмітки верхньої мертвої точки - ВМТ; реєстрації часу - T ; момента виходу мастила з каналу – $M_В$ та ін.

Оцінка похибки експериментів виконано з використанням електронних таблиць MS EXCEL. Приклад визначення тиску газів у камері експериментальної установки $P_{Г1}$, $P_{Г2}$ (до й після експерименту відповідно) приведено на рис.3. Як показали результати розрахунків у експериментах відносна похибка не перевищувала 11 %.

	A	B	C	D	E	F
10	0,009866667	0,01306667	- СУММА КВАДРАТОВ			
11	0,04055038	0,04666548	- СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ			
12			4,302653	- КОЭФФИЦИЕНТ СТЬЮДЕНТА		
13	0,174474204	0,20078534	- Дсл			
14	d=	0,01				
15	α=	0,95				
16			0,0095	Доу	ПОГРЕШНОСТЬ ОДНОКРАТН-	
17	$\Delta P_{Г1}$	$\Delta P_{Г2}$				
18	0,174732647	0,20100996	- ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ			
19	9,180349219	10,6542379	- ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (В %)			

Рис.3. Розрахунок погрішності серії багаторазових вимірів в MS Excel

чення необхідних властивостей масляної плівки між поверхнями, що змазуються.

У третьому розділі “Експериментальні дослідження процесу подачі мастила в циліндри судових довгоходових дизелів” виконано дослідження роботи лубрикаторних систем в експлуатаційних умовах для встановлення гідравлічних характеристик процесу мащення деталей ЦПГ судових ДВЗ та визначення характеру руху робочої рідини в системі (вирішення **першого допоміжного завдання**). Дослідженню

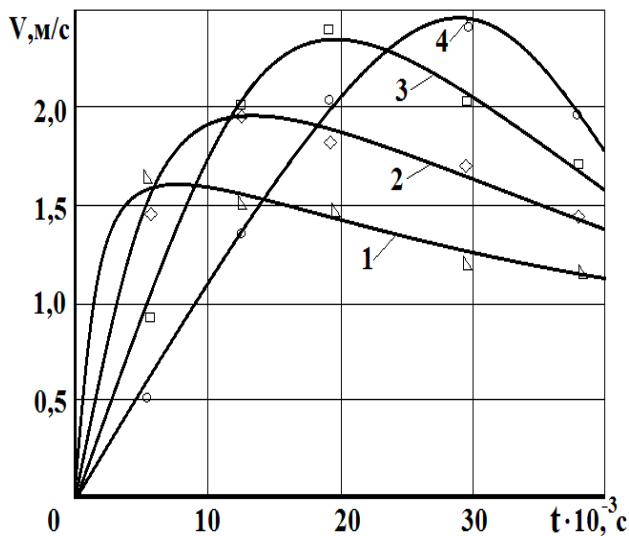


Рис.4. Швидкості подачі мастила на різних режимах роботи двигуна: 1 - $n=104$ хв⁻¹; 2 - $n=120$ хв⁻¹; 3 - $n=138$ хв⁻¹; 4 - $n=175$ хв⁻¹;

каналі, процес подачі мастила при зниженні тиску в циліндрі ДВЗ завжди супроводжується витіканням мастила (з так званим “викидом”) за межі каналу зі значною швидкістю (рис.4) і з траєкторією, що досягає декількох десятків міліметрів (рис.5), що й обумовлює його попадання на поверхні поршня з високими температурами, де мастило відкладається у вигляді нагару. Накопичення нагару на бічній поверхні поршня напроти каналів мащення супроводжується, як правило, наступним заповненням зазору між голівкою і дзеркалом, це приводить до руйнування масляної плівки

Використання розробленої методики експериментальних досліджень дало можливість вивчити механізм формування процесу подачі мастила в циліндрі ДВЗ і визначати основні характеристики цього процесу (дійсний момент і швидкість витікання, шляхи руху мастила по каналах і за їх межами, явище “викиду”, при якому відбувається відрив частини мастила від дзеркала циліндра і ін.). Від цих характеристик залежить на які поверхні ЦПГ здійснюється подача мастила, що у свою чергу визначає теплові умови її роботи і втрати мастила, ефективність використання та забезпе-

підлягали 4 види існуючих систем мащення циліндрів ДВЗ стосовно до двигунів РТА із частотою обертання колінчастого вала 60...200 хв⁻¹. Величина імпульсу тиску при стисканні змінювалась в межах 0,8...1,5 МПа, а на розширенні - 2,5...3,0 МПа. Хід плунжера лубрикатора мав значення 3...10 мм. Вплив температури мастила в лубрикаторі вивчався для діапазону 20...40°C, а в штуцері - 60...120°C. В результаті експериментів були визначені основні особливості та характеристики процесу подачі мастила в циліндри досліджуваних двигунів.

При цьому встановлено, що в системах мащення, в яких гази проникають в

та підвищеним зносам втулки у вигляді вертикальних канавок, що проходять через точки мащення (рис.6).

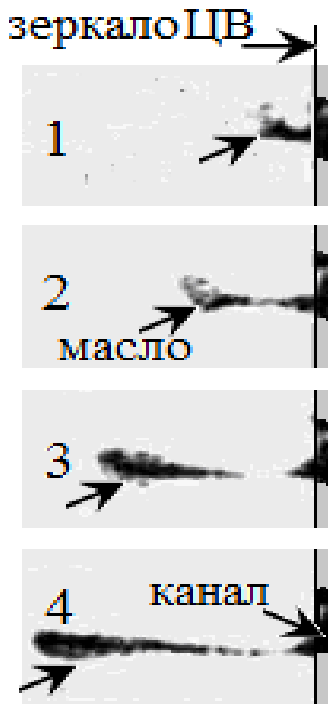


Рис.5. Кінокадри подачі мастила з "викидом" в порожнину циліндра

Локалізація натирань на нижній частині дзеркала циліндра над вікнами і нижній частині тронка є ознаками, що вказують на недолік мастила на цих поверхнях. Імовірно тому, останнім часом, на двигунах РТА застосовують два ряди для підведення мастила до деталей ЦПГ.

Осцилографування роботи лубрикаторних систем (рис.7) показує, що момент виходу мастила в циліндр не має прямого зв'язку з нагнітальним ходом плунжера і відкриттям зворотного клапана. Подача мастила (лінія Мв) у циліндр двигуна відбувається як при нерухомому плунжері (лінія Хп), так і при закритому клапані (лінія Хк). Це є доказом того, що процесом подачі мастила в циліндр керує не лубрикатор, а сукупність умов взаємодії газів з мастилом.

Більше того, існують періоди, коли робочий хід плунжера і відкриття клапана не приводять до виходу мастила з каналу. Мастило, подане в ці періоди, йде на поповнення спустошеного каналу, і поява його на дзеркалі циліндра відбувається лише через деякий час, що залежить від величини спустошеності каналу. Встановлено, що "викид" відбувається як при стисканні, так і при розширенні в циліндрі. В першому випадку він приходить на тронк, коли нижнє компресійне кільце знаходиться вище лінії розташування мастильних отворів.

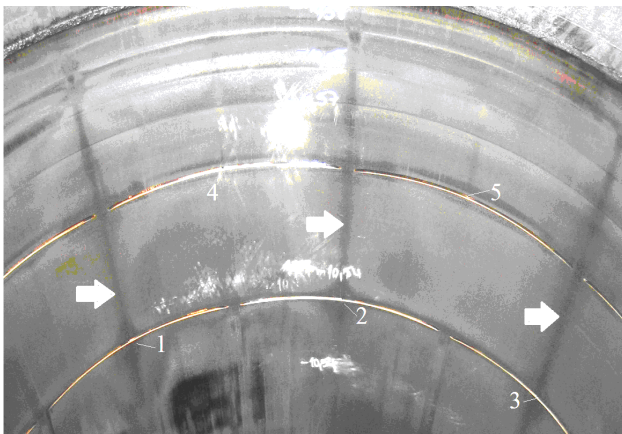


Рис.6. Сліди натирань на дзеркалі циліндра навпроти точок підведення мастила

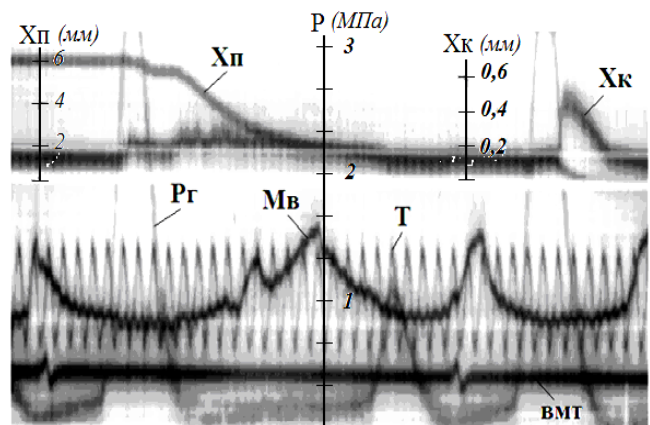


Рис.7. Осцилограма циклу мастилоподачі

Маючи на увазі участь поверхні тронка в розподілі мастила по дзеркалу, можна вважати, що розглянута фаза викиду несе із собою ту кількість мастила, яка використовується по призначенню. Однак, частина мастила цієї фази, безсумнівно, потрапить у вікна, ресивер продувного повітря і може бути однією з причин, що призводять до виникнення там пожежі.

