

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

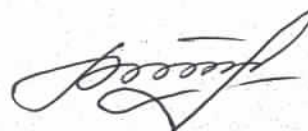
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДВОФАЗНОЇ ПОДАЧІ ПАЛИВА НА СЕРЕДНЬООБЕРТОВОМУ ДВИГУНІ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти



Сергій ПІНДЗІН

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Піндзін Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз використання двофазної подачі палива на середньообертовому двигуні

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Наливайко В.С.,
(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 – Wartsila 8L32; паливо – дизельне; потужність двигуна – 2460 кВт, частота обертання колінчастого валу – 750 хв⁻¹

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

Застосування двигуна Wartsila 8L32 на танкері-хімовозі "НАВІР БАЙРАК";
Визначення напрямків покращення паливної економічності середньообертових
двигунів; Аналіз використання двофазної подачі палива в двигуні Wartsila 8L32;
Забезпечення вимог охорони праці; Особливості технічного обслуговування та
ремонтів газорозподільного механізму

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*Машинне відділення танкера-хімовоза "НАВІР ВАРАК"; Поперечний переріз
 двигуна Wartsila 8L32; Особливості використання багатofазного впорскування
 палива; Паливна форсунка; Обслуговування газорозподільного механізму*

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

_____	<i>Сергій ПІНДЗІН</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	<i>Василь НАЛИВАЙКО</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення паливної економічності двигуна Wartsila 8L32 шляхом використання двофазної подачі палива. Розглянуто питання технічного обслуговування та ремонт газорозподільного механізму. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 74 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: економічність, форсунка, паливна система, впорскування.

The qualification work presents a set of measures to improve the fuel efficiency of the Wartsila 8L32 engine by using a two-phase fuel supply. The issues of maintenance and repair of the gas valve mechanism are considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 74 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: efficiency, injector, fuel system, injection.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна Wartsila 8L32 на танкері-хімовозі "НАВІР БАУРАК"	5
Розділ 2. Визначення напрямків покращення паливної економічності середньообертових двигунів.....	16
Розділ 3. Аналіз використання двофазної подачі палива в двигуні Wartsila 8L32.....	41
Розділ 4. Особливості технічного обслуговування та ремонту газорозподільного механізму.....	55
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	63
Висновки.....	68
Список використаної літератури.....	69
Додаток А. Машинне відділення танкера-хімовоза "НАВІР БАУРАК".....	70
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна Wartsila 8L32.....	71
Додаток В. Особливості використання багатофазного впорскування палива	72
Додаток Г. Паливна форсунка.....	73
Додаток Д. Обслуговування газорозподільного механізму.....	74

ВСТУП

Сучасні вимоги до рівня викидів шкідливих речовин неможливо виконати лише за рахунок регулювання або змін у конструктивних чи режимних параметрах дизельного двигуна, що робить це завдання досить складним. Досягти відповідності нормам викидів допомагають паливні системи з підвищеним тиском упорскування. Однак важливо не скорочувати тривалість упорскування до мінімуму, оскільки оптимальне поєднання низьких викидів NOx і мінімальної витрати палива досягається лише при правильно підібраній тривалості впорскування.

Мета даної роботи – розробити умови по поліпшенню паливної економічності головного двигуна танкера-хімовоза "HABIP BAYRAK" шляхом використання двофазної подачі палива.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проведення комплексного аналізу для визначення напрямків модернізації двигуна для покращення його економічних показників.
2. Розробка системи двофазної подачі палива у двигун.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – двофазна подача палива.

