

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО


« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОГО
СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО ДВИГУНА НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ
РОБОТИ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Сергій КАРПЕНКО

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет	Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра	Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації
Ступінь	Магістр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
	(шифр і назва)
Освітня програма	Двигуни внутрішнього згорання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Карпенко Сергій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності суднового середньообертового двигуна на номінальному режимі роботи

2. Керівник роботи д.т.н., проф. Тимошевський Б. Г.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – ABC DVZ (6ЧН 22/24); паливо – дизельне;
потужність двигуна – 750 кВт, частота обертання колінчастого валу – 900 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Застосування двигуна ABC DVZ на танкері «PRIMERA»; Тенденції розвитку паливної апаратури середньообертових двигунів; Модернізація двигуна ABC DVZ шляхом використання форсунок з гідравлічним запиранням; Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальне розміщення механізмів у МВ танкера "PRIMERA"; Поперечний розріз двигуна ABC DVZ; Схема паливної системи; Редуційний клапан; Форсунка з гідравлічним запиранням

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу		
2	Оформлення 2 розділу		
3	Оформлення 3 розділу		
4	Оформлення 4 розділу		
5	Оформлення 5 розділу		
6	Оформлення креслень		

Здобувач освіти

Керівник роботи

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

Сергій КАРПЕНКО

(прізвище та ініціали)

Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення ефективності двигунів танкера шляхом використання форсунок з гідравлічним запиранням. Розглянуто економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 71 сторінці розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: редуційний клапан, форсунка, розпилювач, ефективність.

The qualification work develops a set of measures to improve the efficiency of tanker engines by using hydraulically locked injectors. The economic justification of the modernization implementation is considered. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 71 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1

Key words: pressure reducing valve, nozzle, spray, efficiency.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна ABC DVZ на танкері «PRIMERA».....	5
Розділ 2. Тенденції розвитку паливної апаратури середньообертових двигунів.....	15
Розділ 3. Модернізація двигуна ABC DVZ шляхом використання форсунок з гідравлічним запиранням.....	36
Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна.....	48
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	58
Висновки.....	65
Список використаної літератури.....	66
Додаток А. Загальне розміщення механізмів у МВ танкера "PRIMERA"....	67
Додаток Б. Поперечний розріз двигуна ABC DVZ.....	68
Додаток В. Схема паливної системи.....	69
Додаток Г. Редукційний клапан.....	70
Додаток Д. Форсунка з гідравлічним запиранням.....	71

ВСТУП

Одним із способів підвищення надійності роботи форсунок є використання принципу гідравлічного запирання. Головна конструктивна відмінність такої форсунки від варіантів із пружинним замиканням полягає у відсутності механізму замикання; навантаження на голку розпилювача забезпечується тиском рідини, що заповнює простір над голкою. Завдяки значному зменшенню рухомої маси, відсутності нормальних сил, які виникають через перекоси голки під дією штока, а також іншим позитивним факторам, вдається збільшити ресурс роботи розпилювачів. Використання дизельного палива, що застосовується двигуном, як замикаючої рідини, спрощує конструкцію системи гідравлічного замикання.

Мета даної роботи – розробити умови щодо покращення параметрів роботи двигунів шляхом використання гідравлічного запирання форсунок.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості конструкції й експлуатації суднового середньобертового двигуна.
2. Розробка форсунки з гідравлічним запиранням.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об’єкт дослідження – форсунка з гідравлічним запиранням.

Предмет дослідження – параметри форсунки.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА ABC DVZ НА ТАНКЕРІ «PRIMERA»

За останні роки обсяги перевезень та розміри суден, що працюють на внутрішніх водних шляхах Європи, зросли настільки, що такі судна, як «PRIMERA», тепер можуть розглядатися для включення до категорії «Значні судна», поряд із суднами, які швидше можна описати як «морські судна». «PRIMERA» (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) [1] – це велике судно, яке відповідає низькопрофільній компоновці, що здавна асоціюється з річковими/канальними суднами.

Рульова рубка розташована в кормовій частині судна, на єдиній висувній колоні з гідравлічним приводом, яка опускається, щоб ще більше зменшити аеродинамічну опірність для проходження під мостами.

«Люк рульового» в даху переважно алюмінієвої конструкції дозволяє штурману керувати судном, показуючи лише голову, коли рульова рубка забрана. Житлові приміщення розташовані на кормі, на рівні верхньої палуби і під рульовою рубкою, і включають камбуз, три двомісні і три одномісні каюти.

Все частіше голландські суднобудівники використовують для будівництва своїх корпусів закордонні верфі, і тут Den Breejen наслідує цю практику, передавши цю роботу на субпідряд верфі Nantong Yahua, розташованій на північ від Шанхаю, Китай, після чого «PRIMERA» повернулася до Нідерландів для завершення будівництва.

Корпус судна має подвійну обшивку, що утворює лівий і правий баластні відсіки для води і закриває вантажний простір довжиною 105,19 м, розділений поперечними перебірками і центральною перегородкою на 20 танків, призначених для перевезення широкого спектру рідких вантажів.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Танкер «PRIMERA»

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

Особливістю специфікації «PRIMERA» є включення в систему миття танків портативної машини, в якій вода, що повертається, може бути відокремлена від нафтопродуктів екологічно безпечним способом і збережена для повторного використання.

Машина, поставлена компанією Maas Marine & Industrial Equipment, може працювати при температурі до 95 °C і приводиться в дію двома відцентровими насосами потужністю 30 кВт.

Трубопроводи прокладені по лівому борту палуби, а переміщення вантажу здійснюється п'ятьма електричними насосами Bornemann типу W7/85, продуктивністю 330 м³/год, які в сукупності працюють з продуктивністю 1625 м³/год. Компанія ATIS BV встановила систему вимірювання рівня в танках ADAS, яка реєструє велику кількість даних про вантаж і керує системою сигналізації в разі виникнення проблем.

Температурні датчики в кожному танку мають робочий діапазон від 7 °C до 150 °C, а інформація про всі аспекти вантажних операцій виводиться на екран комп'ютера в рульовій рубці. Нагрівання вантажу здійснюється за допомогою рідинного нагрівача Butterworth потужністю 2900 кВт, здатного підтримувати температуру транспортування на рівні 60 °C. На додаток до вантажних насосів, «PRIMERA» оснащена трьома баластними насосами SIM продуктивністю 150 м³/год.

Силова установка складається з двох чотиритактних середньобертових дизельних двигунів з турбонаддувом і проміжним охолодженням типу DZC виробництва Anglo Belgian Corp (ABC). Кожен двигун розвиває 750 кВт при 900 об/хв, причому один двигун обертається за годинниковою стрілкою, а інший - проти годинникової стрілки. Передача потужності здійснюється через редуктори ZF до гребних гвинтів Van Voorden, укладених в сопла Hodi.

Керування судном здійснюється за допомогою чотирьох рулів шарнірного типу, які можуть впоратися з моментом 11 вузлів при максимальному куті повороту 58/75 градусів. Також встановлено носовий

					KPM.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

рушій Omega потужністю 650 кВт з гребним гвинтом діаметром 1400 мм. Primera отримує електроенергію від чотирьох генераторних установок. Всі двигуни - Cummins, а генератори змінного струму - Newage Stamford.

Судно ходить під прапором Люксембурга. Позивний судна – LX2337. MMSI – 253242337.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	135,00
Довжина між перпендикулярами, м	130,29
Висота до палуби, м	5,50
Ширина найбільша, м	4,20
Дедвейт, т	5850
Швидкість судна, вуз	11,0

Загальний вигляд машинного відділення приведений на рис. 1.3.

Машинне відділення розташоване в кормовій частині судна. Дизель-редукторний агрегат змонтований у трюмі машинного відділення на фундаментах, з'єднаних із набором днищового корпусу. Для зручності обслуговування навколо двигунів передбачено достатньо вільного місця, яке дозволяє розташовувати великі деталі, витягнуті з двигунів під час ремонту. Наявність редуктора забезпечує можливість роботи двигунів на гребний вал при частотах обертання, які відповідають максимальному ККД гвинта, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики установки. При зниженні швидкості один із двигунів можна вимкнути, що дозволяє іншому працювати з більшою ефективністю.

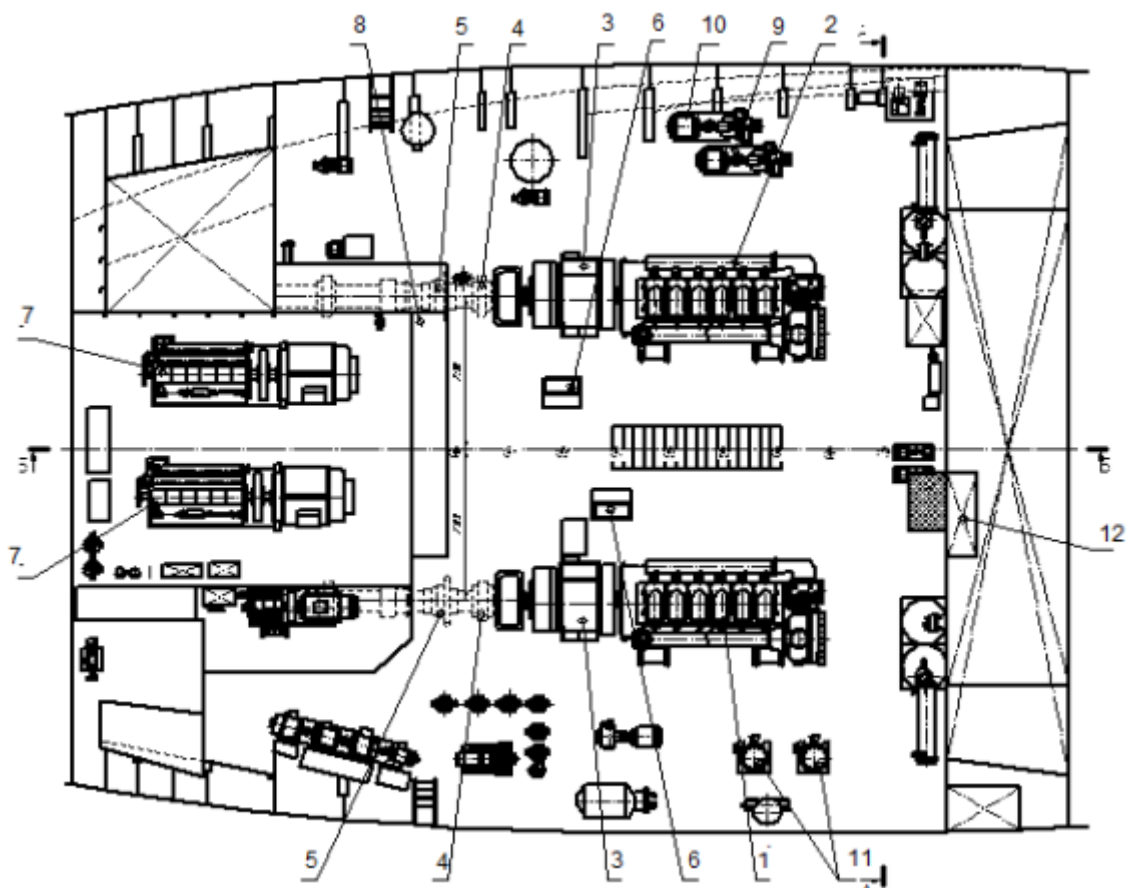


Рисунок 1.3 – Загальний вид МВ:

1 – головний двигун правого борту; 2 – головний двигун лівого борту;
3 – реверс-редуктор; 4 – валопровід; 5 – упорний підшипник; 6 – пульти управління двигунами; 7 – дизель - генератори; 8 – головний розподільний щит; 9 – насос; 10 – цистерна для прісної води; 11 – пожежний насос

Опис двигуна ABC DVZ

Двигуни ABC DVZ (6ЧН22/24) є шестициліндровими, чотирьотактними, середньобертовими нереверсивними двигунами внутрішнього згорання з рядним розташуванням циліндрів (рис 1.4) [2].

Розташування дизелів забезпечує легкий доступ до їхніх основних агрегатів через люки в блоці, що дає змогу проводити огляд і, за потреби, замінювати деталі шатунно-поршневої групи без демонтажу дизеля з фундаментної рами.