Інша, основна і сама марнотратна фаза "викиду" відбувається після другого, більшого імпульсу тиску газів (на розширенні), коли днище голівки поршня знаходиться нижче мастильних каналів на $55...60^\circ$ п.к.в.

Наступний тип систем, це системи в яких застосовуються електронні модулі "Puls" (рис.8) замість традиційних лубрикаторів. В основу цієї системи взято принцип впорскування певного об'єму мастила в циліндр, шляхом керування рухом плунжера мастильного модуля. На відміну від механічного приводу лубрикатора, гідравлічний привід розглянутої системи забезпечує плавне переміщення плунжера протягом деякого короткого часу, на завершальному циклі мастилоподачі, плунжер робить хід усмоктування.



Рис.8. Модифікації електронних модулів "Puls"

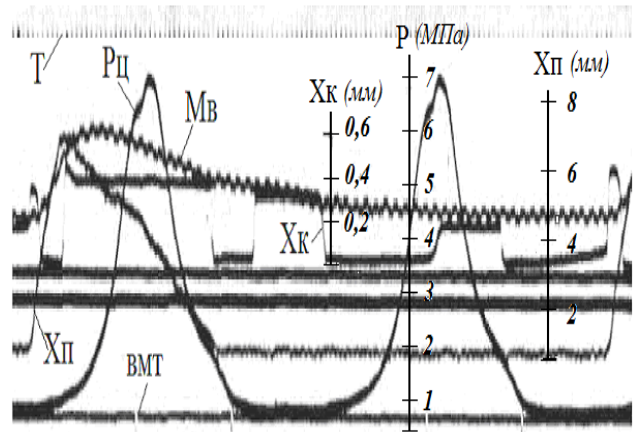


Рис.9. Осцилограма процесу мастилоподачі

Вихід мастила в циліндр (як показує осцилографування, рис.9) здійснюється в діапазоні 85...310 град.п.к.в.. При цьому 25-30% мастила надходить у циліндр, коли поршень перебуває вище мастильних отворів і до 70% - при положенні поршня нижче отворів підведення мастила.

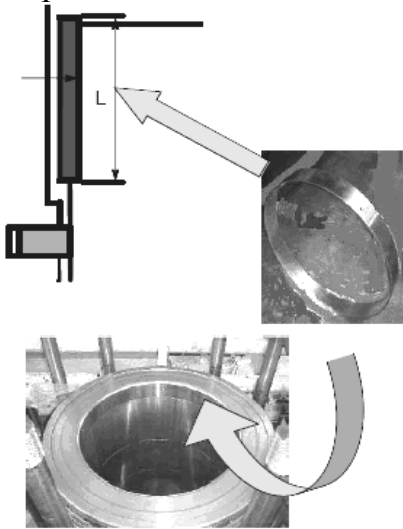


Рис.10. «Протиполіровочне» кільце двигунів RTA

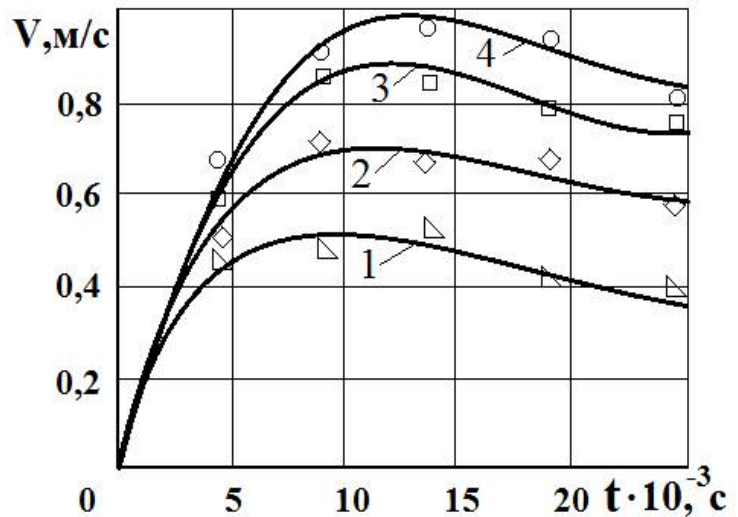


Рис.11. Швидкості витікання мастила через нижній пояс каналів

Результати розкриття циліндрів, показують, що виключити зустріч мастила з поршнем не вдається. Як і на двигунах обладнаних лубрикаторною системою є доріжки нагару на бічній поверхні поршня напроти точок підведення мастила. Це вказує на вихід його концентрованими порціями, які торкаються бічної поверхні головки поршня над першим компресійним кільцем і погіршують розподіл його по окружності циліндра. Підтвердженням цьому є й те, що на цих двигунах встановлюється у верхній частині втулки спеціальне кільце (рис.10) призначене для зняття нагару, що утворюється на поршні.

Нагар, який знімається в такий спосіб, безсумнівно попадає на поверхні тертя, що у свою чергу збільшує їх зноси. Дослідження верхнього пояса системи показали, що робота цієї конструкції супроводжується значним “викидом” (до 50%) мастила протягом 2...3 обертів колінчатого вала, між робочими ходами плунжера лубрикатора. При цьому швидкість витікання мастила в циліндр досягає 2 м/с.

Величина “викиду” досягає всього лише 10...15%, що обумовлене раціональною геометрією каналу у втулці. У результаті досліджень установлене, що швидкість витікання мастила, при розглянутій конструкції нагнітального тракту системи, змінюється в межах від 0,5 до 1,0 м/с (рис.11). При цьому траєкторія польоту мастила за межі каналу, досягає 15...20 мм і більше.

Обробка осцилограм (рис.12), що включають запис дійсного моменту виходу мастила в циліндр (лінія Мв), показала, що витікання за межі зрізу каналу відбувається у два періоди. Перший з них лежить у проміжку між 320^0 і 45^0 п.к.в., а другий - між 70^0 і 290^0 п.к.в.. При цьому, у першому періоді подача мастила становить 15...20% і здійснюється в основному під кільця, а в другому, з урахуванням величини “викиду” (10...15%), кількість мастила досягає 85...90%. Ця порція надходить в циліндр при русі поршневих кілець нижче отворів. Результати випробувань електронної системи мащення показують, що вона має ряд недоліків, характерних для звичайних лубрикаторних систем, які знижують ефективність її роботи й вимагають подальшого вдосконалювання системи з метою поліпшення основних характеристик процесу мастилоподачі.

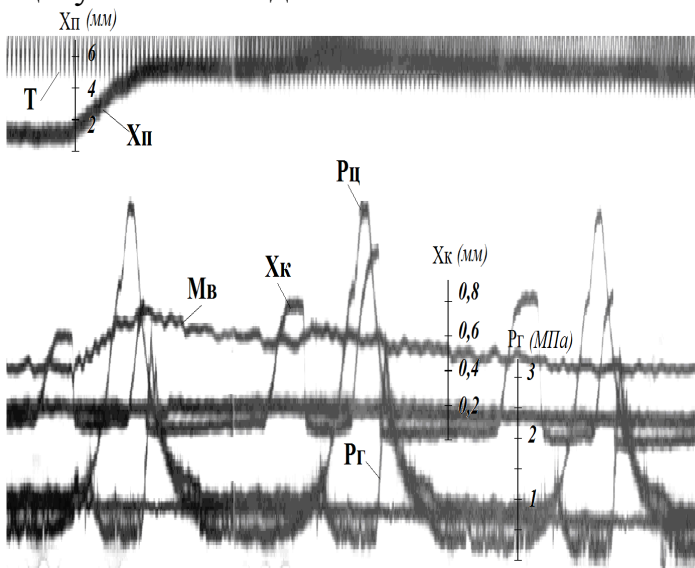


Рис.12. Осцилограма мастилоподачі через нижній пояс каналів

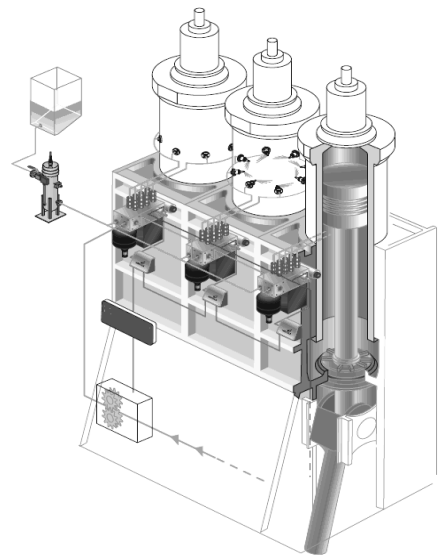


Рис.13. Однорядна система мащення з лубрикаторами "Puls"

Виконані експериментальні дослідження 2-х рядних системи мащення дозволили встановити їх основні недоліки, до яких відносяться: значна (до 50%) нерівномірність витрати мастила протягом циклу мастилоподачі на основних режимах роботи двигуна та струминне (з “викидом”) витікання мастила при зниженні тиску в циліндрі двигуна.