Предмет дослідження – параметри двофазної подачі палива.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА WARTSILA 8L32 НА ТАНКЕРІ-
ХІМОВОЗІ "НАВІР БАУРАК"

НАВІР БАУРАК (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) – танкер-хімовоз спроектований за північноєвропейськими стандартами командою проектувальників [1]. НАВІР БАУРАК спроектований і побудований для перевезення екіпажу та вантажу з максимальною безпекою та комфортом у будь-який час. Це перше кероване судно компанії, яке було передано в березні 2011 року. Однією з ключових відмінностей НАВІР БАУРАК від його аналогів є наявність більш потужного двигуна, що забезпечує більший комфорт і безпеку для його екіпажу і вантажу. НАВІР БАУРАК розрахований на швидкість 14 вузлів при 90% MCR, оснащений головним двигуном Wartsila 8L32 (2460 кВт при 750 об/хв), підтримуваним гребним гвинтом з регульованим кроком з чотирма лопатями діаметром 4,5 м. Ця силова установка поєднується з перекидним кермом і носовим підрулюючим пристроєм Schottel потужністю 450 кВт з фіксованим кроком для максимізації маневреності.

НАВІР БАУРАК оснащений системою «візьми мене додому», щоб мати можливість продовжувати плавання в разі відмови головного двигуна. Ця система здатна розвивати швидкість 7,5 вузлів завдяки роботі гребного гвинта від дизель-генераторів та валогенератора. Тому всі три допоміжні дизель-генератори були обрані з високою (580 кВт) вихідною потужністю, але для забезпечення необхідної потужності потрібні лише два з трьох дизель-генераторів.

Витрати на бункерне дизельне паливо (MDO) падають до нуля під час звичайного плавання, оскільки електрична система живиться від валогенератора потужністю 1350 кВА. Судно також має запас ходу 7500 морських миль.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Танкер-хімовоз «HABIP BAYRAK»

					KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

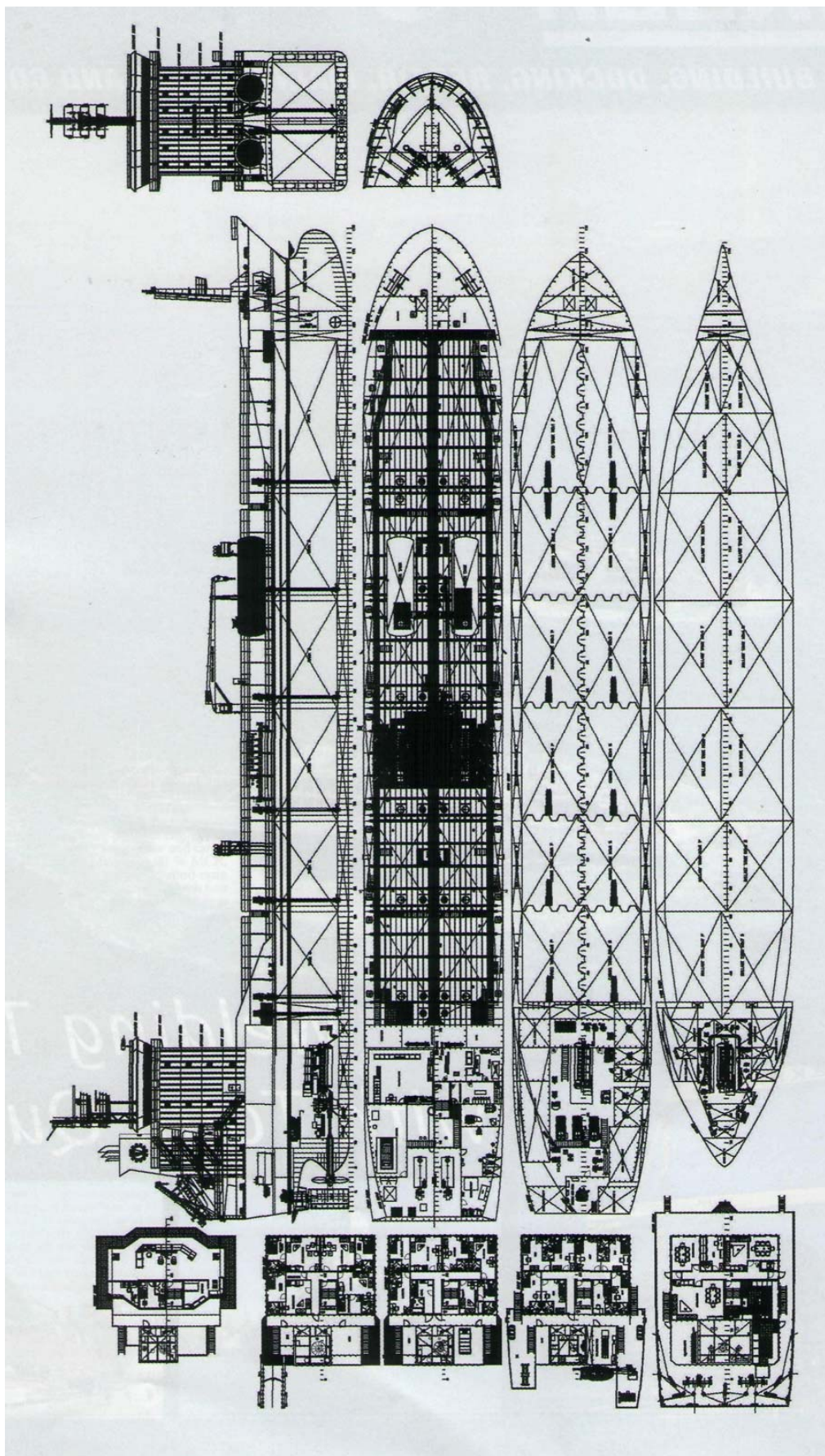


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд танкера-хімовоза «HABIR BAYRAK»

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ

Аркуш

7

Судно оснащено трьома допоміжними дизель-генераторами Man-Lindenburg потужністю 580 кВт для портових операцій. За необхідності, для забезпечення максимальної безпеки судна, є можливість запуску гребного гвинта за допомогою двох дизель-генераторів і генератора змінного струму валу відбору потужності/поворотного валу (РТО/РПІ). Судно також оснащено додатковим аварійним дизель-генератором потужністю 150 кВт, щоб бути готовим до будь-яких непередбачених ситуацій.

Система обробки вантажів складається з 2 глибинних насосів Hamworthy і розрахована на 123 сегрегації танків, кожен з яких має продуктивність 250 м³/год. Вантажні насоси керуються за допомогою м'якого пускача та частотного перетворювача. Для баластної системи є також два глибинних баластних насоси. Всі вантажні танки мають покриття Marine Line для безпечного перевезення кислот, лугів, розчинників, харчових олій та багатьох інших рідких вантажів.

Житлова зона спроектована відповідно до правил Міжнародної організації праці (МОП) і складається з 18 кают (з окремим туалетом), одного лазарету, двох кают-компаній (для офіцерів і екіпажу) і двох суднових офісів.

Судно ходить під прапором Мальти. Позивний судна – 9HA5554. MMSI – 229674000. IMO – 9458183.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	123,25
Довжина між перпендикулярами, м	115,97
Проектна осадка, м	6,70
Дедвейт, т	8404
Швидкість судна, вуз	14,00
Повна водотоннажність судна, т	11581

Опис двигуна Wartsila 8L32

Wartsila 8L32 (рис. 1.3) це чотиритактний дизельний двигун, нереверсивний, з турбонаддувом, водяним охолодженням і з прямим впорскуванням палива [2].

Конфігурація: 8 – рядний;

Діаметр циліндра: 320 мм;

Хід поршня: 350 мм;

Циліндрична потужність: 308 кВт;

Частота обертання колінчастого вала: 750 об/хв.;

Середня швидкість поршня: 8,75 м/с.

Конструкція дизеля забезпечує легкий доступ до основних агрегатів через люки в блоці, що дозволяє здійснювати огляд і, за потреби, замінювати деталі шатунно-поршневої групи без демонтажу двигуна з фундаментної рами.

Поршень (рис. 1.4).