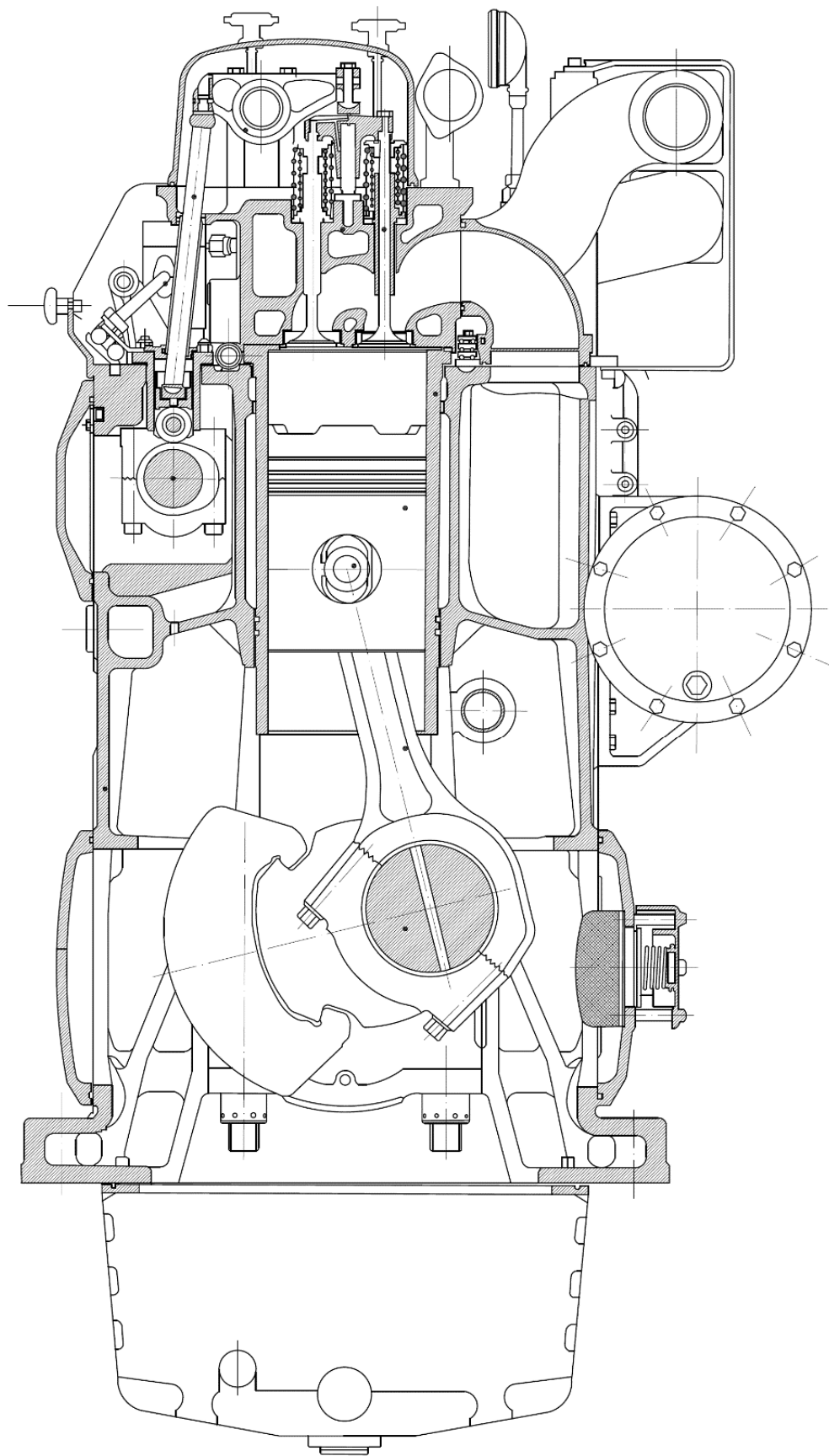


Рисунок 1.4 – Поперечний розріз двигуна ABC DVZ

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Поршень виготовлений із чавуну з кулевидним графітом і охолоджується змащувальним маслом двигуна. Масло подається через палець поршня до кільцеподібної порожнини, звідки стікає через отвір у масляний піддон картера двигуна. Верхні дві кільцеподібні канавки поршня піддаються загартуванню.

Шатун виготовлено методом гарячого штампування. Роз'єм мотилевої голівки має зубчасту поверхню для надійної фіксації нижньої кришки мотилевого підшипника. Вкладиші підшипника виготовлені з тришарового металу, як і вкладиші рамових підшипників. Змащення мотилевого підшипника здійснюється через рамовий підшипник і канал у колінчастому валу.

Поршневий палець є порожнистим, із радіальними отворами для подачі масла зі шатуна до поршня. Його краї заглушені, щоб запобігти витіканню масла. Для фіксації поршневий палець закріплений у поршні овальними стопорними кільцями, які унеможливають його осьове переміщення.

Кришка циліндра оснащена клапанами. У кожній кришці встановлено два впускні клапани, два випускні клапани, центральну форсунку, клапан пускового повітря та індикаторний клапан. Впускні та випускні клапани ідентичні, мають стелітове покриття гнізд і хромовані стрижні. Ущільнення забезпечується запресованими в кришку кільцями.

Клапанний механізм включає штовхальники, які переміщуються по направляючому блоку з чавуну, трубчасті штовхальні штанги з кульовими підшипниками, штаповані важелі, що коливаються і мають впресовані втулки, які сидять на пальці стійки, а також траверси з направляючими. У нормальних умовах клапанний механізм не потребує обслуговування, однак перевірка зносу і огляд деталей повинні проводитися відповідно до періодичності, зазначеної в інструкції.

Колінчастий вал виготовлений з єдиної поковки. Перший рамовий підшипник, розташований від маховика, має фланці і виконує функцію

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

упорного підшипника. У V-подібних двигунах колінчастий вал оснащений противагами, а в однорядних двигунах мотилі коленвала не мають противаг. Противаги кріпляться до щік мотилів за допомогою нажимних болтів. На торцевій частині валу з боку маховика, насаджене масло відбійне кільце, яке запобігає пропуску масла та газів, а також встановлена роз'ємна шестерня.

Розподільний вал складається з штампованих секцій, по одній для кожного циліндра, які з'єднані між собою фланцевими з'єднаннями. Кулачки виковані на валу і мають бігові доріжки, загартовані струмами високої частоти.

Маховик прикріплений до колінчастого валу чотирма кріпильними болтами та додатково болтами кріплення валу відбору потужності. Болти вільно проходять через отвори в двох фланцях, між якими затискається маховик. Передача потужності здійснюється через тертя між плоскістю фланців. Двигуни деяких типів можуть бути оснащені відбором потужності з протилежного боку маховика.

Валоповоротний механізм двигуна складається з приводної шестірні, яка зчіплюється з пальцем квадратного перетину рукоятки з тріскачкою. Напрямок обертання валу змінюється шляхом зміни напрямку обертання тріскачки. При увімкненому валоповоротному механізмі на приладовому щитку двигуна горить сигнальна лампочка, яка гасне після відключення валоповоротного пристрою.

Турбонагнітачі з радіальною турбіною виготовлені заводом "Браун, Бовері і До." Повітроохолоджувач трубчастого типу встановлений у зварному корпусі, який одночасно служить опорою для турбонагнітача. Корпус закріплений болтами на блоці-картері з вільного кінця дизеля. У V-подібних двигунах використовується два турбонагнітачі та дві однакові трубчасті вставки в одному корпусі. Газовідна камера турбонагнітача охолоджується водою з системи охолодження дизеля. Підшипник ковзання турбонагнітача змащується маслом із системи змащування двигуна.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Повітровипускний канал турбонагнітача підключений до розтруба через жаростійкий шланг. Газовипускні трубопроводи з'єднані з турбонагнітачем за допомогою металевих компенсаторів. Установку газовипускного трубопроводу після турбонагнітача необхідно виконувати відповідно до інструкцій.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ СЕРЕДНЬОБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ

Розвиток паливної апаратури для середньобертових двигунів внутрішнього згоряння зумовлений зростанням вимог до екологічності, економічності, надійності та потужності цих агрегатів. Технічний прогрес у цій галузі спрямований на вдосконалення систем упорскування, підвищення точності дозування палива та поліпшення характеристик згоряння, що дозволяє забезпечити оптимальні умови роботи двигунів навіть за високих обертів.

1. Підвищення робочого тиску упорскування

Одна з головних тенденцій – зростання робочого тиску упорскування. Сучасні паливні системи забезпечують тиск до 2000–2500 бар і вище, що сприяє покращенню диспергування палива, підвищенню ефективності згоряння та зменшенню кількості шкідливих викидів.

2. Впровадження систем з електронним управлінням

Заміна механічних систем на електронно-керовані дозволяє значно підвищити точність і гнучкість подачі палива. Системи типу Common Rail або електромагнітні інжектори забезпечують адаптивне регулювання кількості та моменту впорскування, враховуючи поточні умови роботи двигуна.

3. Використання багатofазного упорскування

Середньобертові двигуни дедалі частіше використовують багатofазне впорскування, що дозволяє зменшити шум і вібрацію, оптимізувати процес згоряння та знизити кількість викидів. Цей підхід включає попереднє, основне та поступальне впорскування палива залежно від циклу роботи.

4. Застосування високотехнологічних матеріалів

Для забезпечення надійності паливної апаратури в умовах високих температур і тисків використовуються інноваційні матеріали, стійкі до зносу,

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

корозії та впливу агресивних середовищ. Це дозволяє продовжити термін служби компонентів, таких як форсунки та насоси високого тиску.

5. Інтеграція з екологічними системами

Сучасні паливні системи інтегруються з технологіями, що знижують екологічний вплив, такими як системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) або селективного каталітичного відновлення (SCR). Це дає змогу дотримуватись суворих екологічних норм, таких як Євро-6.

6. Мініатюризація та полегшення конструкцій

Розвиток середньобертових двигунів вимагає зниження маси паливної апаратури. Нові конструкції забезпечують компактність і легкість, що позитивно впливає на загальну масу двигуна та його динамічні характеристики.

7. Впровадження цифрових технологій

Діагностика, моніторинг і налаштування паливної системи здійснюються через цифрові інтерфейси, що дозволяє проводити аналіз у режимі реального часу та автоматично вносити коригування для оптимальної роботи двигуна.

8. Розвиток альтернативних палив

Зростає увага до систем упорскування, адаптованих до роботи на біопаливі, синтетичних паливах та воднево-метанових сумішах. Це відкриває нові можливості для зниження залежності від традиційних видів палива та зменшення викидів CO₂.

Тенденції розвитку паливної апаратури середньобертових двигунів є невід'ємною частиною загального технічного прогресу у сфері двигунобудування. Інноваційні рішення сприяють підвищенню ефективності, екологічності та надійності двигунів, відповідаючи сучасним вимогам ринку та екологічним стандартам.

					<i>KPM.142.6221м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Аналіз конструкцій сучасних форсунок середньообертових двигунів

Форсунки є ключовими елементами паливної системи середньообертових двигунів, від конструкції яких залежить точність дозування палива, якість його розпилення та ефективність згорання. Сучасні форсунки для таких двигунів розробляються з урахуванням високих експлуатаційних навантажень, вимог до екологічності та необхідності забезпечення надійності навіть за значних обертів двигуна.

Закриті форсунки

Закриті форсунки є важливим типом розпилювальних пристроїв, які застосовуються у середньообертових двигунах внутрішнього згорання. Вони забезпечують точне дозування палива та якісне його розпилення, що значно впливає на ефективність роботи двигуна, зменшення викидів і зниження витрати палива.

1. Конструктивні особливості

Закриті форсунки відрізняються наявністю спеціального голчастого клапана, який герметично закриває сопло, коли впорскування палива не відбувається. Основні елементи закритої форсунки:

Голчастий клапан: Зазвичай виготовлений із високоякісних зносостійких матеріалів, він запобігає витоку палива через сопло.

Корпус форсунки: Виготовляється зі сталі або композитних матеріалів, стійких до високих температур і тисків.

Розпилювач: Виконує функцію диспергування палива на дрібні краплі, що забезпечує рівномірне змішування з повітрям.

Пружина клапана: Забезпечує герметичне закривання сопла, коли тиск у паливній магістралі недостатній для впорскування.

Система подачі палива: Забезпечує надходження палива до форсунки під високим тиском.

2. Принцип роботи

Робота закритої форсунки базується на зміні тиску палива:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Під час підвищення тиску в паливній магістралі до певного порогового значення голчастий клапан відкривається, дозволяючи паливу впорскуватися через сопло.

Коли тиск падає, пружина закриває клапан, запобігаючи подальшому витоку палива.

Сопло форсунки забезпечує точне і рівномірне розпилення палива.