Здійснюючи переобладнання існуючих двигунів під нову систему з лубрикаторами "Puls" фірма Wartsila-Zylser підключає її до одного з двох наявних поясів мащення (рис.13). У таких двигунах подача мастила в канал втулки здійснюється через бічні отвори, розташовані в безпосередній близькості від торця штуцера зверне-

ного до дзеркала. Дослідження системи мащення таких циліндрів довгоходових двигунів проведені в умовах експлуатації. Випробування, що включають візуальні спостереження за процесом мастилоподачі, показали, що канал у стінці втулки, розташований між торцем штуцера й вихідним отвором на дзеркалі, заповнюється маслом лише частково й на короткий час.

Рівень мастила в каналі, виглядає як клин (рис.14) з основою у торця штуцера й вершиною у вихідного зрізу каналу перед дзеркалом. При збереженні клинової форми, загальний рівень мастила в каналі до кінця циклу мастилоподачі помітно зменшується.



Рис. 14. Характер руху мастила на виході з каналу

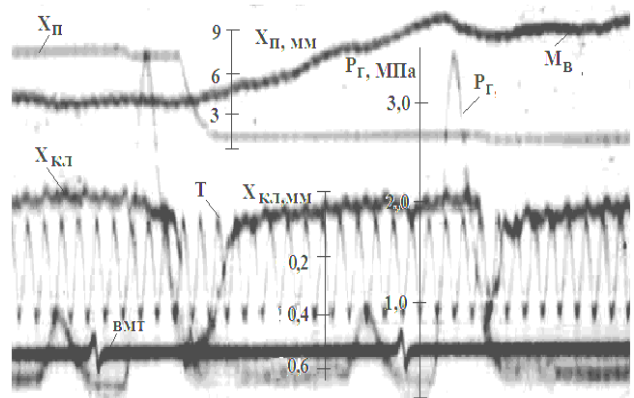


Рис.15. Осцилограма процесу мастилоподачі

Осцилографуванням процесу (рис.15) встановлено, що поповнення каналу штуцера (лінія $X_{кл}$) здійснюється за 1...2 оберти, а вихід мастила на дзеркало відбувається на протязі 2...3 обертів з наступною перервою в подачі на 4...6 обертах колінчастого вала. Однак моменти виходу мастила (лінія M_v) і відкриття зворотного клапана ($X_{кл}$) суттєво різні. Як видно з осцилограми, між відкриттям клапана й виходом мастила на дзеркало є проміжок, який становить 20...30° п.к.в. Величина цього запізнювання являє собою той час, який необхідно для поновлення руху мастила по каналу у втулці, спустошеному в проміжках між його поповненням. Сумарний час протягом якого клапан відкритий в 3...5 раз менше часу витікання мастила на дзеркало, що вказує на неможливість чіткого керування подачею мастила шляхом впливу на лубрикатор.

В результаті проведених досліджень сформульовано загальний висновок, що імпульсний (змінний) характер тиску в системі мащення обумовлює подачу більшої частини мастила в циліндри ДВЗ на перших 2-х обертах колінчастого вала двигуна, зі значною (1,3...2,2 м/с) швидкістю та з послідовними перервами в подачі протягом 3...5 обертів, це обумовлює значну нерівномірність подачі мастила, що призводить до нестабільності його плівки на дзеркалі циліндра.

У четвертому розділі “Удосконалення теоретичних методів розрахунку гідродинаміки витікання мастила в циліндри судових дизелів” представлені теоретичні дослідження гідродинаміки руху мастила в системі мащення, засновані на рішенні рівнянь несталої ізотермічного руху в'язкої рідини з обліком початкових і граничних умов у вузлах системи мащення: $V(r, 0) = 0$; $V(a, t) = 0$, а також рівнянні нестисливої рідини в циліндричній системі координат (r, φ, z) , для вирішення другого допоміжного завдання.

Виходячи з даних досліджень, на цих ділянках має місце ламінарний рух однофазної рідини, в'язкість якої не залежить від напружень і часу. З осцилограмм процесу мастилоподачі визначаємо перепад тиску, під дією якого відбувається рух мастила по каналу, який можна описати рівнянням:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\Delta P(t)}{\rho l}$$

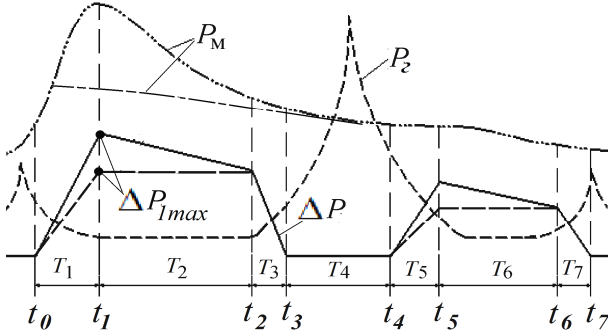


Рис.16. Характер зміни $\Delta P(t)$ протягом одного обертку к.ш.м. ДВЗ

де ρ - щільність мастила, ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості, l - довжина нагнітального трубопроводу; $\Delta P(t) = P_{вх} - P_{кл} - P_{вх}$ - перепад тиску на одиницю довжини каналу. $P_{вх}$ - тиск мастила на виході із системи, $P_{вх}$ - тиск мастила на вході, $P_{кл}$ втрати тиску на клапані штуцера. Величина $\Delta P(t)$ відмінна від нуля на шести ділянках: $t_0-t_1, t_1-t_2, \dots, t_6-t_7$, довжину яких позначимо через $T_1, \dots, T_7$ відповідно (рис.16).

Зміна $\Delta P(t)$, а отже, і $\partial P / \partial z$ із часом на ділянках T_1, T_3, T_5, T_7 може бути представлено лінійним законом з відповідним коефіцієнтом пропорційності, а на ділянках T_2 і T_6 - відповідними постійними коефіцієнтами.

При постановці відповідного початково-крайового завдання для визначення швидкості руху мастила в каналах системи мащення на першій ділянці $(0, t_1)$ необхідно враховувати лінійний закон зміни перепаду тиску і те, що $\Delta P_1(t)$ змінюється від нуля до ΔP_{1max} , тобто можна записати вираз для ΔP_{1max} наступним чином:

$$\Delta P_{1max} = B_1^0 t_1 = -B_1^0 T_1.$$

Звідси $B_1^0 = -\Delta P_{1max} / T_1$ - абсолютний коефіцієнт пропорційності перепаду тиску по t . Отже зміну $\partial P_1 / \partial z$ запишемо у вигляді $\partial P / \partial z = B_1 T$, де $B_1 = B_1^0 / l$ - відносний коефіцієнт пропорційності перепаду тиску з часом на одиницю довжини мастильного каналу. Остаточно зазначену залежність можна представити так:

$$\frac{\partial P_1}{\partial z} = -\frac{\Delta P_{1max} t}{T_1 l}.$$

Таким чином, початково-гранична умова для визначення $V_1(r, t)$ запишеться в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{\partial V_1}{\partial t} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_1}{\partial r} \right) + \frac{\Delta P_{1max} t}{T_1 l \rho}; \\ V_1(r, 0) = 0; \quad V_1(a, t) = 0. \end{cases}$$

Застосовуючи до завдання необхідні перетворення (пряме та зворотнє перетворення Лапласа-Карсона за часом, використовуючи теорему Коші про відрахування та ін.) отримаємо вираз для $V_1(r, t)$:

$$V_1(r, t) = \frac{B_1}{\mu \nu} [RK_1 - A\beta_k(t_1)],$$

де $\mu = \nu\rho$ - динамічний коефіцієнт в'язкості мастила, а $R, K_1, A, \beta_k(t_1)$ - перемінні рівні відповідно:

$$R = (r^2 - a^2); \quad K_1 = \frac{r^2 - 3a^2 + 16\nu t_1}{64}; \quad A = 2a^4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\alpha_k \frac{r}{a}\right)}{\alpha_k^5 J_1(\alpha_k)}; \quad \beta_k(t_1) = e^{-\frac{\nu \alpha_k^2}{a^2} t_1}$$

Щоб визначити вираз для швидкості руху мастила на другій характерній ділянці (t_1, t_2) , тривалість якої $T_2 = t_2 - t_1$, записуємо відповідне початково-граничне завдання для $V_2(r, t)$, початковою умовою якої є $V_2(r, 0) = V_1(r, T_1)$, тому що мастило на початку другої тимчасової ділянки придбало швидкість $V_1(r, T_1)$. Аналогічно визначаємось зі швидкостями на ділянках T_3, T_5, T_6, T_7 . Використовуючи ті ж перетворення, що і в першому випадку, в кінцевому рахунку отримуємо всі розрахункові значення для швидкостей $V_2(r, t) \dots V_7(r, t)$.