Поршень виготовлений із чавуну з кулястим графітом та охолоджується мастильним маслом двигуна. Масло подається через поршковий палець до кільцеподібної порожнини, звідки стікає через отвір у масляний піддон картера. Верхні дві канавки для поршневих кілець загартовані для підвищення зносостійкості.

Шатун (рис. 1.4).

Шатун виготовляється методом гарячого штампування. Роз'єм його мотильової головки має зубчасту поверхню, що забезпечує надійну фіксацію нижньої кришки підшипника. Вкладиші мотильового підшипника виготовляються з тришарового металу, аналогічного до матеріалу рамових підшипників. Мастило до мотильового підшипника надходить через рамовий підшипник і свердління в колінчастому валу.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

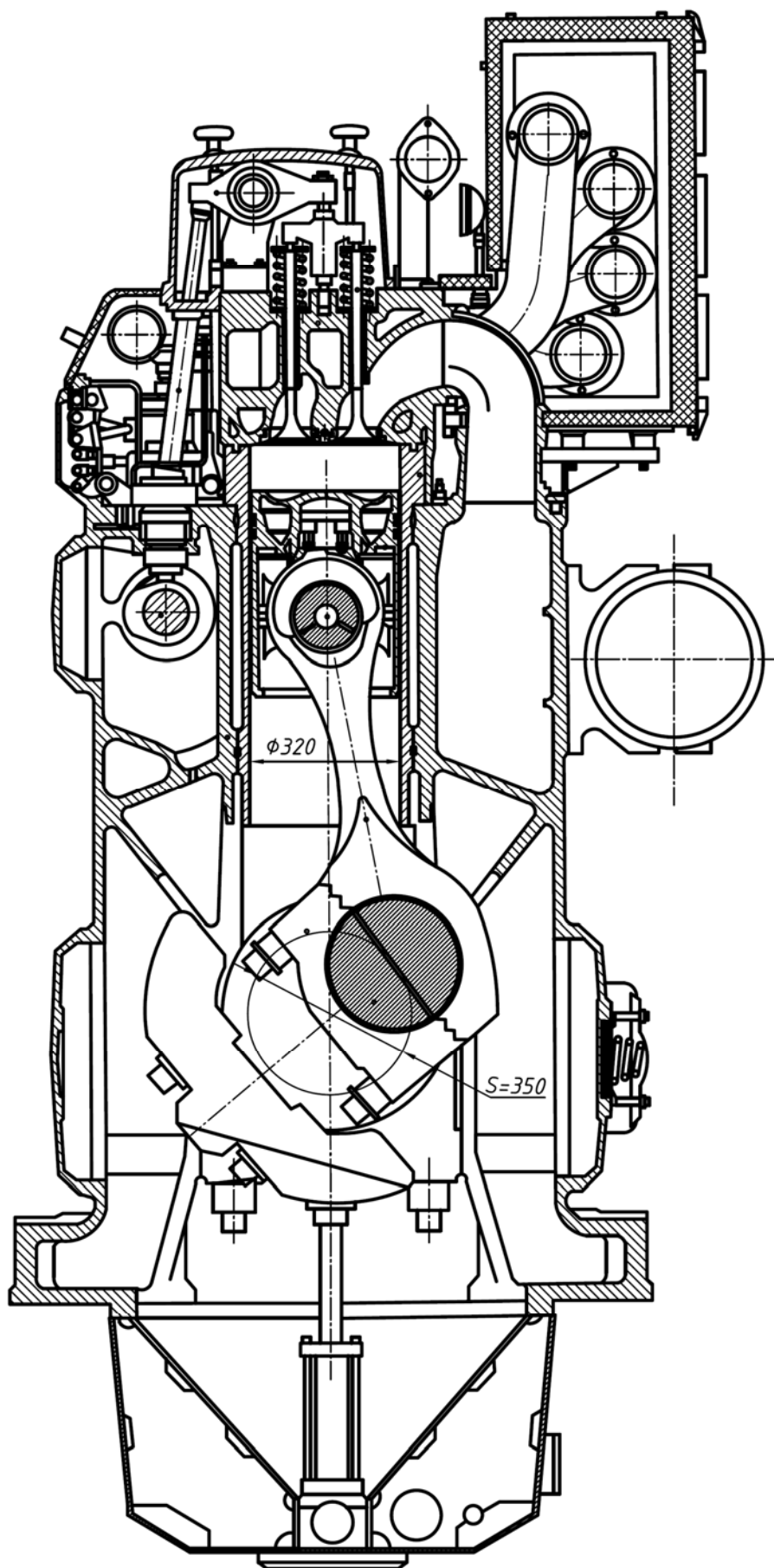


Рисунок 1.3 – Поперечний перетин двигуна Wartsila 8L32

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ

Аркуш

10

Поршневий палець. Палець виконаний порожнистим, з радіальними отворами для подачі масла з шатуна до поршня. Його краї заглушені, що запобігає витоку масла. Закріплення здійснюється овальними стопорними кільцями, які запобігають осьовому переміщенню пальця.