3. Переваги закритих форсунок

Висока точність впорскування: Закритий клапан запобігає небажаному просочуванню палива, що покращує якість згоряння.

Оптимальне розпилення: Забезпечує рівномірний розподіл палива у камері згоряння, що сприяє ефективнішому змішуванню з повітрям.

Зниження втрат палива: Відсутність витоків через сопло мінімізує втрати та підвищує економічність.

Менше шкідливих викидів: Забезпечується точним дозуванням і повнішим згорянням палива.

Довговічність: Завдяки використанню високоякісних матеріалів і герметичності конструкції закриті форсунки мають довший термін служби.

4. Застосування

Закриті форсунки широко використовуються у дизельних середньообертових двигунах, які застосовуються в автомобільній, судновій, авіаційній та сільськогосподарській техніці. Вони також є важливим компонентом систем Common Rail, де робота форсунок синхронізована з електронним управлінням.

5. Перспективи розвитку

Сучасні тенденції розвитку закритих форсунок спрямовані на:

Підвищення робочого тиску (до 3000 бар і вище) для поліпшення розпилення.

Використання інноваційних матеріалів, таких як кераміка, для зменшення зносу.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Оптимізацію конструкції для зменшення рухомої маси та інерції.

Інтеграцію з системами контролю викидів для зменшення шкідливих речовин у вихлопних газах.

Закриті форсунки є критично важливим елементом сучасних середньообертових двигунів, що поєднує високу точність, надійність і ефективність. Їх удосконалення сприяє зниженню екологічного впливу і підвищенню продуктивності двигунів.

Мембранні форсунки

Мембранні форсунки є особливим типом розпилювальних пристроїв, які використовуються у різних системах для забезпечення точного дозування та ефективного розпилення рідин. Вони знаходять застосування в сільському господарстві, промисловості, охолоджувальних системах і навіть у двигунах внутрішнього згоряння. Основною особливістю мембранних форсунок є використання гнучкої мембрани як активного елемента, який керує подачею рідини [3].

1. Конструкція мембранних форсунок

Мембранна форсунка складається з таких основних елементів:

Мембрана: Гнучкий елемент, виготовлений із стійкого до зношування матеріалу (гума, полімери, композити), який виконує функцію регулювання подачі рідини.

Корпус: Захищає внутрішні компоненти та забезпечує міцність конструкції. Виготовляється зі сталі, алюмінію або високоміцного пластику.

Розпилювач: Елемент, через який рідина розпорошується у вигляді дрібнодисперсного струменя.

Пружина: Використовується для підтримки мембрани в закритому стані до моменту створення достатнього тиску.

Канали для рідини: Забезпечують надходження рідини до розпилювача.

2. Принцип роботи

Робота мембранної форсунки базується на зміні тиску рідини:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При подачі рідини під тиском мембрана прогинається, дозволяючи рідині пройти до розпилювача.

У момент зниження тиску мембрана повертається в початковий стан, закриваючи подачу рідини.

Завдяки цьому забезпечується точне регулювання кількості рідини, що подається, і рівномірність її розпилення.

3. Переваги мембранних форсунок

Точність роботи: Мембрана чітко реагує на зміну тиску, забезпечуючи стабільну подачу рідини.

Стійкість до забруднень: Завдяки простій конструкції мембрана легко витримує вплив дрібних частинок і домішок у рідині.

Надійність: Мембранні форсунки мають довгий термін служби завдяки мінімальній кількості рухомих частин.

Універсальність: Можуть використовуватися для різних рідин, включаючи агресивні хімічні речовини, завдяки вибору стійких матеріалів для мембрани.

Енергоефективність: Завдяки простому механізму роботи забезпечують економію енергії.

4. Застосування

Мембранні форсунки широко використовуються в:

Сільському господарстві: Для розпилення пестицидів, гербіцидів, добрив.

Промисловості: У системах охолодження, очищення та нанесення покриттів.

Паливних системах: Для розпилення рідини у двигунах і турбінах.

Системах зрошення: Для точного дозування води в автоматичних системах поливу.

5. Перспективи розвитку

Розвиток мембранних форсунок спрямований на:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підвищення стійкості мембран до агресивних середовищ та високих температур.

Удосконалення конструкцій для підвищення точності розпилення.

Інтеграцію з електронними системами управління для автоматизації процесів.

Оптимізацію енергоспоживання.

Мембранні форсунки є простим, надійним та ефективним рішенням для багатьох сфер застосування. Їх універсальність і можливість адаптації до різних умов роботи роблять їх незамінними в сучасних технологіях розпилення рідин.

Форсунки із запірною гідравлічно-керованою голкою

Форсунки із запірною гідравлічно-керованою голкою є сучасним типом паливної апаратури, що забезпечує високоточне дозування палива, надійність роботи та підвищену ефективність згоряння в двигунах внутрішнього згоряння. Основна особливість таких форсунок полягає в управлінні запірною голкою за допомогою гідравлічного приводу, що дозволяє досягти високої швидкодії та точності під час роботи.

1. Конструкція форсунок

Форсунка із запірною гідравлічно-керованою голкою складається з таких основних елементів:

Гідравлічно-керована голка: Основний запірний елемент, який відкриває або закриває доступ до сопла форсунки, контролюючи подачу палива.

Камера управління: Область, куди подається керуюча рідина для переміщення голки.

Сопло: Забезпечує розпилення палива у вигляді дрібнодисперсного струменя.

Гідравлічний привід: Система каналів і клапанів, що керує тиском рідини в камері управління.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Корпус: Міцна конструкція, яка забезпечує герметичність і захищає внутрішні компоненти від зовнішніх впливів.

2. Принцип роботи

Робота форсунки із запірною гідравлічно-керованою голкою базується на зміні тиску рідини у камері управління:

Закритий стан: У камері управління підтримується високий тиск, що створює силу, яка притискає голку до сідла, закриваючи сопло.

Відкритий стан: Керуюча система знижує тиск у камері управління, дозволяючи голці піднятися під впливом тиску палива, що надходить до форсунки. У цей момент паливо впорскується через сопло.

Завершення впорскування: Підвищення тиску в камері управління повертає голку у вихідне положення, припиняючи подачу палива.

3. Переваги конструкції

Висока точність: Гідравлічне управління дозволяє точно регулювати момент і тривалість впорскування.

Надійність: Відсутність механічного контакту між багатьма елементами зменшує знос і продовжує термін служби форсунки.

Ефективність: Завдяки рівномірному розпиленню палива забезпечується повніше його згоряння, що підвищує ККД двигуна.

Гнучкість управління: Можливість роботи в різних режимах, включаючи багатофазне впорскування (попереднє, основне, післявпорскування).

Екологічність: Точне дозування і якісне згоряння сприяють зниженню кількості викидів шкідливих речовин.

4. Застосування

Форсунки із запірною гідравлічно-керованою голкою широко використовуються в дизельних двигунах високого тиску, які застосовуються:

В автомобільній техніці (вантажівки, легкові автомобілі).

У промисловому обладнанні.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В суднових і залізничних дизелях.

В енергетичних установках.

5. Перспективи розвитку

Розвиток форсунок із запірною гідравлічно-керованою голкою зосереджений на:

Підвищенні робочого тиску впорскування (до 3000 бар і вище).

Застосуванні нових матеріалів, стійких до високих температур і зношування.

Інтеграції з електронними системами керування для автоматичного регулювання параметрів упорскування залежно від режиму роботи двигуна.

Адаптації для використання альтернативних видів палива (біопаливо, синтетичні палива, водень).

Форсунки із запірною гідравлічно-керованою голкою є одним із ключових компонентів сучасних систем упорскування палива, що забезпечують високу ефективність, надійність і відповідність жорстким екологічним стандартам. Їх впровадження сприяє підвищенню продуктивності двигунів і зниженню шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Акумулюючі форсунки

Акумулюючі форсунки є важливим елементом сучасних паливних систем, зокрема систем Common Rail, які широко використовуються у дизельних і бензинових двигунах. Їх основна функція полягає у точному дозуванні та високоякісному розпиленні палива під високим тиском, що забезпечує оптимальні умови згоряння.

1. Особливості конструкції

Основна відмінність акумулюючих форсунок від традиційних полягає в наявності акумулюючої камери, яка зберігає паливо під високим тиском, готове до впорскування. Конструкція акумулюючої форсунки включає:

Акумулюючу камеру: Простір для зберігання палива під стабільно високим тиском.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розпилювач: Елемент, через який паливо розпилюється в камеру згоряння.

Голчастий клапан: Запірний механізм, що керує подачею палива до розпилювача.

Електронний або гідравлічний привід: Забезпечує керування відкриванням і закриванням клапана відповідно до сигналів системи управління двигуном.

Корпус: Герметична конструкція, виготовлена з матеріалів, що витримують високий тиск і температури.

2. Принцип роботи

Робота акумулюючої форсунки базується на взаємодії тиску палива і керуючих сигналів:

Паливо подається до акумулюючої камери, де підтримується високий тиск (до 2500–3000 бар) завдяки насосу високого тиску.

При отриманні сигналу від електронного блоку управління двигуном клапан відкривається, і паливо подається до розпилювача.

Після завершення впорскування клапан закривається, а тиск у камері відновлюється для наступного циклу.

3. Переваги акумулюючих форсунок

Високий тиск впорскування: Забезпечує тонкодисперсне розпилення палива, що сприяє його рівномірному згорянню.

Точність дозування: Електронне керування дозволяє адаптувати кількість палива до режиму роботи двигуна.

Багатофазне впорскування: Форсунки можуть виконувати кілька впорскувань за один цикл, що зменшує шум і вібрації, а також покращує ефективність згоряння.

Зниження шкідливих викидів: Оптиміальне дозування і якісне розпилення сприяють зниженню рівня NOx, твердих часток і CO₂.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Універсальність: Можливість використання в різних типах двигунів і адаптації до альтернативних видів палива.

4. Застосування

Акумулюючі форсунки використовуються в:

Легкових автомобілях: Забезпечують високу паливну економічність і низькі викиди.

Вантажівках і автобусах: Дозволяють підтримувати потужність і відповідати екологічним стандартам.

Сільськогосподарській і будівельній техніці: Покращують продуктивність і знижують експлуатаційні витрати.

Суднових і залізничних дизелях: Забезпечують надійність і ефективність у важких умовах.

5. Перспективи розвитку

Розвиток акумулюючих форсунок спрямований на:

Підвищення робочого тиску впорскування (до 4000 бар і більше).

Застосування інноваційних матеріалів для підвищення зносостійкості та зменшення ваги.

Інтеграцію з системами штучного інтелекту для оптимізації процесу впорскування в реальному часі.

Адаптацію до роботи на біопаливі, синтетичних паливах та водневих сумішах.

Акумулюючі форсунки є невід'ємною частиною сучасних двигунів, що відповідають вимогам до екологічності, економічності та ефективності. Їх удосконалення відкриває нові можливості для підвищення продуктивності двигунів і зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище.

Форсунки з системою автоматичного регулювання тиску відкриття голки

Форсунки з системою автоматичного регулювання тиску відкриття голки є інноваційним типом паливної апаратури, що забезпечує точність і

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

адаптивність впорскування палива залежно від режиму роботи двигуна. Така система дозволяє автоматично змінювати тиск, необхідний для відкриття голки, що сприяє оптимізації процесу згоряння, підвищенню ефективності роботи двигуна та зниженню рівня шкідливих викидів.

1. Конструктивні особливості

Основні елементи форсунок із системою автоматичного регулювання тиску відкриття голки:

Голка з розпилювачем: Запірний елемент, який відкривається при досягненні потрібного тиску палива.

Камера управління: Простір, у якому тиск палива впливає на голку.

Регулювальний механізм: Включає в себе пружину зі змінною жорсткістю або гідравлічну систему, яка автоматично змінює силу, що протидіє відкриттю голки.

Електронний блок управління (ECU): Контролює параметри роботи форсунок, коригуючи тиск відповідно до режиму двигуна.

Корпус форсунки: Захищає внутрішні компоненти та забезпечує герметичність системи.

2. Принцип роботи

Форсунок з автоматичним регулюванням тиску відкриття голки працюють за таким алгоритмом:

Низькі навантаження: При малих обертах двигуна тиск відкриття голки знижується, що забезпечує раннє впорскування невеликої кількості палива. Це сприяє зменшенню шуму, вібрацій і викидів.

Високі навантаження: У режимі підвищених обертів або великого навантаження тиск відкриття голки збільшується, що дозволяє впорскувати паливо під вищим тиском для забезпечення ефективного згоряння.