Для визначення витрат мастила F протягом одного циклу мастилоподачі перемножимо вираз швидкості у всіх проміжках часу на $2\pi r dr dt$ і інтегруємо по r у межах від 0 до a , а по t відповідно в проміжках $(0, T_1), (0, T_2), (0, T_3), (0, T_5), (0, T_6), (0, T_7)$. Для F справедливий й наступний вираз

$$F = M_1 \left[\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_3}{T_3} \right] + N_1 [T_2 + T_3] + M_5 \left[\frac{Q_5}{T_5} - \frac{Q_7}{T_7} \right] + N_5 [T_6 + T_7],$$

$$\text{де } M_i = \frac{N_i}{4\nu}; \quad N_i = \frac{\pi a^4 \Delta P_{i\max}}{8\mu l} = -\frac{\pi a^4 B_i T_i}{8\mu}, \quad (i = 1, 5).$$

$$Q_i = \left[\frac{2}{3} a^2 T_i - 2\nu T_i^2 - \frac{128}{\nu} a^4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \beta_k(T_i)}{\alpha_k^2} \right], \quad (i = 1, 3, 5, 7); \quad \beta_k(T_i) = e^{-\frac{\nu \alpha_k^2}{a^2} T_i}.$$

Таким чином, у результаті теоретичних досліджень гідродинаміки процесу витікання мастила в циліндри ДВЗ через мастильний канал при постійному тиску отримані рівняння, що встановлюють взаємозв'язок основних параметрів процесу мастилоподачі з гідравлічними характеристиками каналу й експлуатаційними показниками роботи двигуна. Запропонована методика точніше існуючих, тому що враховуючи малі тривалості першого й третього тимчасових ділянок першої фази й відповідних ділянок другої фази, удалося відмовитися від осереднення швидкості по перетину мастильного каналу.

Розв'язок даного завдання представлено у вигляді алгоритму розрахунків і програми. З метою додання цьому алгоритму універсальності всі відповідні рівняння необхідно записати щодо безрозмірних величин. Вибір вихідних даних для виконання розрахунків по отриманих рівняннях здійснюється на підставі аналізу конструктивних характеристик систем мащення, експлуатаційних параметрів роботи дизеля, а також осцилограмм процесу мастилоподачі. Ступінь досконалості систем і процесів мащення визначається на підставі порівняння величин витрат з оптимальними їхніми значеннями.

Реалізація розробленого методу й оцінка його погрішності виконані на прикладі розрахунків по визначенню зв'язку перепаду тиску, під дією якого відбувається подача мастила на дзеркало циліндра, і характеристик системи з витратою мастила на

кожній характерній ділянці процесу, стосовно до двигунів РТА з верхнім розташуванням мастильних отворів. Значний вплив цих параметрів на рівномірність і регулярність подачі мастила в циліндр двигуна (рис.17,18) вказує на один зі шляхів ефективної організації процесу мащення деталей ЦПГ.

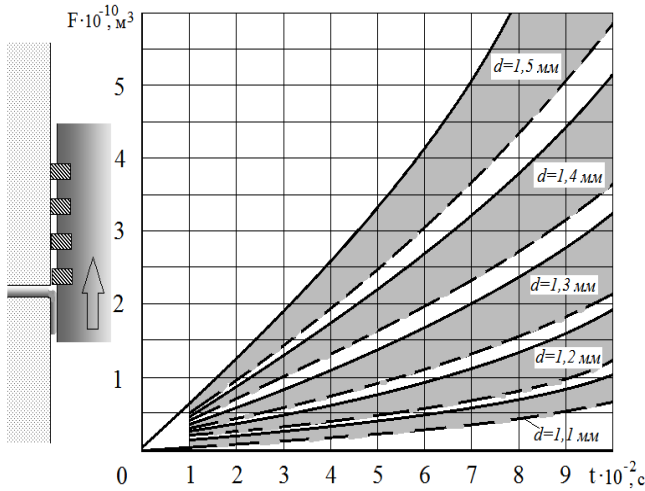


Рис.17. Розрахункові значення витрати мастила при стиску в циліндрі:
- $\Delta P = 5 \cdot 10^{-2}$ МПа; -- $\Delta P = 1 \cdot 10^{-2}$ МПа.

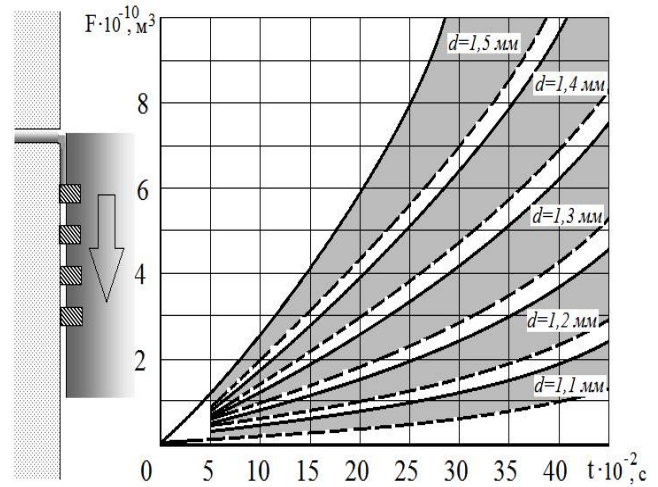


Рис.18. Розрахункові значення витрати мастила при розширенні в циліндрі:
- $\Delta P = 5 \cdot 10^{-2}$ МПа; -- $\Delta P = 1 \cdot 10^{-2}$ МПа.

Оцінка погрішності розробленого методу виконана на підставі порівняння розрахункових і експериментальних даних визначення витрати мастила по фазах циклу мастилоподачі в циліндри двигунів РТА. Порівняння експериментальних даних з розрахунковими (рис.19,20) показало, що погрішність методу не перевищує 12%.

Таким чином, запропонований метод розрахунків основних параметрів подачі мастила в циліндр суднового дизеля при постійному тиску дозволяє без проведення експерименту з достатньою точністю оцінювати ефективність організації процесу мащення, а також визначати оптимальну комбінацію факторів, що забезпечують рівномірну подачу мастила на дзеркало ЦВ в фазах циклу мастилоподачі.

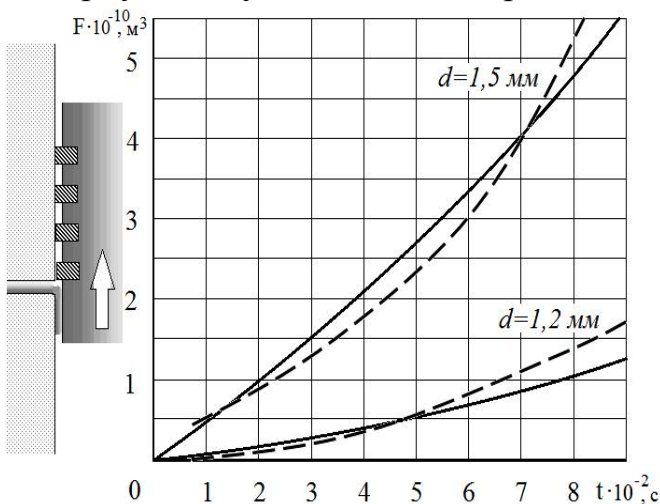


Рис.19. Розрахункові й експериментальні значення витрати мастила при стиску в циліндрі
($\Delta P = 2 \cdot 10^{-2}$ МПа):
- розрахункові криві; -- експериментальні криві.