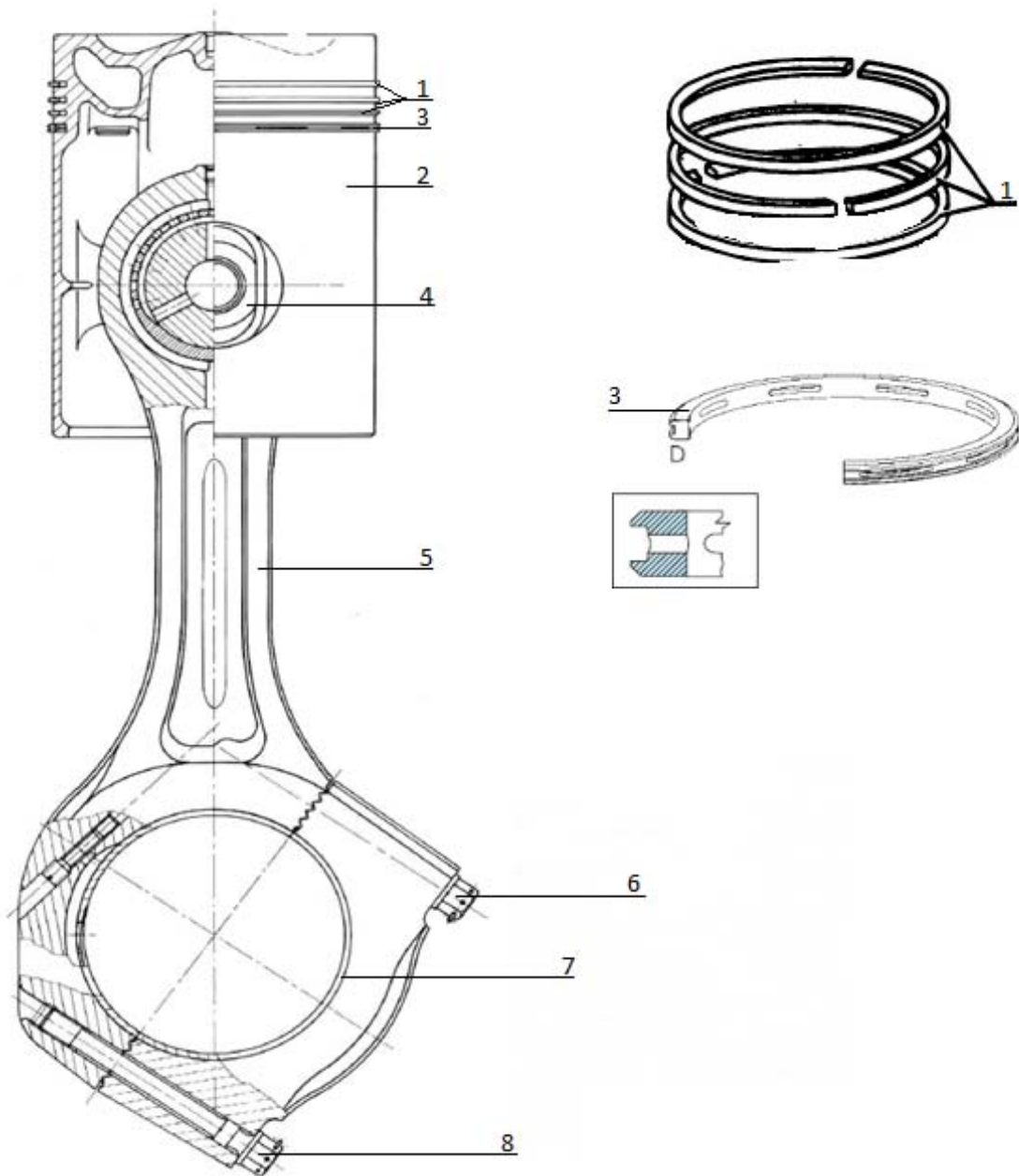


Рисунок 1.4 – Кривошипно-шатунний механізм двигуна Wartsila 8L32:

1 – кільця поршневі компресійні; 2 – поршень; 3 – кільця поршневі маслосъёмні; 4 – палець поршневий; 5 – шатун; 6 – болт шатуновий короткий; 7 – вкладиш шатунового підшипника; 8 – болт шатуновий довгий

Кришка циліндра з клапанами (рис. 1.5).

У кришку циліндра вбудовано два впускні клапани, два випускні клапани, форсунку в центрі, клапан пускового повітря та індикаторний клапан. Впускні та випускні