Динамічне регулювання: Електронний блок управління аналізує параметри роботи двигуна (тиск у камері згоряння, температуру, оберти) і коригує тиск відкриття голки в реальному часі.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Переваги системи

Оптимізація процесу згоряння: Регулювання тиску відкриття голки дозволяє забезпечити найкращі умови для згоряння палива в різних режимах роботи.

Зниження викидів: Система сприяє зменшенню викидів NOx, CO і твердих часток завдяки точному дозуванню палива.

Економія палива: Адаптивне впорскування дозволяє мінімізувати витрату палива без зниження потужності двигуна.

Менше шуму та вібрацій: Завдяки зменшенню тиску відкриття на низьких обертах двигун працює плавніше.

Довговічність: Зменшення пікових навантажень на компоненти форсунки продовжує їх термін служби.

4. Застосування

Форсунки з системою автоматичного регулювання тиску відкриття голки застосовуються в:

Дизельних і бензинових двигунах легкових автомобілів.

Вантажівках і автобусах, де важливі економічність і надійність.

Промислових і сільськогосподарських двигунах, які працюють у змінних умовах.

Суднових і залізничних дизелях, що потребують адаптивності до великих навантажень.

5. Перспективи розвитку

Подальший розвиток таких форсунок спрямований на:

Збільшення точності управління: Інтеграція з передовими електронними системами для аналізу великої кількості параметрів у реальному часі.

Розширення діапазону тисків: Розробка конструкцій, здатних працювати при ще вищих тисках.

Адаптація до альтернативних видів палива: Системи, що дозволяють використовувати біопаливо, синтетичні палива та водень.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зменшення ваги і розмірів: Оптимізація конструкції для використання в компактних двигунах.

Форсунки з системою автоматичного регулювання тиску відкриття голки є перспективним напрямом розвитку паливних систем, який сприяє підвищенню ефективності двигунів, зниженню їхнього екологічного впливу та покращенню експлуатаційних характеристик.

Електрогідравлічна форсунка

Електрогідравлічна форсунка є сучасним типом паливної апаратури, що поєднує в собі переваги електронного та гідравлічного управління. Ця технологія забезпечує високу точність подачі палива, адаптивність до різних режимів роботи двигуна та відповідність сучасним екологічним стандартам. Електрогідравлічні форсунки широко застосовуються у дизельних двигунах із системою Common Rail та інших сучасних системах упорскування.

1. Конструкція електрогідравлічної форсунки

Основні елементи електрогідравлічної форсунки:

Електромагнітний або п'єзоелектричний привід: Керує відкриттям і закриттям клапана форсунки відповідно до сигналів від електронного блоку управління (ECU).

Камера управління: Секція, в якій змінюється тиск рідини, що впливає на роботу голки.

Голка з розпилювачем: Контролює подачу палива до сопла, забезпечуючи його розпилення.

Корпус: Захищає внутрішні компоненти та забезпечує герметичність системи.

Паливний канал високого тиску: Забезпечує подачу палива під тиском, що може досягати 2000–2500 бар і більше.

2. Принцип роботи

Робота електрогідравлічної форсунки базується на взаємодії електронного управління і гідравлічних механізмів:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сигнал управління: Електронний блок управління двигуном (ECU) надсилає сигнал до електромагнітного або п'єзоелектричного приводу форсунки.

Зміна тиску: Привід відкриває або закриває клапан у камері управління, змінюючи тиск на голку.

Розпилення палива: За досягнення певного тиску голка піднімається, і паливо розпилюється через сопло.

Завершення впорскування: Після припинення сигналу клапан закривається, і тиск у камері стабілізується, припиняючи подачу палива.

3. Переваги електрогідравлічних форсунок

Висока точність дозування: Завдяки електронному управлінню паливо подається у строго визначеній кількості відповідно до режиму роботи двигуна [4].

Гнучкість у впорскуванні: Форсунки можуть здійснювати багатозфазне впорскування (попереднє, основне, післявпорскування), що покращує ефективність згоряння.

Зниження викидів: Точне дозування і оптимальне розпилення сприяють зменшенню кількості шкідливих речовин у вихлопних газах (NO_x, CO, тверді частки).

Економія палива: Ефективніше згоряння палива знижує його витрату.

Універсальність: Підходять для роботи з різними типами двигунів, включаючи ті, що працюють на альтернативних видах палива.

4. Застосування

Електрогідравлічні форсунки використовуються у:

Легкових автомобілях: Забезпечують екологічність та економічність роботи двигунів.

Вантажівках і автобусах: Дозволяють підтримувати високу потужність і знижувати експлуатаційні витрати.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сільськогосподарській і будівельній техніці: Застосовуються в умовах високих навантажень.

Суднових і залізничних дизелях: Гарантують стабільність роботи у важких умовах експлуатації.

5. Перспективи розвитку

Розвиток електрогідравлічних форсунок зосереджений на:

Підвищенні робочого тиску: Збільшення тиску впорскування до 3000 бар і вище для покращення розпилення.

Інтеграції штучного інтелекту: Використання алгоритмів машинного навчання для оптимізації роботи форсунок у реальному часі.

Адаптації до альтернативних палив: Розробка систем, здатних працювати на біопаливі, синтетичних паливах або водні.

Зменшенні габаритів і маси: Оптимізація конструкції для використання в компактних двигунах.

Електрогідравлічна форсунка є одним із ключових компонентів сучасних систем упорскування палива. Вона забезпечує точність, надійність і адаптивність, що відповідає сучасним екологічним стандартам і вимогам до ефективності двигунів. Її розвиток відкриває нові можливості для подальшого вдосконалення двигунів внутрішнього згоряння.

Електронне управління уприскуванням з гідропідсилювачем

Електронне управління уприскуванням із гідропідсилювачем є сучасною технологією, яка поєднує електронне управління і гідравлічну підтримку для забезпечення точності та адаптивності впорскування палива у двигунах внутрішнього згоряння. Ця система широко застосовується в сучасних дизельних і бензинових двигунах, де важливими є висока ефективність, надійність і відповідність екологічним стандартам.

1. Суть технології

Система електронного управління з гідропідсилювачем дозволяє точно регулювати параметри впорскування палива (час, тривалість, об'єм і тиск)

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

залежно від умов роботи двигуна. Гідропідсилювач використовується для створення додаткового тиску, який необхідний для ефективної роботи форсунок, особливо при високих обертах або великих навантаженнях.

2. Компоненти системи

Основні елементи системи електронного управління впорскуванням з гідропідсилювачем:

Електронний блок управління (ECU): Аналізує параметри роботи двигуна (оберти, температуру, навантаження) і регулює впорскування палива.

Форсунки з гідропідсилювачем: Форсунки, обладнані гідравлічним підсилювачем, який збільшує тиск впорскування.

Гідравлічний контур: Включає насоси високого тиску, які забезпечують роботу гідропідсилювача.

Сенсори: Вимірюють параметри роботи двигуна (тиск, температура, кількість впорскуваного палива).

Контрольний клапан: Регулює подачу палива та гідравлічної рідини до форсунок.

3. Принцип роботи

Робота системи базується на електронному контролі та гідравлічному підсиленні:

Збір даних: Сенсори передають інформацію про параметри роботи двигуна в електронний блок управління (ECU).

Обробка сигналів: ECU розраховує оптимальні параметри впорскування палива (момент, об'єм і тривалість) залежно від навантаження і режиму роботи двигуна.

Гідравлічне підсилення: ECU керує клапанами, які регулюють тиск у гідравлічному контурі. Гідропідсилювач збільшує тиск впорскування, забезпечуючи якісне розпилення палива.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Впорскування палива: Форсунки відкриваються під впливом керуючих сигналів і тиску, створеного гідропідсилювачем, забезпечуючи точне дозування палива [5].

4. Переваги системи

Висока точність впорскування: Завдяки електронному контролю паливо подається у строго визначений момент і в необхідній кількості.

Оптимальне розпилення: Гідропідсилювач забезпечує високий тиск впорскування, сприяючи дрібнодисперсному розпиленню палива.

Економія палива: Ефективне згоряння палива дозволяє зменшити його витрати.

Зниження шкідливих викидів: Точне дозування і якісне згоряння сприяють зменшенню викидів NOx, CO та твердих часток.

Адаптивність: Система динамічно адаптується до змін у роботі двигуна, забезпечуючи оптимальні характеристики навіть за високих обертів або великих навантажень.

5. Застосування

Система електронного управління впорскуванням із гідропідсилювачем широко використовується у:

Легкових автомобілях: Для підвищення ефективності роботи двигуна і відповідності екологічним стандартам.

Вантажівках і автобусах: Забезпечує високу потужність і надійність при економному споживанні палива.

Промисловій і сільськогосподарській техніці: Для роботи в умовах високих навантажень.

Суднових і залізничних двигунах: Гарантує стабільну роботу у важких умовах.

6. Перспективи розвитку

Подальший розвиток систем електронного управління з гідропідсилювачем спрямований на:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Збільшення робочого тиску впорскування: До 3000 бар і більше для покращення розпилення.

Інтеграцію з інтелектуальними системами: Використання штучного інтелекту для аналізу даних у реальному часі.

Зменшення енергоспоживання: Оптимізація конструкції для зниження витрат енергії на роботу гідропідсилювача.

Адаптацію до альтернативних палив: Системи, здатні працювати на біопаливі, синтетичних паливах і водневих сумішах.

Електронне управління уприскуванням із гідропідсилювачем є одним із найбільш ефективних рішень для сучасних двигунів. Воно поєднує високу точність, адаптивність і ефективність, сприяючи економії палива, зниженню викидів і підвищенню надійності двигуна в будь-яких умовах експлуатації.

Форсунки з гідравлічним зануренням голки

Форсунки з гідравлічним зануренням голки є сучасним типом паливної апаратури, що використовується для забезпечення точного дозування та якісного розпилення палива у двигунах внутрішнього згоряння. Їх основною особливістю є використання гідравлічного тиску для управління положенням голки, що дозволяє оптимізувати процес впорскування та покращити ефективність роботи двигуна.

1. Особливості конструкції

Форсунки з гідравлічним зануренням голки мають специфічну конструкцію, що забезпечує їхню точність і надійність. Основні компоненти:

Голка форсунки: Основний запірний елемент, який переміщується під впливом гідравлічного тиску.

Камера управління: Простір, заповнений паливом під тиском, який контролює положення голки.

Гідравлічна система: Канали для подачі палива, що створюють тиск у камері управління.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Пружина: Забезпечує повернення голки у закрите положення після зниження тиску.

Сопло: Виконує функцію розпилення палива у камері згоряння.

Корпус: Міцна конструкція, що забезпечує герметичність і захист внутрішніх компонентів.

2. Принцип роботи

Робота форсунки з гідравлічним зануренням голки базується на зміні гідравлічного тиску:

Закритий стан: У камері управління підтримується високий тиск, який притискає голку до сідла, запобігаючи витоку палива.

Відкритий стан: При подачі сигналу від системи управління тиск у камері зменшується, і під впливом тиску палива голка піднімається, відкриваючи доступ до сопла.

Завершення впорскування: Тиск у камері управління підвищується, пружина повертає голку у вихідне положення, і подача палива припиняється.

3. Переваги форсунок з гідравлічним зануренням голки

Точність дозування: Гідравлічне управління забезпечує високий рівень точності в дозуванні палива.

Рівномірне розпилення: Гідравлічний тиск створює оптимальні умови для дрібнодисперсного розпилення палива.

Зниження викидів: Покращене згоряння палива сприяє зменшенню кількості шкідливих речовин у вихлопних газах.

Економія палива: Оптимальне використання палива зменшує його витрати.

Надійність: Простота конструкції та мінімізація механічних з'єднань підвищують довговічність форсунок.

4. Застосування

Форсунки з гідравлічним зануренням голки застосовуються у різних типах двигунів:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Легкові автомобілі: Покращують економічність і екологічність двигунів.

Вантажівки і автобуси: Забезпечують стабільну роботу в умовах високих навантажень.

Промислова техніка: Використовуються у дизельних двигунах промислового обладнання.

Сільськогосподарські машини: Забезпечують надійність у складних умовах експлуатації.

Суднові і залізничні двигуни: Сприяють ефективній роботі в умовах високих навантажень.

5. Перспективи розвитку

Розвиток форсунок із гідравлічним зануренням голки орієнтований на:

Збільшення робочого тиску: Досягнення тиску до 3000 бар і більше для покращення розпилення.