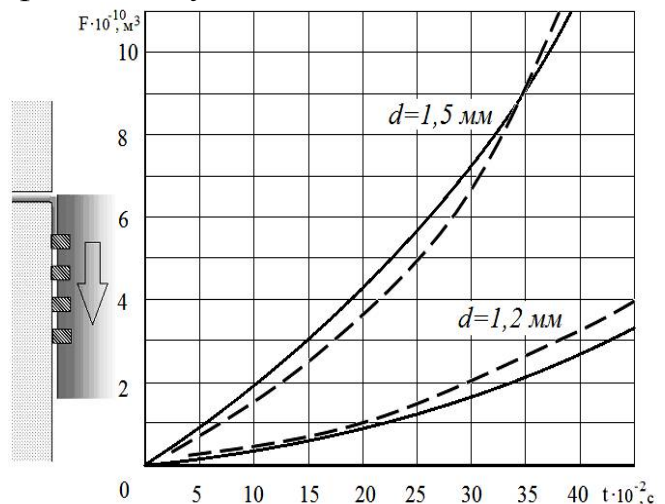


Рис.20. Розрахункові й експериментальні значення витрати мастила при розширенні в циліндрі
($\Delta P = 2 \cdot 10^{-2}$ МПа):
- розрахункові криві; -- експериментальні криві.

У п'ятому розділі “Підвищення ефективності використання сучасних лубрикаторних систем в експлуатаційних умовах” приведені результати синтезу модернізованих мастильних пристроїв і експлуатаційної перевірки їхньої ефективності. Розроб-

ка вдосконалень лубрикаторних систем проводилася з врахуванням результатів виконаних досліджень, аналізу патентних матеріалів, а також даних стендових і експлуатаційних випробовувань.

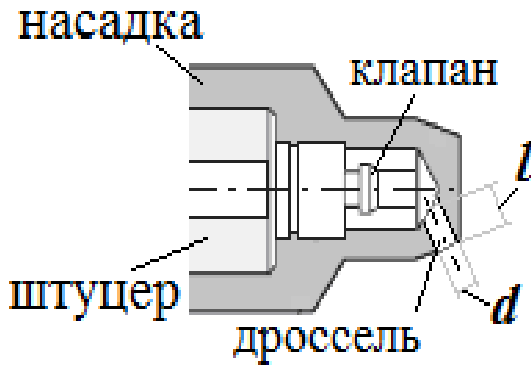


Рис.21. Геометрія мастильного каналу штуцера

Експериментальні дослідження конструкцій нагнітального тракту систем мащення циліндрів довгоходових ДВЗ, дозволили визначити характеристики його елементів, що впливають на формування процесу мастилоподачі в циліндр. До них у першу чергу відносяться гідравлічні та геометричні характеристики мастильного каналу штуцера (рис.21).

Таблиця 1

Рівні факторів і інтервали варіювання

№ п/п	Фактори	Рівні			Інтервали варіювання
		нижній	основний	верхній	
1	Довжина каналу дроселя - l (X_1)	2	3	4	1
2	Жорсткість пружини акумулятора - $g_{ак}$ (X_2)	4	5	6	1
3	Жорсткість пружини клапана - $g_{кл}$ (X_3)	1	2	3	1
4	Діаметр каналу дроселя - d (X_4)	1	1,5	2	0,5

Для вирішення **третього допоміжного завдання** та визначенню шляхів удосконалення систем мащення, необхідно знайти оптимальну комбінацію таких геометричних параметрів, які забезпечать ефективну роботу системи мащення.

Таблиця 2

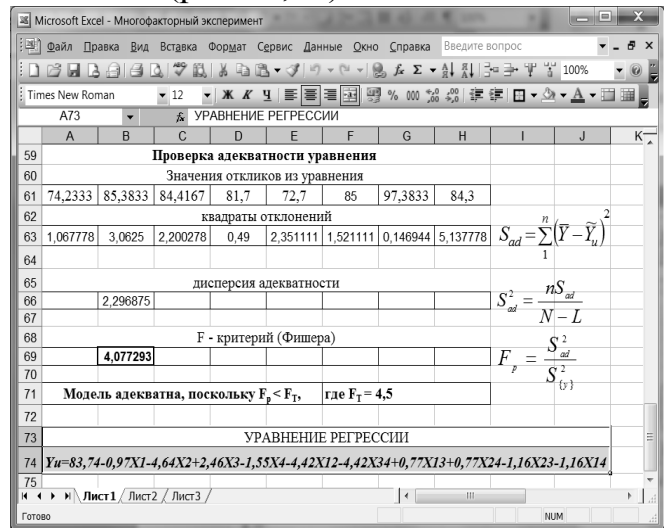
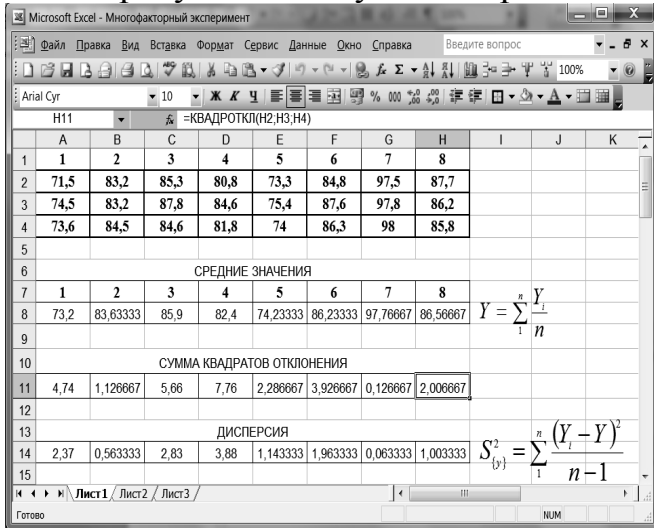
Матриця планування й результати експериментів

№ досвіду	Рандомізація	Кодові позначення змінних і їх значення												Результати спостережень			
		X ₀	X ₁ <i>l</i>		X ₂ <i>g_{ак}</i>		X ₃ <i>g_{кл}</i>		X ₄ <i>d</i>		X ₁ X ₂ =X ₃ X ₄		X ₁ X ₃ =X ₂ X ₄		X ₂ X ₃ =X ₁ X ₄		B ₁
1	9,14,10	+	+	4	+	6	-	1	-	1	+	-	-	71,5	74,5	73,6	
2	18,8,12	+	-	2	-	4	-	1	-	1	+	+	+	83,2	83,2	84,5	
3	11,17,2	+	+	4	-	4	-	1	+	2	-	-	+	85,3	87,8	84,6	
4	15,23,1	+	-	2	+	6	-	1	+	2	-	+	-	80,8	84,6	81,8	
5	5,22,3	+	+	4	+	6	+	3	+	2	+	+	+	73,3	75,4	74	
6	21,4,24	+	-	2	-	4	+	3	+	2	+	-	-	84,8	87,6	86,3	
7	20,7,13	+	+	4	-	4	+	3	-	1	-	+	-	97,9	97,8	98	
8	6,16,19	+	-	2	+	6	+	3	-	1	-	-	+	87,7	86,2	85,8	

Це завдання вирішувалося методом багатфакторного експерименту. При цьому в якості оціночного показника досконалості процесу мастилоподачі, обрано **рівномірність подачі мастила** по обертах колінчастого вала двигуна (у відсотках). У цих

Після рандомизації отримана матриця планування (табл.2), яка являє собою напіврепліку від 24, задану генеруючим співвідношенням $X_4=X_1X_2X_3$, з визначальним контрастом - $1=X_1X_2X_3X_4$.

Розрахунки виконуємо в середовищі MS EXCEL (рис.22,23).



У результаті обробки дослідних даних отримана математична модель - рівняння регресії в кодованих безрозмірних значеннях факторів рівномірності подачі мастила по обертах двигуна:

$$Yu = 83,74 - 0,97X_1 - 4,64X_2 + 2,46X_3 - 1,55X_4 - 4,42X_{12} - 4,42X_{34} + 0,77X_{13} + 0,77X_{24} - 1,16X_{23} - 1,16X_{14}$$

Отримане рівняння регресії представимо в безрозмірній формі натуральної величини рівномірності подачі мастила по обертах двигуна

$$R = 83,74 - 0,97l - 4,64g_{ak} + 2,46 g_{kl} - 1,55d - 4,42 l g_{ak} -$$

$$- 4,42 g_{kl} d + 0,77 l g_{kl} + 0,77 g_{ak} d - 1,16 g_{ak} g_{kl} - 1,16 l d$$

Для адекватної лінійної моделі, виконували рух по градієнту, з метою відшукування оптимальної геометрії заклапанної порожнини, що забезпечує вихід усього мастила безпосередньо на дзеркало циліндра. Оптимальна комбінація наведених факторів, що забезпечує рівномірну подачу мастила, за інших рівних умов, характеризується наступними їхніми значеннями: довжина каналу дроселя $l = 2,5 \dots 2,6$ мм; жорсткість пружини акумулятора $g_{ак} = 2,9 \dots 3,0$ кГ; жорсткість пружини клапана $g_{кл} = 2,6 \dots 2,7$ кГ; діаметр каналу дроселя $d = 1,2 \dots 1,25$ мм. Для уточнення отриманих результатів використовували Сиплекс метод.