клапани однакові, їхні поверхні гнізд мають стелітове покриття, а стрижні – хромовані. Ущільнення забезпечується за допомогою запресованих кілець.

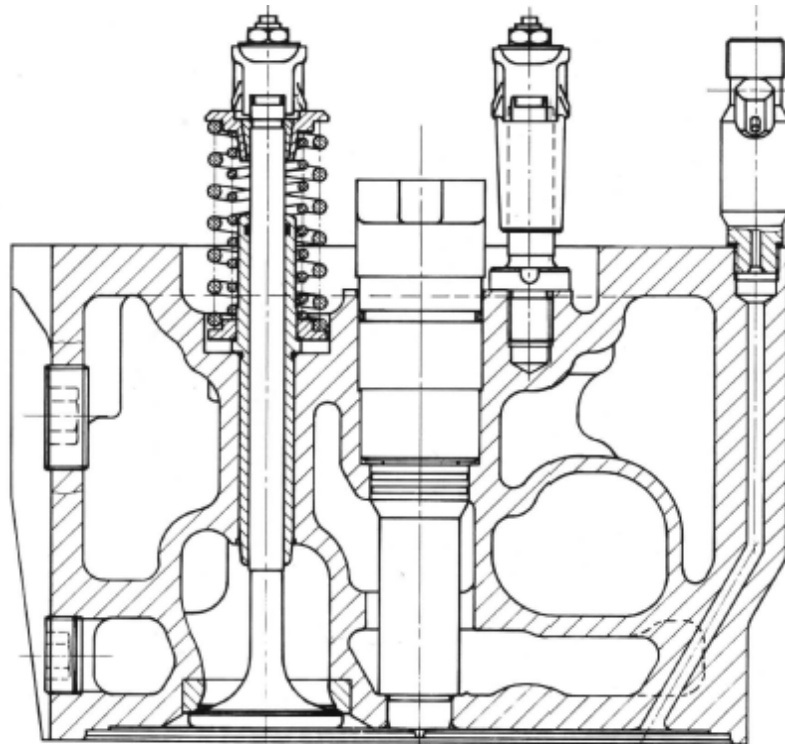


Рисунок 1.5 – Кришка циліндра

Клапанний механізм включає:

- Штовхальники, що переміщуються у загальному направляючому блоці з чавуну;
- Трубчасті штовхальні штанги з кульовими шарнірами;
- Штамповані важелі, які коливаються, мають запресовані втулки та встановлені на пальцях стійки;
- Траверси з направляючим потоком.