Застосування інноваційних матеріалів: Використання жароміцних і зносостійких сплавів для підвищення довговічності.

Інтеграція з електронними системами: Автоматизація управління впорскуванням для досягнення максимальної ефективності.

Адаптація до альтернативних видів палива: Можливість роботи на біопаливі, синтетичних паливах або водневих сумішах [6].

Таким чином, в результаті зробленого аналізу сучасних конструкцій форсунок визначено, що для двигуна ABC DVZ найефективнішою буде використання гідрозапорних форсунок, які характеризуються високою надійністю і стабільністю роботи, підвищеним строком служби розпилювачів та часом між профілактичним обслуговуванням, зменшеною витратою розпилювачів та затратами, пов'язаними з перевіркою та розборкою форсунок.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДВИГУНА ABC DVZ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ФОРСУНОК З ГІДРАВЛІЧНИМ ЗАПИРАННЯМ

Розрахунок робочого циклу двигуна ABC DVZ

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння суттєво відрізняється від ідеального циклу. У розрахунковому циклі змінюється кількість робочого тіла, його склад і фізичні властивості. Через кінцеву швидкість згоряння і дисоціацію продуктів згоряння хімічна енергія палива виділяється поступово, а не миттєво. Під час розширення відбувається догоряння палива та відновлення дисоційованих газів з виділенням тепла. Робоче тіло в розрахунковому циклі не можна вважати таким, що має постійні теплоємності, оскільки температура та склад газів у циліндрі суттєво змінюються. Також у розрахунковому циклі враховуються теплові та аеродинамічні втрати.

Окрім розрахункового, слід також враховувати дійсний цикл, який реалізується в працюючому двигуні, але наразі не може бути точно описаний через недосконалість методів розрахунку і складність протікаючих процесів. Чим досконалішою є методика теплового розрахунку, тим точніше розрахунковий цикл наближається до дійсного.

У цій роботі застосовується класична методика теплового розрахунку, розроблена В. І. Гріневецьким та вдосконалена Є. К. Мазінгом [7]. Цей метод базується на загальновідомих принципах термодинаміки і термохімії, охоплює теплові явища в робочому циліндрі та є інженерним аналітичним дослідженням.

На основі цього методу можна:

- кількісно оцінювати теплові явища як під час проєктування, так і при аналізі побудованого двигуна;

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- отримати уявлення про основні параметри циклу та чинники, які впливають на процеси робочого циклу;
- визначати розрахункові параметри стану робочого тіла в характерних точках розрахункового циклу, а також ефективні показники, що характеризують роботу двигуна загалом.

Метод забезпечує достатню для практичного використання точність розрахунків, попри те, що реальний цикл двигуна описується спрощеними термодинамічними процесами, а для врахування реальних умов протікання процесів вводяться емпіричні коефіцієнти.

Вибір й обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 298$ К (стандартні умови застосування).

Тиск навколишнього повітря p_0 . Варто приймати $p_0 = 0,1013$ МПа (стандартні умови застосування).

Ступінь стиску ε . При призначенні ступеня стиску варто враховувати розміри циліндра і спосіб сумішоутворення. Приймаємо $\varepsilon = 15$.

Коефіцієнт надлишку повітря α . Цей коефіцієнт також залежить від розмірів циліндра і способу сумішоутворення. Цей параметр при підвищенні зменшує питому витрату пального, водночас зменшуючи середній ефективний тиск та потужність. Відповідно його слід підбирати з кількох спроб розрахунку з урахуванням одночасного досягнення заданої потужності і найкращої можливої економічності. Вибір остаточного значення α робиться з вибором оптимального значення II_k . З урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha = 1,9$.

Показник адиабати повітря $k_g = 1,4$.

Механічний ККД турбіни $\eta_{tm} = 0,95$.

Адіабатний ККД турбіни $\eta_{тад} = 0,76$.

Коефіцієнт залишкових газів γ_r . Вплив на значення цього коефіцієнту завдають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. Приймаємо $\gamma_r = 0,025$.

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначати після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектного.

Приймаємо $\xi_z = 0,92$; $\xi_b = 0,95$.

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Приймаємо $\lambda = 1,17$.

Підігрів заряду від стінок циліндру ΔT_a . Ця величина складає: (5 – 45) К – для ДВЗ з наддувом та (10 – 20) К – для ДВЗ без наддуву.

Приймаємо $\Delta T_a = 20$ К.

Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають увагу на тип двигуна та особливості системи газообміну.

Приймаємо $\zeta = 0,98$.

Механічний ККД двигуна η_m .

Приймаємо $\eta_m = 0,92$.

Зменшення тиску у повітроохолоджувачі ΔP_{ox} . Повітроохолоджувач являє собою опір на шляху повітря, тому у ньому відбувається зменшення тиску повітря. У числовому виразі $\Delta P_{ox} = 0,005$ МПа.

Температура залишкових газів T_x .

Приймаємо $T_x = 850$ К [6].

Хімічний склад палива. Розрахунок проводиться на важке паливо середнього складу [8]: С = 0,87 кг – кількість вуглецю; Н = 0,126 кг – кількість водню; S = 0 кг – кількість сірки; О = 0,004 кг – кількість кисню [6].

Коефіцієнт тактності Z – являє собою кількість робочих ходів поршня, що припадають на один оберт колінчастого вала, тоді для 4-тактних двигунів $Z = 0,5$.

Нижча теплота згорання палива Q_u . Приймаємо $Q_u = 42700$ (кДж/кг).

Ступінь підвищення тиску в компресорі P_k . Для даного типу компресора приймаємо $P_k = 2,65$.

Розрахунок робочого циклу

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 298 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,265}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,73} \right] = 429,219$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 429,219 - 0,86 \times (429,219 - 298) = 316,371$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{316,371 + 20 + 0,025 \times 850}{1 + 0,025} = 348,898$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,265 - 0,005 = 0,26$$

$$P_a = 0,98 \times P_s = 0,98 \times 0,26 = 0,255$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,255}{0,26} \times \frac{316,371}{348,898} \times \frac{1}{1 + 0,025} \times (1 - 0) = 0,929$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,362$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,255 \times 15^{1,362} = 10,174$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l - 1} = 348,898 \times 15^{1,362 - 1} = 928,737$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1,9}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,94$$

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 0,94} = 1,0337$$

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0337 + 0,025}{1 + 0,025} = 1,0328$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,92}{0,95} = 0,968$$

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0337 - 1}{1 + 0,025} \right) \times 0,968 = 1,032$$

$$\frac{\xi_z \times Q_n}{\alpha \times L_0} + [c'_v + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times (c''_v + 8,314 \times \lambda)] \times T_c = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times c''_{pz} \times T_z$$

$$T_z = \frac{C}{A \times T_z + B}$$

$$A = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times b_z$$

$$B = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times (a_{vz} + 8,314)$$

$$C = \frac{\xi_z \times Q_n}{\alpha \times L_0} + [(19,26 + 0,0025 \times T_c) + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times ((20,47 + 0,0036 \times T_c) + 8,314 \times \lambda)] \times T_c$$

$$T_z = 1975$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,17 \times 10,174 = 11,903$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,032}{1,17} \times \frac{1975}{928,737} = 1,876$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,876} = 7,998$$

$$n_2 = 1,269$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1975 \times \frac{1}{7,998^{1,269-1}} = 1129,545$$

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{11,903}{7,998^{1,269}} = 0,851$$

Визначення індикаторних показників

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{10,174}{15 - 1} \times \left[1,17 \times (1,876 - 1) + \frac{1,17 \times 1,876}{1,269 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{7,998^{1,269 - 1}} \right) - \frac{1}{1,362 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,362 - 1}} \right) \right] = 2,029$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,029 \times 0,98 \times (1 - 0) = 1,989$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,26 \times 0,929}{1,9 \times 0,495 \times 316,371 \times 1,989} = 0,177$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,177 \times 42700} = 0,477$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,989 \times 0,92 = 1,83$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,477 \times 0,92 = 0,439$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,177}{0,92} = 0,1921$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,22^2 \times 0,24 \times 0,5 \times 1,83 \times 900 \times 6 = 751,8$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{751,8 - 750}{751,8} \times 100\% = 0,236\%$$

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

Універсальна газова стала $R = 287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$

$$G = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times S_c \times \left(\frac{P_s \times 10^6}{R \times T_s} \right) \times \eta_i \times i \times z \times \left(\frac{n}{60} \right) \times \phi_a =$$

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,22^2}{4} \right) \times 0,24 \times \left(\frac{0,26 \times 10^6}{287 \times 316,371} \right) \times 0,929 \times 6 \times 0,5 \times \left(\frac{900}{60} \right) \times 1 = 1,092$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 1,092 + 0,1921 \times \frac{751,8}{3600} = 1,132$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,841 \times 0,265 = 0,223$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 1129,545 \times \left(\frac{0,223}{0,851} \right)^{\frac{1,269-1}{1,269}} = 850,395$$

$$M_s = \left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{H}{2} \right) + [0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0] + (0,79 \times \alpha \times L_0) =$$

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (1,9 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 1,9 \times 0,495) = 0,972$$

$$R_t = \frac{1}{\frac{C}{12 \times M_s \times 189} + \frac{H}{2 \times M_s \times 461,6} + \frac{0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0}{M_s \times 259,8} + \frac{0,79 \times \alpha \times L_0}{M_s \times 296,8}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 0,972 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 0,972 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (1,9 - 1) \times 0,495}{0,972 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 1,9 \times 0,495}{0,972 \times 296,8}} = 287,288$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 850,395) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 850,395} = 1,369$$

$$\Pi_k = \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t-1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_{\epsilon}}{k_{\epsilon} - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} =$$

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Архив
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,369}{1,369-1} \right) \times 287,288 \times 850,395 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,223}{0,101} \right)^{\frac{1,369-1}{1,369}}} \times 0,95 \times 0,76 \times 1,132 \right]}{1,092 \times 287 \times 298 \times \left(\frac{1,4}{1,4-1} \right) \times \frac{1}{0,73}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 2,65$$

$$P_{kd} = P_{\kappa} \times P_0 = 2,65 \times 0,101 = 0,267$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,267 - 0,265}{0,265} = 0,075\%$$

Точність розрахунку задовільна, різниця між заданим і отриманим в результаті розрахунку тиском надуву не перевищує 0,5%.

Розробка паливної системи з гідравлічним запиранням форсунок

Техніко-економічні показники дизеля значною мірою залежать від роботи паливної системи. Надійність паливної апаратури та стабільність параметрів подачі палива протягом тривалої експлуатації є ключовими вимогами до судових дизелів [8].

Для впорскування палива зазвичай використовуються форсунки закритого типу з пружинним замиканням. Найбільш уразливим компонентом цих форсунок є розпилювач, який визначає терміни обслуговування. Основні дефекти розпилювача включають закоксовування розпилюючих отворів, втрату рухливості голки, порушення герметичності направляючої голки та запірного конуса. У процесі експлуатації розпилювач часто потребує заміни.

Одним із способів підвищення надійності форсунок є застосування принципу гідравлічного замикання. Головною конструктивною відмінністю таких форсунок від традиційних є відсутність деталей механізму замикання; навантаження на голку розпилювача забезпечується тиском рідини, що

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

заповнює простір над голкою. Це зменшує рухому масу, усуває нормальні сили, що викликаються перекосами голки під дією штока, та інші негативні явища, що значно збільшує ресурс розпилювача. Використання дизельного палива як замикаючої рідини, на якому працює двигун, значно спрощує систему гідравлічного замикання.

Перші випробування проводилися із застосуванням суміші оливи та дизельного палива як замикаючої рідини. Проте цей досвід виявився невдалим через зависання голок розпилювачів через відкладення бруду в канавках направляючої голки, посилене утворення нагару на поршнях та значну витрату суміші (1 кг/год). Кращі результати було отримано при використанні дизельного палива як замикаючої рідини. Це дозволило значно спростити систему замикання, усунути додаткові пристрої, які знижують надійність та ускладнюють обслуговування, зокрема цистерни та витратні баки гідросуміші, фільтри, трубопроводи за межами дизеля, а також системи поповнення та контролю рівня рідини в баках.

У цій роботі пропонується модернізація паливної системи шляхом впровадження форсунок із гідравлічним замиканням (рис. 3.1). Паливо із витратної цистерни підкачується насосом 1 через фільтр 2 тонкого очищення і потрапляє до паливного насоса високого тиску 5 та насоса 8 системи гідрозапору.