Спостереження за процесом подачі мастила в циліндри двигунів дозволили виявити основні недоліки цього процесу і визначити ті вузли систем мащення, що мають потребу в зміні чи в досконаленні. Це канал між торцем штуцера і дзеркалом циліндра, форма маслорозподільних канавок на дзеркалі та нагнітальний мастилопровід з метою збільшення частоти подачі мастила в циліндр.

Для зміни характеристик процесу подачі мастила з метою підвищення його ефективності і поліпшення показників роботи суднового двигуна, на підставі виконаних досліджень розроблено новий *спосіб мащення, який відрізняється тим*, що для забезпечення стабільної і рівномірної плівки мастила на поверхнях його контакту з деталями ЦПГ, в штуцері лубрикатора підтримується постійний тиск, який створюється за рахунок однакової жорсткості пружин клапана штуцера і акумулятора об'єму мастила та їх зусиль рівних тиску продувного повітря ДВЗ, а також оптимальних розмірів (1,5...2 мм) каналу дроселя штуцера. Розроблений спосіб було реалізовано в технічному рішенні (рис.24.) яке пройшло експлуатаційну перевірку на суднових двигунах.

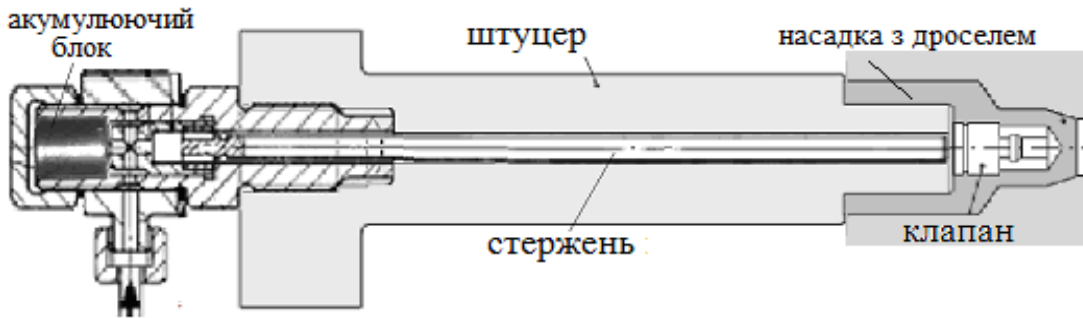


Рис.24. Удосконалений штуцер системи мащення циліндрів

Осцилографуванням процесу (рис.25) мастилоподачі лубрикатором "Puls" при вдосконаленій системі встановлено, що завдяки акумулятору подача мастила в штуцер здійснюється й у періоди, коли плунжер нерухливий або робить хід усмоктування. Дроблення нагнітального ходу плунжера лубрикатора на два періоди на початку першого і другого обертів циклу мастилоподачі (лінія Хп) збільшує рівномірність (лінія Мв) порцій мастила (допомагаючи акумулятору в цьому) поданого на наступних обертах, навіть після завершення процесу нагнітання.

Виміри площі фігур під лінією Мв показують що вони близькі між собою по значенню на протязі всього циклу мастилоподачі. Таке дроблення ходу плунжера виконується за рахунок внесення коректив в керуючу програму комп'ютера і може мати різні значення 2... 4 і більше обертів (в залежності від потужності двигуна і його потреб в мастилi), що робить процес дійсно рівномірним, забезпечуючи практично постійний тиск в системі мащення циліндрів.

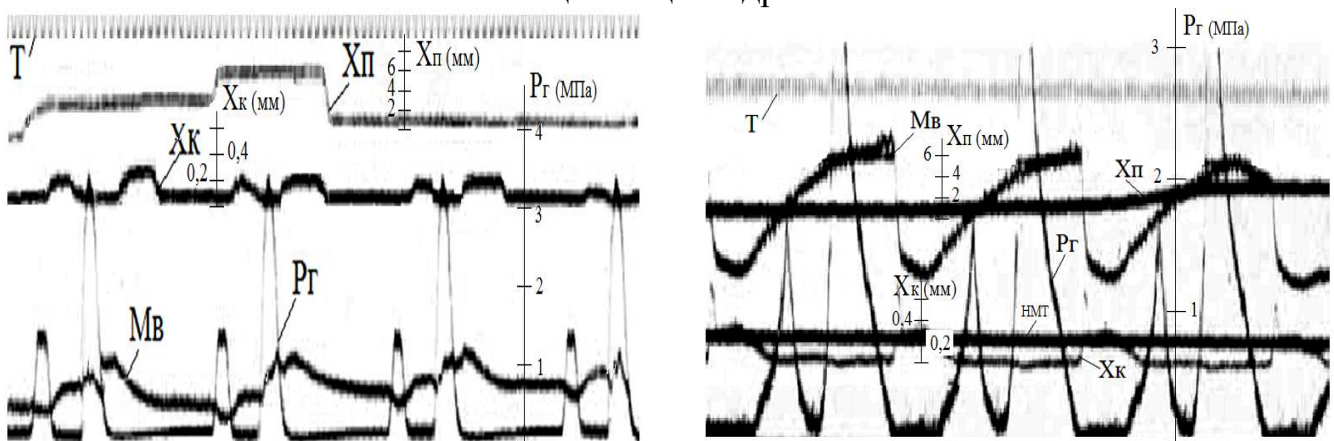


Рис.25. Осцилограма мастилоподачі лубрикатором "Puls"

Розроблені вдосконалення мастильних пристроїв проходили експлуатаційну перевірку на двигунах RTA 3-х суден. Час роботи нових вузлів, по окремих суднах,

склав від 7000 до 10000 годин, при цьому отримані результати випробувань, аналіз яких дозволив оцінити ефективність запропонованих розробок.



Рис.26. Стан деталей ЦПГ № 1 (базовий) наприкінці випробувань

Оцінка технічного стану деталей ЦПГ здійснювалася в умовах експлуатації головних двигунів т/х "Bet Fighter" (головний двигун 7RTA84T), "Bay Ranger" і "Island Ranger" (головні двигуни 6RTA52) силами суднових екіпажів. Випробування проводилися, з наступним розкриттям і порівняльним аналізом стану циліндрів по зношуванню кілець і втулок, а також нагарів у циліндрах.



Рис.27. Стан деталей ЦПГ № 3 (експериментальний) наприкінці випробувань

Розкриття циліндрів № 2,3 показало (рис.26,27), що всі компресійні кільця рухливі, явно виражених рисок і натирань на дзеркалі циліндра немає. Загоряння вікон експериментальних циліндрів № 2,3, що працювали зі зниженням витрати мастила в 1,5...2 рази нижче, ніж у базових.

Стан базових циліндрів № 1,4,5,7 (зі штатною системою мащення й установленим фірмою експлуатаційною витратою мастила на рівні 1,4 г/кВт·г) практично не відрізнялося від контрольного циліндра № 6.

Аналіз результатів обмірювань деталей ЦПГ показав, що середня величина зносу втулок експериментальних циліндрів по поясу максимального виробітку, у порівнянні зі зносами втулок базових циліндрів менше (рис.28): по ходу – в 1,5 рази; по осі – в 1,3 рази. Зміна зазорів у замках поршневих кілець відрізняється: по першій кільцю – в 1,8 рази; по комплекту кілець – в 1,6 раз.

Величина зносивя втулок експериментальних циліндрів у порівнянні з базовими циліндрами, також значно нижче. Наприклад, по поясу максимального виробітку він відрізняється на 20%.