Паливний насос високого тиску подає паливо через трубопроводи до форсунок 5, які впорскують його в циліндри дизеля. Насос гідрозапору подає паливо до редукційного клапана 7, налаштованого на тиск 15 МПа, який відповідає умовам підйому голки форсунки при тиску 21 МПа. Частина палива повертається клапаном у всмоктувальну порожнину насоса, а частина надходить у порожнину над голкою форсунки, забезпечуючи її замикання.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

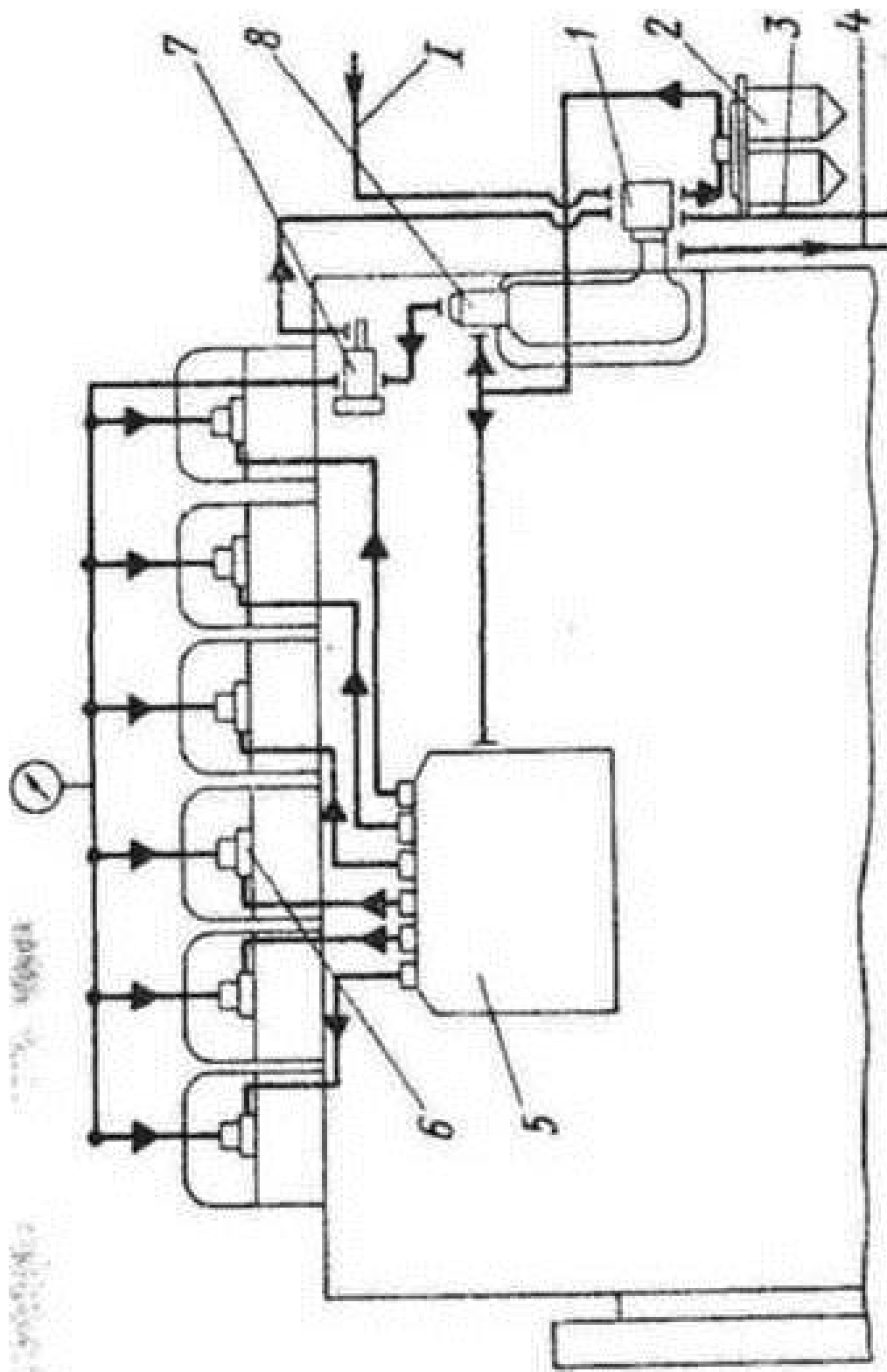


Рисунок 3.1 – Паливна система з гідралічним забором форсунок:

1 – паливопідкачуючий насос; 2 – фільтр; 3 – трубопровід підключення резервного паливопідкачуючого насосу;
4 – зливний трубопровід просочившогося палива; 5 – насос високого тиску; 6 – форсунка;

7 – редукційний клапан; 8 – паливо з видаткової цистерни; 8 – насос гідрозапора

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ

Аркуш

45

Гідрозапорний насос є серійним пристроєм золотникового типу з плунжером діаметром 8,5 мм і ходом 10 мм. Максимальна подача насоса становить 3,5 кг/год, а робоча продуктивність налаштовується в межах 2,2...2,6 кг/год.

Витрата запираючого палива визначається величиною діаметральних зазорів у розпилювачах і герметичністю редукційного клапана.

Редукційний клапан (рис. 3.2) складається з таких елементів: корпусу (1), стакана (2), регулювального гвинта (3), пружини (4), клапана (6) і тарілки пружини (5). Налаштування тиску в системі запирання здійснюється за допомогою регулювального гвинта (3), який через пружину і тарілку передає зусилля на клапан.

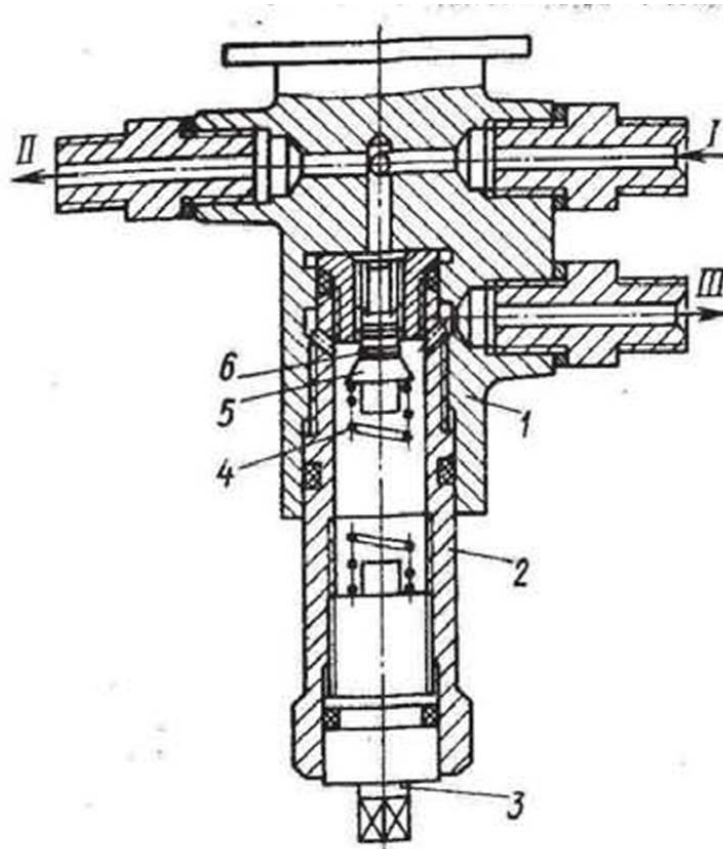


Рисунок 3.2 – Редукційний клапан:

1 – корпус; 2 – стакан; 3 – регулювальний гвинт; 4 – пружина; 5 – тарілка;
6 – клапан; I – паливо від насоса гідрозапору; II - паливо в систему гідрозапору; III - перепуск в паливопідкачуючий насос

Клапан діаметром 8 мм використовується з паливного насоса НК-6. Він забезпечує плавне регулювання тиску в системі запирання в діапазоні від 0 до 24 МПа. Тарілка пружини, встановлена на клапан, запобігає його перекосу під час регулювання.

Форсунка з гідравлічним запиранням (рис. 3.3), яка використовується як прототип, відрізняється від форсунки з пружинним замиканням відсутністю рухомих деталей механізму замикання (штовхача, пружини, тарілки пружини, регулювального гвинта). Притиснення голки до сідла розпилювача забезпечується тиском палива, яке заповнює порожнину над голкою. Паливо від насоса високого тиску через штуцер 1 зі щілинним фільтром надходить по каналу до розпилювача 2. Запірне паливо з насоса гідрозапора подається в замикальну порожнину через штуцер 3, обладнаний фільтруючими фетровими елементами 4. Голка піднімається, коли тиск палива на диференціальну площадку голки, утворену різницею діаметрів направляючої та запірної частин, досягає значення, достатнього для подолання зусилля, створеного тиском палива в порожнині над голкою розпилювача.

Для забезпечення різкішого відкриття голки в момент посадки контактна площа голки з ущільнювальним торцем форсунки зменшена за рахунок зняття фаски на торці; ширина контактної паски становить 0,5 мм. Досвід показує, що звичайні щілинні фільтри високого тиску з фільтрацією близько 60 мкм не гарантують захисту розпилювача від проникнення механічних частинок у зазор між голкою і корпусом. Тому використовується фільтруючий елемент із фетру з тонкістю фільтрації 15–20 мкм.

Очищення фільтра здійснюється шляхом протivotочної прокачки палива. Для цього на місце розпилювача встановлюється спеціальна проставка, а прокачування форсунки проводиться через штуцер подачі палива протягом 5 хвилин. За умови чистої паливної системи профілактичне обслуговування форсунок рекомендується виконувати після 1000 годин роботи.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

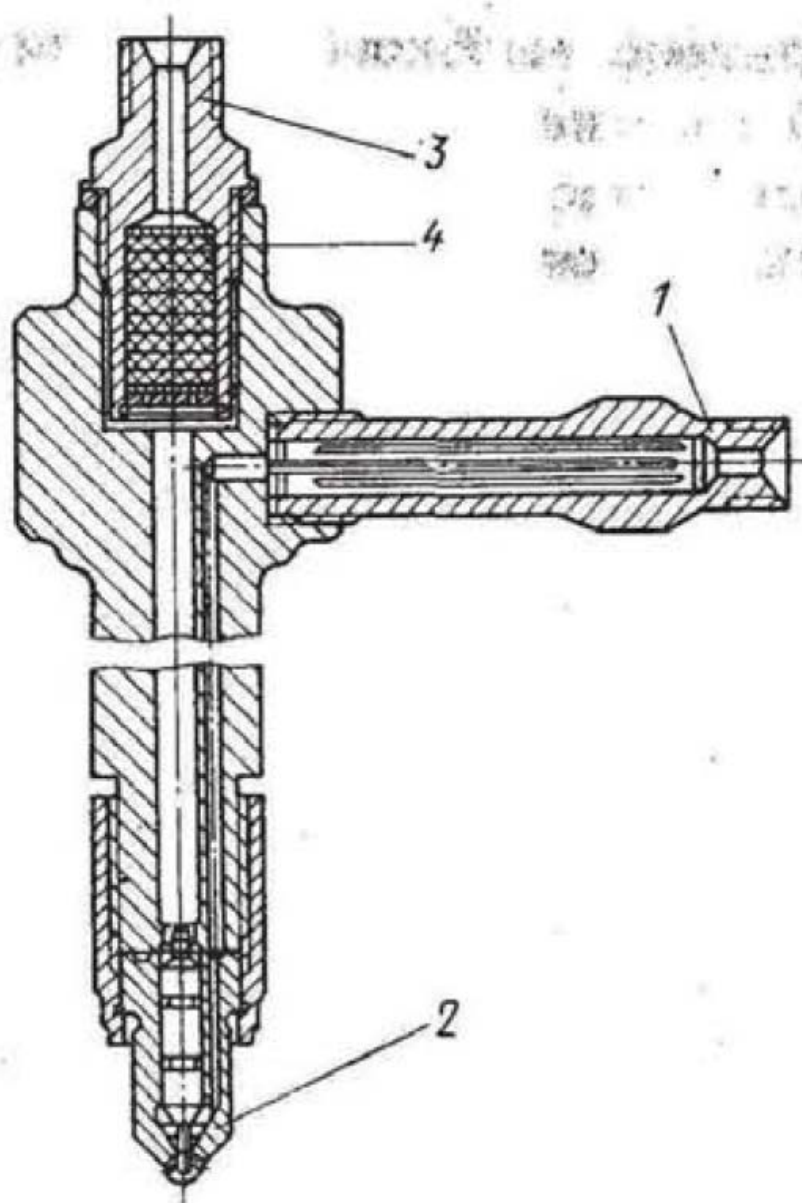


Рисунок 3.3 – Форсунка з гідравлічним запиранням (прототип):

1 – штуцер підводу робочого палива; 2 – розпилювач; 3 – штуцер підводу запорного палива; 4 – фільтр

Прокачування (опресування) форсунки під час перевірки здійснюється за допомогою ручного насоса із застосуванням додаткового пристосування.