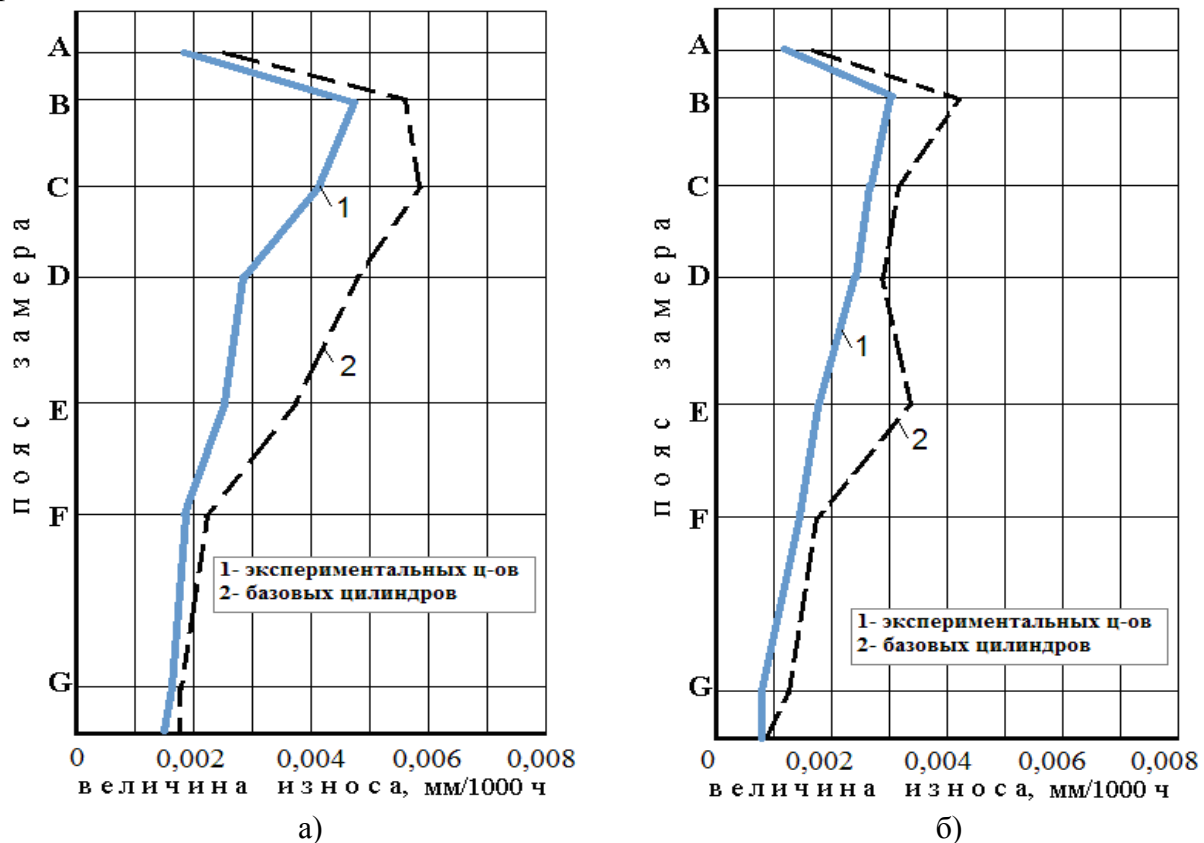


Рис.28. Характер зносу циліндрових втулок:

а) – у напрямку вимірів по осі; б) – у напрямку вимірів по ходу

Слід зазначити, що наведеними результатами не вичерпується весь резерв поліпшення стану циліндрів і показників роботи двигуна, а також економії циліндрових масел. Це пояснюється особливостями стану ЦПГ цих двигунів (інтенсивні зноси кепів, натирання на дзеркалі й ін.) і необхідністю у зв'язку із цим зниження витрати мастила етапами, у результаті яких по сумі аналізованих показників повинен бути виявлений найбільш економічний рівень витрати мастила.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження містить теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі підвищення ефективності процесу подачі мастила в циліндри судових ДВЗ шляхом розробки нового **способу** мащення, **який відрізняється тим**, що для забезпечення стабільної і рівномірної плівки мастила на поверхнях його контакту з деталями ЦПГ, в штуцері лубрикатора підтримується постійний тиск, який створюється за рахунок однакової жорсткості пружин клапана штуцера і акумулятора об'єму мастила та їх зусиль рівних тиску продувного повітря ДВЗ, а також оптимальних розмірів (1,5...2 мм) каналу дроселя штуцера. Розроблений спосіб було реалізовано в технічному рішенні яке пройшло експлуатаційну перевірку на судових двигунах.

Основні наукові положення і результати, які визначають наукову новизну й практичну цінність дисертаційної роботи, полягають у наступному.

1. Вперше вирішена задача оптимізації характеристик процесу мащення циліндрів ДВЗ, для забезпечення рівномірного розподілу мастила по поверхні його контакту з деталями ЦПГ, враховуючи весь комплекс явищ, що відбуваються у гідравлічному тракту лубрикаторної системи.

2. Дослідження впливу гідравлічних та геометричних характеристик лубрикаторної системи на ефективність її роботи виявили, що існуючий в досліджуваних ДВЗ імпульсний характер тиску в системі мащення обумовлює подачу мастила на дзеркало циліндра тільки на перших 2...3 обертах колінчастого вала двигуна, зі значною (1,5...2,5 м/с) швидкістю та з послідовними перервами в подачі протягом 2...6 обертів, що обумовлює значну нерівномірність подачі мастила і призводить до нестабільності його плівки на поверхні циліндрової втулки.

3. В результаті досліджень роботи лубрикаторної системи в експлуатаційних умовах встановлено, що процес подачі мастила супроводжується різким, імпульсним характером розвантаження каналів системи від тиску сформованого ходом плунжера ("викидом") значної частини мастила в порожнину циліндра. Це обумовлює прямі втрати циліндрових мастил і появу додаткового джерела нагаровідкладень. Мастило, що залишилося в каналі після "викиду" надходить на дзеркало зі значними перервами й повз канавки, що не сприяє його розподілу в циліндрі й обумовлює скидання у вікна, підпоршневий простір, а також віднесення мастила із продувним повітрям.

4. Розроблені математична модель руху робочої рідини в лубрикаторній системі, алгоритм чисельного рішення та програма розрахунків витрат і швидкостей мастила на протязі циклу мастилоподачі, забезпечують можливість знаходити зв'язки і закономірності процесу мащення, раціонально організовувати розподіл мастила по дзеркалу циліндра, забезпечуючи тим самим підвищення ефективності роботи системи.

5. Отримали подальший розвиток методи експериментальних досліджень лубрикаторних систем судових ДВЗ в експлуатаційних умовах, в частині визначення основних взаємозв'язків режимів подачі мастила в циліндр із геометрією нагнітального тракту системи мащення, що дозволяє оцінювати ефективність роботи.

6. Результати досліджень процесу подачі мастила в циліндри судових двигунів, методика, програми розрахунків й засоби випробувань впроваджені в навчальний процес та науково-дослідну роботу НУ"ОМА", а вдосконалені вузли систем мащення циліндрів на головних двигунах Wartsila 7RTA84T т/х "Bet Fighter", 6RTA52 т/х "Bay Ranger" і 6RTA52 т/х "Island Ranger". Передбачуваний економічний ефект від використання розробок, в розрахунку на одне судно із двигуном RTA, за прогнозами судовласника, складе від 22 тис. до 45 тис. USD на рік в залежності від потужності двигуна, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Богач В.М. Прогнозирование условий маслоподачи в цилиндры судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, А.А. Задорожный // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2006.- Вып. 15- Одесса: ОНМА.- С.10-16.

2. Богач В.М. Истечение мастила из смещенных каналов в цилиндры длинноходовых СДВС [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, И.Д. Колиев // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2006.- Вып. 17- Одесса: ОНМА.- С.38-46.
3. Богач В.М. Эксплуатационные показатели эффективности лубрикаторных систем судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, И.Д. Колиев, Ю.И. Журавлев // Судовые энергетические установки: науч.- техн.сб.- 2007.- Вып. 19.- Одесса: ОНМА.- С. 10-22.
4. Богач В.М. Повышение эксплуатационной эффективности судовых технических устройств [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, А.В. Сотников // Судовые энергетические установки: науч.- техн.сб.-2007.-№ 20.-Одесса: ОНМА. - С.30-38.
5. Богач В.М. Исследование работы лубрикаторной системы в эксплуатационных условиях [Текст] / В.М. Богач, В.А. Бузовский, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб.-2009.-№ 24.-Одесса: ОНМА. - С. 52-59.
6. Богач В.М. Исследование процесса маслоподачи двухрядной системой “Puls” без аккумулялирования давления мастила [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Альманах современной науки и образования.№8(98) 2015 –Тамбов.-С.28-32.
7. Шебанов А.Н. Исследование процесса маслоподачи двухрядной лубрикаторной системой с аккумулялированием давления мастила [Текст] / А.Н. Шебанов, В.М. Богач // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2013.- Вып. 31 - Одесса: ОНМА. - С.122-132.
8. Шебанов А.Н. Методика оценки погрешностей результатов измерений показателей работы системы смазывания судового дизеля [Текст] / А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2014.- Вып. 34 - Одесса: ОНМА. - С.121-129.
9. Богач В.М. Эксплуатационная проверка эффективности модернизированной системы смазывания цилиндров двигателей RTA [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2016.- Вып. 36 - Одесса: ОНМА. - С.41-49.
10. Bogach V. Performance efficiency lubricator systems of marine diesel engines [Текст] / V. Bogach, A. Shebanov // European Applied Sciences, November, №11, 2016 - pp. 24-29.