У гідрозапорних форсунках, які широко використовуються, не регламентується стабільність тиску гідрозапору ($P_{гз}$). Залишковий тиск ($P_{зал}$) у послідовних циклах впорскування може змінюватися внаслідок залежності витратних характеристик насоса високого тиску та форсунки від режиму

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ

Аркуш

48

роботи паливної системи. Такі перехідні процеси супроводжуються періодичними коливаннями залишкового тиску протягом 3...10 циклів впорскування. Під час роботи дизеля такі збурення виникають постійно, що через взаємодію з робочими процесами у системі колінчастого валу призводить до субгармонійних коливань крутного моменту. Це, своєю чергою, підвищує нестабільність частоти обертання, яка має обмежуватися допустимими значеннями.

Найближчим аналогом запропонованої форсунки є гідрозапорна дизельна форсунка виробництва заводу "Дальдизель". Ця форсунка має конструктивні особливості, але також зберігає низку відомих недоліків, які проявляються під час послідовних циклів впорскування і на перехідних режимах роботи.

Голка розпилювача обладнана лабіринтовими канавками на бічній направляючій поверхні для ущільнення. Закрита порожнина в корпусі форсунки не містить жодних додаткових деталей і заповнюється рідиною, яка забезпечує замикання голки. Як запірну рідину в двигуні використовується дизельне паливо. Воно подається в закриту порожнину через штуцер із повстятим фільтром, під яким розташована сітка. У системі гідрозапору підтримується тиск 15 МПа.

Паливо, яке подається на впорскування, надходить під голку через канали корпусу та розпилювача. Коли сила тиску палива на диференціальну площадку голки перевищує силу тиску запірної рідини на її верхній торець, голка піднімається, і починається процес впорскування. Після завершення впорскування, коли тиск під голкою знижується, запірна рідина під своїм тиском повертає голку на сідло.

Зазор між голкою і спрямовуючою частиною розпилювача в гідрозапорній форсунці може бути більшим, ніж у форсунках із пружинним замиканням, і досягає 2–3 мкм. Запірна рідина, що проникає в цей зазор,

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

забезпечує хороше змащення голки, зменшуючи знос прецизійної пари і знижуючи ризик зависання голки.

Однак надто великий зазор може порушувати правильне з'єднання деталей розпилювача, що спричиняє перекоси, підвищений знос голки та направляючої поверхні корпусу. На часткових режимах роботи, при неповному підйомі голки, це також може вплинути на стабільність і рівномірність впорскування.

У конструкціях подібних форсунок залишковий тиск у послідовних циклах може змінюватися навіть при стабільному тиску гідрозапору через залежність витратних характеристик насоса високого тиску і форсунки. Відомі форсунки, включаючи прийняту як аналог, не забезпечують стабільності залишкового тиску в послідовних циклах впорскування під час роботи дизеля на часткових режимах або при зниженій частоті обертання.

Це призводить до підвищеної нерівномірності крутного моменту, що, у свою чергу, спричиняє перевищення допустимого рівня нестабільності частоти обертання.

Технічним завданням є забезпечення стабільності залишкового тиску в послідовних циклах впорскування без втрати працездатності розпилювача, а також покращення швидкісних характеристик паливної апаратури.

Задачу вирішено шляхом розробки гідрозапорної дизельної форсунки зі стабілізованим залишковим тиском. Вона включає корпус із каналами для підведення палива і сопловими отворами, голку з диференціальною площадкою, а також виточення прямокутної або сегментної форми, виконане на бічній направляючій поверхні голки паралельно її осі.

Зазначені особливості конструкції дозволяють стабілізувати залишковий тиск у форсунці за рахунок перетікання палива через виточку в голці з закритої порожнини в корпусі форсунки до порожнини під диференціальною площадкою голки розпилювача в інтервалах між впорскуваннями. У зворотному напрямку, під час впорскування, перетікає лише незначна

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

кількість палива, а підтримання тиску в системі гідрозапору забезпечується регулятором тиску.

Розмір прохідного перетину виточки розраховується таким чином, щоб за проміжок часу між впорскуваннями на номінальному режимі роботи в систему високого тиску (СВТ), утворену об'ємом трубопроводу високого тиску та пов'язаними об'ємами в штуцері насоса і під диференціальною площадкою голки, подавалося достатньо палива для заповнення СВТ. Це забезпечує підвищення залишкового тиску на 15–20%, але не більше ніж до 80...85% від тиску гідрозапору.

На інших режимах експлуатації, включаючи режими з малими подачами та низькими частотами обертання, коли в СВТ можливі розриви суцільності, також відбувається підвищення залишкового тиску порівняно з традиційними системами гідрозапору. Це покращує адаптивність дизеля під час роботи в умовах змін швидкісної характеристики.

Розрахунок оптимального прохідного перетину виточки доцільно виконувати, орієнтуючись на номінальний швидкісний режим роботи.

Гідрозапорна дизельна форсунка (рис. 3.4) складається з корпусу розпилювача 1 і запірної голки 2, на бічній поверхні якої паралельно осі виконане прямокутне або сегментне виточення 3.

Паливо, що впорскується, подається під голку 2 через канали в корпусі розпилювача 1. Коли сила тиску палива на диференціальну площадку голки 2 перевищує силу тиску запірної рідини на її верхній торець, голка піднімається, і починається впорскування палива. Під час впорскування через виточення 3 у голці 2 невелика кількість палива перетікає з порожнини під голкою до закритої порожнини, оскільки тривалість подачі палива в системі (наприклад, у чотиритактному двигуні) становить лише тисячні частки секунди.

Після завершення впорскування, коли тиск під голкою 2 знижується, під дією тиску запірної рідини голка 2 опускається на сидло. У проміжку між впорскуваннями паливо перетікає через виточення 3 у голці 2 із закритої

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

порожнини в корпусі форсунки до порожнини під диференціальною площадкою голки 2 розпилювача 1. Кількість палива, що перетікає, залежить від ступеня дроселювання виточення 3 або каналу. У результаті в системі високого тиску встановлюється новий стабільний залишковий тиск, значення якого визначається ефективним прохідним перетином виточення 3 або дроселюючого каналу.

Використання гідравлічного замикання у форсунках дозволяє підвищити надійність і стабільність роботи паливної апаратури, збільшити термін служби розпилювачів, подовжити інтервали між профілактичним обслуговуванням, а також зменшити витрати на розпилювачі та процедури перевірки й розбирання форсунок.

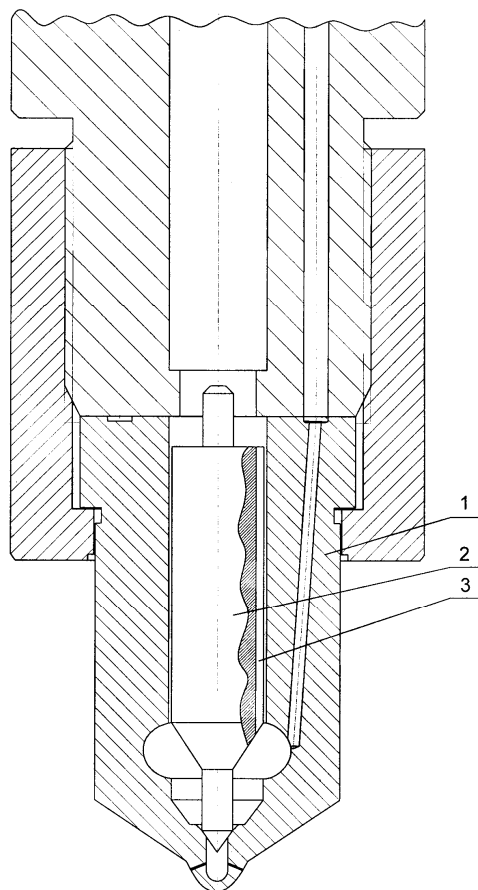


Рисунок 3.4 – Гідрозапорна дизельна форсунка з повною виточенням на бічній поверхні голки:

1 – розпилювач; 2 – запірна голка; 3 – виточення на бічній поверхні

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ДВИГУНА

У роботі модернізації піддалася паливна система двигуна, а саме, організовано можливість роботи двигуна з гідрозапорними форсунками. У результаті не змінюється швидкість ходу, витрати на паливо, а поточний ремонт, сума амортизаційних відрахувань і загальний об'єм (розмір) експлуатаційних витрат та ін. – зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

- 2 двигуни ABC DVZ загальною вартістю \$ 2,1 млн.;
- строк служби розпилювачів та час на профілактичне обслуговування форсунок.

Збільшення або зменшення величини витрат з приведених показників у тій або іншій мірі впливає на економічну ефективність судна загалом. При цьому основними енергозберігаючими чинниками виступають, скорочення витрат на технічне обслуговування.

Оптова ціна судна після його модернізації за рахунок удосконалення елементів СЕУ визначається по формулі:

$$C_n = C_b - \sum_{i=1}^m C_{bi} + \sum_{j=1}^n C_{nj},$$

де C_b , C_n – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) \$;

C_{bi} – сумарна ціна агрегатів що підлягають заміні ($C_{bi} = 6000$ \$) [16];

C_{nj} – сумарна ціна нових агрегатів та вузлів ($C_{nj} = 16000$ \$) [16];

m – кількість агрегатів СЕУ, що модернізуються (у нашому випадку $m = 12$);

n – кількість нових агрегатів СЕУ (у нашому випадку $n = 12$).

Оптова ціна базових двигунів приймається за даними заводу-будівника.
У нашому випадку $C_{\bar{o}} = 2100000\$$;

$$C_n = 3100000 - 6000 + 16000 = 2110000 \$$$

Замість визначення ціни базового і проектного варіантів двигуна по наведеній формулі, знайдемо їх різницю, оскільки лише два члени у цієї формули будуть розрізнятися і саме ця різниця складе додаткові інвестиції:

$$K_{\partial n} = \sum_{j=1}^n C_{nj} - \sum_{i=1}^m C_{\bar{o}i}.$$

$$K_{\partial n} = 16000 \times 1 - 6000 \times 1 = 10000 \$$$

Для розрахунку вкладень на модернізацію використовуємо узагальнені показники, якими являються робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу даних робіт, у залежності від їх складності, яка для України в середньому складає близько 420 грн., або 10 \$ (для закордонних виробників – від 70 до 100 \$). Додаткові інвестиції зводимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції

Вид робіт	Тривалість, людино- години	Вартість нормо- год., \$	Вартість робіт (K_B), \$
Монтаж елементів паливної системи	12	10	120
Установка форсунок	2	10	20
Випробування двигуна	12	15	180
Регулювання елементів системи	16	15	210
Всього	42	-	530

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

$$K_{\partial} = K_{\partial n} + K_{\epsilon}$$

$$K_{\partial} = 10000 + 530 = 10530 \$.$$

Витрати на амортизаційні відрахування $B_{ам}$ при порівняльній ефективності визначаються по нормах амортизації (H_A) і беруться в розмірі 20 % від величини додаткових інвестицій K_{∂} . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_{\partial}$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 10530 = 2106 \$.$$

В результаті модернізації паливної системи двигуна за рахунок використання форсунок з гідравлічним запиранням зменшуються витрати на профілактичне обслуговування форсунок та кількість розпилювачів, які потрібно замінити за час роботи двигуна у рік.

Витрати на профілактичне обслуговування форсунок визначаються по формулі, \$:

$$B_i^{no} = B^{no} \times n \times \frac{T_e}{T_i^{no}}$$

де B^{no} – вартість профілактичного обслуговування однієї форсунки (для базового та модернізованого двигуна – 100 \$);

n – загальна кількість форсунок головних двигунів (12);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, год (для базового двигуна – 3000);

T_i^{no} – час роботи двигуна між профілактичним обслуговуванням форсунок, год (для базового двигуна – 300, для модернізованого – 1000)

$$B_B^{no} = 100 \times 12 \times \frac{3000}{300} = 12000$$

$$B_M^{no} = 100 \times 12 \times \frac{3000}{1000} = 3600$$

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Витрати на заміну розпилювачів визначаються по формулі:

$$B_i^p = B^p \times n \times \frac{T_e}{T_i^p}$$

де B^p – вартість одного розпилювача форсунки (для базового та модернізованого двигуна – 200 \$);

n – загальна кількість розпилювачів форсунок головних двигунів (12);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, год (для базового двигуна – 3000);

T_i^p – строк служби розпилювачів форсунок, год (для базового двигуна – 1000, для модернізованого – 3000);

$$B_B^p = 200 \times 12 \times \frac{3000}{1000} = 7200 \text{ \$}$$

$$B_M^{no} = 200 \times 12 \times \frac{3000}{3000} = 2400 \text{ \$}$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	–	2106	2106
Витрати на профілактичне обслуговування форсунок	12000	3600	– 8400
Витрати на заміну розпилювачів	7200	2400	– 4800
Всього	19200	8106	– 11094

Загальний балансовий річний прибуток Π_6 розраховують за формулою:

$$\Pi_6 = \Delta B - E_n \times K_n$$

$$\Pi_6 = (19200 - 6000) - 0,2 \times 10530 = 11094 \text{ \$}$$

Чистий прибуток ($\Pi_ч$) визначається як різниця між балансовим прибутком (Π_6) та податком на прибуток:

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$П_ч = П_б - (0,18 \times П_б) = 0,82 \times П_б$$

$$П_ч = 0,82 \times 11094 = 9097,1 \$$$

Термін окупності додаткових інвестицій (T_{OK}) визначається за формулою:

$$T_{OK} = K_{\partial} / П_ч$$

$$T_{OK} = 10530 / 9097,1 = 1,16 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в проекті заходи дозволяють з'економити близько 9100 \$ на рік, в основному, за рахунок зменшення витрат на профілактичне обслуговування форсунок та заміну розпилювачів. Термін окупності запропонованих рішень становить 1,16 року або 423 доби.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Охорона праці на суднах є важливим аспектом забезпечення безпеки екіпажу, пасажирів і вантажу, а також ефективної експлуатації судна. Умови праці на морському і річковому транспорті мають свої особливості, зумовлені обмеженим простором, постійною вібрацією, підвищеною вологістю та впливом шкідливих факторів, таких як шум, температура, хімічні речовини і можливі аварійні ситуації [9].

1. Загальні вимоги до охорони праці

Організація робочих місць: Усі робочі зони повинні бути обладнані відповідно до технічних норм, забезпечувати зручність і безпеку роботи.

Вентиляція та освітлення: Забезпечення ефективної вентиляції для запобігання накопиченню шкідливих речовин і підтримання оптимальних умов для роботи. Освітлення має відповідати нормам і бути достатнім для виконання завдань.

Захист від небезпечних факторів: Усі системи та обладнання повинні бути ізольовані або захищені, щоб уникнути травматизму, ураження електричним струмом чи опіків.

2. Особливості праці на суднах

Робота в машинному відділенні: Підвищений рівень шуму, температура і ризик контакту з гарячими поверхнями або мастильними матеріалами. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (навушники, рукавички, захисний одяг).

Палубні роботи: Небезпека падіння за борт, пошкоджень через рухомі механізми або снаряди. Забезпечення рятувальних засобів і постійного контролю за безпекою.

Електробезпека: Суднові електросистеми повинні відповідати стандартам безпеки, а екіпаж – проходити навчання з електробезпеки.

					<i>KPM.142.6221м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Рятувальні жилети та костюми для роботи в умовах підвищеного ризику падіння у воду.

Захисні окуляри, рукавички, каски, спецодяг для роботи в небезпечних умовах.

Протишумові навушники для зниження впливу шуму в машинному відділенні.

4. Попередження аварійних ситуацій

Навчання екіпажу: Регулярне проведення тренувань з евакуації, пожежогасіння, рятувальних операцій.

Пожежна безпека: Забезпечення судна необхідними засобами пожежогасіння та протипожежними системами. Постійна перевірка їхньої справності.

Рятувальні засоби: Наявність шлюпок, рятувальних плотів, жилетів, кругів і сигналізаційних пристроїв.

Контроль небезпечних вантажів: Забезпечення відповідного маркування, зберігання та транспортування.

5. Гігієна праці та умов проживання

Організація комфортних умов проживання для екіпажу: обладнані каюти, гальюни, душові та харчоблоки.

Забезпечення питною водою та якісним харчуванням.

Регулярна санітарна обробка приміщень для запобігання розповсюдженню хвороб.

6. Контроль і нагляд

Регулярна перевірка дотримання норм охорони праці на судні.

Ведення обліку інцидентів і травм з аналізом причин та розробкою заходів для їх запобігання.

Забезпечення медичного обслуговування на борту і готовності до надання першої допомоги.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Охорона праці на суднах – це комплекс заходів, спрямованих на зниження ризиків для здоров'я і життя екіпажу, що забезпечує безперебійну і безпечну експлуатацію суден у будь-яких умовах.

Експлуатація дизельних двигунів, особливо у сфері транспорту, промисловості та енергетики, спричиняє низку негативних впливів на навколишнє середовище. Основними джерелами забруднення є продукти згоряння палива, шумове забруднення, а також викиди токсичних і парникових газів. Ці фактори вимагають особливої уваги для мінімізації їхнього впливу шляхом вдосконалення технологій і застосування екологічних стандартів.

1. Викиди відпрацьованих газів

Продукти згоряння дизельного палива є основним джерелом забруднення. До складу відпрацьованих газів входять:

Оксиди азоту (NO_x): Утворюються за високих температур і тисків у камері згоряння. Вони сприяють утворенню кислотних дощів і фотохімічного смогу.

Чадний газ (CO): Токсичний газ, який утворюється при неповному згорянні палива.

Дрібнодисперсні частинки (PM): Сажа та інші тверді частки, що негативно впливають на дихальну систему людини та навколишнє середовище.

Вуглеводні (HC): Леткі органічні сполуки, які можуть брати участь у формуванні смогу.

Діоксид вуглецю (CO₂): Основний парниковий газ, що сприяє глобальному потеплінню.

2. Шумове забруднення

Дизельні двигуни створюють високий рівень шуму через вібрацію та процеси згоряння, особливо в транспортних засобах і важкому обладнанні. Це

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

негативно впливає на людей, викликаючи стрес, порушення сну та зниження продуктивності праці.

3. Викиди паливно-мастильних матеріалів

Під час роботи дизеля можливі витoki паливно-мастильних матеріалів, які забруднюють ґрунт і воду. Це може відбуватися через:

Несправності в системах подачі палива.

Невідповідне технічне обслуговування.

Порушення правил зберігання і транспортування палива.

4. Накопичення відходів

Експлуатація дизеля також супроводжується утворенням відходів:

Відпрацьовані оливи.

Забруднені фільтри.

Технічні рідини, які вимагають утилізації або переробки.

5. Вплив на водне середовище

На судах дизельні двигуни є основним джерелом забруднення водного середовища. Витoki палива, олив та інших технічних рідин можуть потрапляти у воду через:

Аварії та несправності.

Неправильну експлуатацію обладнання.

Неочищені скиди баластних вод.

6. Шляхи мінімізації впливу

Для зменшення негативного впливу дизельних двигунів на навколишнє середовище використовуються такі підходи:

Технологічні вдосконалення: Встановлення систем селективного каталітичного відновлення (SCR), фільтрів твердих часток (DPF) та рециркуляції відпрацьованих газів (EGR).

Перехід на екологічні види палива: Використання біопалива, синтетичних палив або водневих сумішей.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Суворі екологічні стандарти: Виконання вимог стандартів викидів, таких як Євро-6 або MARPOL для морського транспорту.

Регулярне технічне обслуговування: Забезпечення належного стану двигуна для зниження викидів і витрат палива.

Енергетична ефективність: Оптимізація режимів роботи двигунів для зменшення споживання палива.

Забруднення навколишнього середовища, пов'язане з експлуатацією дизелів, є серйозною екологічною проблемою. Її вирішення потребує комплексного підходу, що включає модернізацію технологій, запровадження екологічних стандартів і вдосконалення експлуатаційних практик.

Токсичність і димність відпрацьованих газів (ВГ) є одними з ключових екологічних проблем, що виникають при експлуатації двигунів внутрішнього згоряння. Для зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище застосовуються різні технічні і технологічні рішення, спрямовані на поліпшення процесу згоряння палива, очищення відпрацьованих газів і оптимізацію роботи двигуна [10].

1. Оптимізація процесу згоряння

Покращення паливоподачі: Забезпечення точного дозування та рівномірного розпилення палива за допомогою форсунок високого тиску, системи Common Rail та багатофазного впорскування.

Рециркуляція відпрацьованих газів (EGR): Частина відпрацьованих газів повертається в камеру згоряння, що знижує температуру згоряння і зменшує викиди оксидів азоту (NO_x).

Регулювання повітряно-паливної суміші: Застосування систем електронного управління, що забезпечують оптимальний склад суміші для зменшення викидів CO, NO_x і HC.

2. Використання сучасних систем очищення відпрацьованих газів

Каталітичні нейтралізатори: Установки, що перетворюють токсичні сполуки (NO_x, CO, HC) у безпечніші речовини (N₂, CO₂, H₂O). Каталізатори

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

можуть бути окисними (для зменшення CO і HC) або відновлювальними (для NOx).

Системи селективного каталітичного відновлення (SCR): Використовують рідкий реагент (наприклад, сечовину), який у присутності каталізатора перетворює NOx на азот і воду.

Фільтри твердих часток (DPF): Уловлюють дрібнодисперсні частки (сажа) з відпрацьованих газів. Для очищення фільтра передбачений процес регенерації.

Окислювальні каталізатори: Знижують кількість вуглеводнів (HC) і чадного газу (CO), окислюючи їх до CO₂ і H₂O.

3. Модифікація конструкції двигуна

Зміна геометрії камери згоряння: Оптимізація форми і розташування впускних і випускних клапанів для покращення згоряння палива.

Використання турбонаддува: Підвищує ефективність згоряння палива за рахунок подачі більшої кількості повітря.

Застосування нових матеріалів: Використання термостійких і зносостійких матеріалів для забезпечення стабільності роботи двигуна в умовах високих температур і тисків.

4. Використання альтернативних видів палива

Біопаливо: Менш токсичне порівняно з традиційним дизельним паливом, сприяє зниженню викидів CO₂.

Синтетичне паливо: Сприяє зменшенню утворення сажі та інших шкідливих речовин.

Воднево-паливні суміші: Використання водню у складі паливної суміші знижує викиди CO₂ і твердих часток.

5. Оптимізація режимів роботи двигуна

Зменшення часу прогрівання двигуна: Знижує викиди токсичних речовин, які утворюються на холодному двигуні.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підтримання оптимальних режимів роботи: Використання електронних систем управління для контролю обертів і навантаження двигуна, що зменшує утворення шкідливих викидів.

Регулярне технічне обслуговування: Очищення паливної системи, заміна фільтрів і налаштування двигуна для забезпечення ефективної роботи.

6. Розвиток гібридних і електричних технологій

Гібридні силові установки: Поєднання двигуна внутрішнього згоряння з електродвигуном дозволяє зменшити кількість шкідливих викидів, особливо в міських умовах.

Повністю електричні транспортні засоби: Усунення викидів від двигуна внутрішнього згоряння.

Впровадження цих способів дозволяє значно знизити токсичність і димність відпрацьованих газів, підвищити екологічність транспорту і промислових об'єктів, а також сприяє зменшенню негативного впливу на здоров'я людей і довкілля.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проаналізовано конструктивні особливості чотирьохтактного середньообертового двигуна ABC DVZ.

Була розроблена паливна система, яка забезпечує високі економічні та експлуатаційні показники роботи двигуна.

Впровадження гідравлічного способу запирання форсунок дозволяє підвищити надійність і стабільність роботи паливної апаратури, термін служби розпилювачів, час між профілактичним обслуговуванням, зменшити витрату розпилювачів і витрати, пов'язані з перевіркою і розбиранням форсунок.

В розділі охорони праці викладені заходи при виконанні яких забезпечується надійна та безпечна робота двигуна та судна в цілому.

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження.

					КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2004. The Royal Institution of Naval Architects, 2004. pp. 99-100.
2. ABC DVZ. Project guide, 2008. 149 p.
3. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. 914 p.
4. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
5. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. Target Global Energy Training. Onnen, The Netherlands. July 2008.
6. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
7. Latarche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Tenth edition. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
8. Woodyard D. Marine diesel engines and gas turbines. 9th ed. Oxford, 2009. 896 p.
9. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					<i>КРМ.142.6221м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		