Апробація матеріалів дисертації

11. Богач В.М. Повышение эффективности эксплуатации лубрикаторных систем судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, А.А. Задорожный, А.Н. Шебанов // Матеріали Міжнародної наукової та науково-методичної конференції «Сучасні проблеми суднової енергетики 2006» - Одесса: ОНМА. 2006 -С. 26-29.
12. Богач В.М. Исследование процесса подачи мастила в цилиндры двигателей RTA «Зульцер» [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, // Матеріали Міжнародної наукової та науково-методичної конференції «Сучасні проблеми суднової енергетики 2007» - Одесса: ОНМА. 2007-С. 20-21.
13. Богач В.М. Исследование режимов смазывания деталей ЦПГ в эксплуатационных условиях [Текст] / В.М. Богач, В.А. Бузовский, А.Н. Шебанов // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції на тему «Суднові енергетичні установки і системи: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2009 - С. 107-108.
14. Шебанов А.Н. Повышение надежности эксплуатации судовых дизелей усовершенствованием систем смазывания цилиндров [Текст] / А.Н. Шебанов // Матеріали

науково-технічної конференції "Енергетика судна: експлуатація та ремонт" – Одесса: ОНМА, 2010 – С. 84-87.

15. Богач В.М. Повышение эффективности систем смазывания цилиндров при эксплуатации судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, В.А. Бузовский, А.Н. Шебанов // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2012 - С. 64-65.

16. Шебанов А.Н. Обеспечение надежности эксплуатации судовых дизелей совершенствованием систем смазывания [Текст] / А.Н. Шебанов, В.М. Богач // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Енергетика судна: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2014 - С. 116-118.

17. Шебанов А.Н. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизелей путем усовершенствования систем смазывания цилиндров [Текст] / А.Н. Шебанов // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» - Одесса: НУ «ОМА», 2017 - С. 120-123.

18. Богач В.М. Підвищення ефективності експлуатації СТЗ шляхом вдосконалення процесу мащення ЦПГ [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» - Одесса: НУ «ОМА», 2018 - С. 179-183.

АНОТАЦІЯ

Шебанов А.М. Підвищення ефективності експлуатації суднових двигунів шляхом удосконалення систем мащення циліндрів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. – Національний Університет «Одеська морська академія», Одеса, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної прикладної задачі підвищення ефективності експлуатації суднових дизелів за рахунок удосконалювання систем і процесів мащення циліндрів. У роботі виконано аналіз стану питання по досліджуваних проблемі, в результаті якого визначені основні недоліки існуючих систем мащення циліндрів дизелів.

Розроблено методику експериментальних досліджень по вивченню процесів подачі мастила в циліндри суднових двигунів, відповідно до якої проведені іспити в лабораторних і в експлуатаційних умовах. При цьому використані сучасні методи досліджень: осцилографування, швидкісна кінозйомка і планування багатofакторного експерименту. Проведено теоретичні дослідження руху мастила в нагнітальному трубопроводі системи і каналі за клапаном, в результаті отримані аналітичні залежності для визначення ступеня досконалості системи. Визначено оптимальну геометрію каналу, що дозволяє підвищити ефективності використання мастила і поліпшити стан дизеля.

Проведені експлуатаційні випробовування встановили, що поліпшення процесу подачі мастила дозволяє знизити на 20-25% витрати циліндрового мастила, у 2...2,5 рази зменшити відкладення в циліндрі й у 1,2...1,3 рази зноси деталей двигуна, а отже є ефективним напрямком підвищення економічності роботи суднових дизелів.

Ключові слова: судновий дизель, система мащення, лубрикатор, мастилопідводящий канал, процес мастилоподачі, циліндрова втулка, поршень, поршневе кільце, знос, нагар.

АННОТАЦИЯ

Шебанов А.Н. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизелей путем усовершенствования систем смазывания цилиндров. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – Национальный Университет «Одесская морская академия», Одесса, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной прикладной задачи повышения эффективности эксплуатации судовых дизелей посредством совершенствования систем и процессов смазывания цилиндров. Выполнен анализ состояния вопроса по исследуемой проблеме, в результате чего установлены основные недостатки существующих лубрикаторных систем длинноходовых дизелей РТА и определены направления совершенствования систем и процессов смазывания. Установлено, что управление истечением масла в цилиндры этих двигателей существующими конструкциями систем смазывания не обеспечивается.

Разработана методика экспериментальных исследований по изучению процессов маслоподдачи в цилиндры судовых двигателей в соответствии с которой проведены испытания в лабораторных и в эксплуатационных условиях, что позволило получить представление об эффективности функционирования систем смазывания цилиндров. При этом использованы современные методы исследований, включающие в себя осциллографирование, скоростная киносъемка и планирование многофакторного эксперимента.

Определены характеристики процесса маслоподдачи, и их взаимосвязь с конструкцией маслоподводящих устройств, выявлены недостатки, найдены и обоснованы пути совершенствования систем смазывания цилиндров. Проведены теоретические исследования движения масла в нагнетательном тракте системы и в заклапанной полости, основанные на решении уравнений неустановившегося изотермического движения вязкой жидкости с учетом граничных условий в узлах системы. В результате получены аналитические зависимости, позволяющие определять степень совершенства системы и процесса маслоподдачи, а также отыскивать пути его улучшения.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено влияние геометрических параметров каналов системы смазывания на характеристики процесса истечения масла в цилиндр и в конечном счете на эффективность его использования в двигателе. Определены оптимальные значения гидравлических и геометрических характеристик системы, при которых достигаются наилучшие показатели процесса маслоподдачи, что предопределяет увеличение равномерности распределения масла в цилиндре, повышение эффективности его использования и улучшение состояния деталей ЦПГ.

Проведенные эксплуатационные испытания установили, что совершенствование процесса маслоподдачи обеспечивает снижение на 20-25% расхода цилиндрического масла, в 2...2,5 раза уменьшает нагароотложения в цилиндре и в 1,2...1,3 раза износы деталей ЦПГ а следовательно является эффективным направлением повышения экономичности работы судовых длинноходовых ДВС.

Ключевые слова: судовой дизель, система смазывания, лубрикатор, маслоподводящий канал, процесс маслоподдачи, цилиндрическая втулка, поршень, поршневое кольцо, износы, нагарообразование.

THE ABSTRACT

Shebanov A.N. Increase efficiency operation ship diesel engines by improvement of lubrication systems cylinders. - The Manuscript.

The dissertation on competition a scientific degree of candidate technical science. Speciality 05.05.03 - engines and power plants. National University "Odessa maritime academy", Odessa, 2018.

The dissertation devoted to the decision to an actual economic problem increase of efficiency and reliability operation of ship diesel engines by means of perfection of systems and processes lubricating of cylinders. The analysis a condition of a question on a researched problem as a result of which the basic lacks of existing systems of lubricating cylinders long-stroke diesel engines RTA are established is executed

The technique of experimental researches on studying processes oil absorption in cylinders ship engines according to which tests in laboratory carried out, and in operational conditions that has allowed receiving representation about efficiency functioning systems of lubricating cylinders is developed. Thus modern methods of researches including oscillographe complex swift-flowing processes, high-speed filming and planning of multifactor experiment are used.

It is developed a technique of experimental researches on studying process submissions of oil in cylinders ship engines for which tests in laboratory and operational conditions are made. The optimum geometry of the channel at which the best parameters process of receipt oil in the cylinder are reached is determined and the condition of the diesel engine improves. Carried out operational tests have established, that perfection of process oil absorption provides decrease on 20-25 % of the charge of cylinder oil, in 2-2,5 times reduces carbon residue in the cylinder and in 1,2-1,3 times wear details engine and therefore is an effective direction of increase profitability of work marine long-stroke engines.

Keywords: ship diesel engine, long-stroke diesel engine, system of lubrication, oil feed channel, process of oil absorption, cylinder liner, piston, piston ring, wear, carbonization.

Підп. до друку 18.05.2018.
Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И18-05-48

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003