Механізм у нормальних умовах не потребує обслуговування, проте рекомендується регулярно перевіряти знос і оглядати деталі у строки, зазначені в інструкції.

Колінчастий вал виготовляється з цільної поковки (рис. 1.6).

Перший рамовий підшипник, розташований біля маховика, має фланці та виконує функцію упорного підшипника. У однорядних двигунах мотилі колінчастого вала завжди виготовляються без противаг. Противаги прикріплюються до щік мотилів за допомогою натискних болтів, що забезпечує їх надійне закріплення. На торцевій частині вала, з боку маховика, методом гарячої посадки встановлено масло-відбійне кільце, яке запобігає витіканню масла та газів. Крім того, на валу закріплена роз'ємна шестірня.

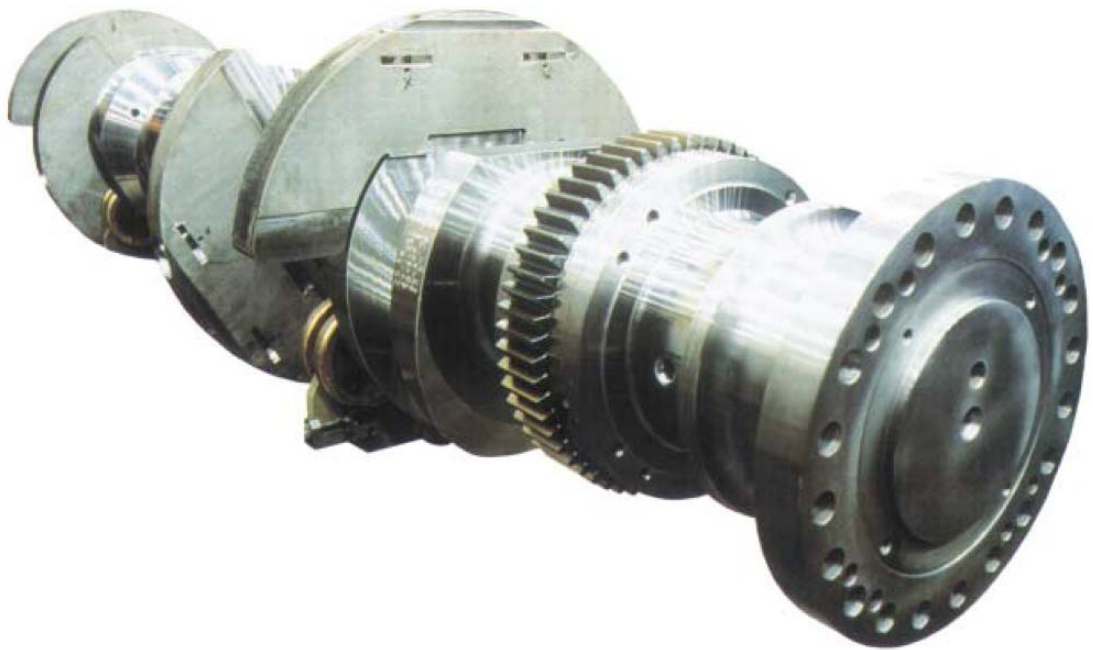


Рисунок 1.6 – Кришка циліндра

Розподільний вал (рис. 1.7) складається зі штампованих секцій, кожна з яких відповідає за один циліндр. Секції з'єднані між собою за допомогою фланцевих з'єднань. Кулачки виготовлені методом кування безпосередньо на валу та мають бігові доріжки, загартовані струмами високої частоти для підвищення зносостійкості.

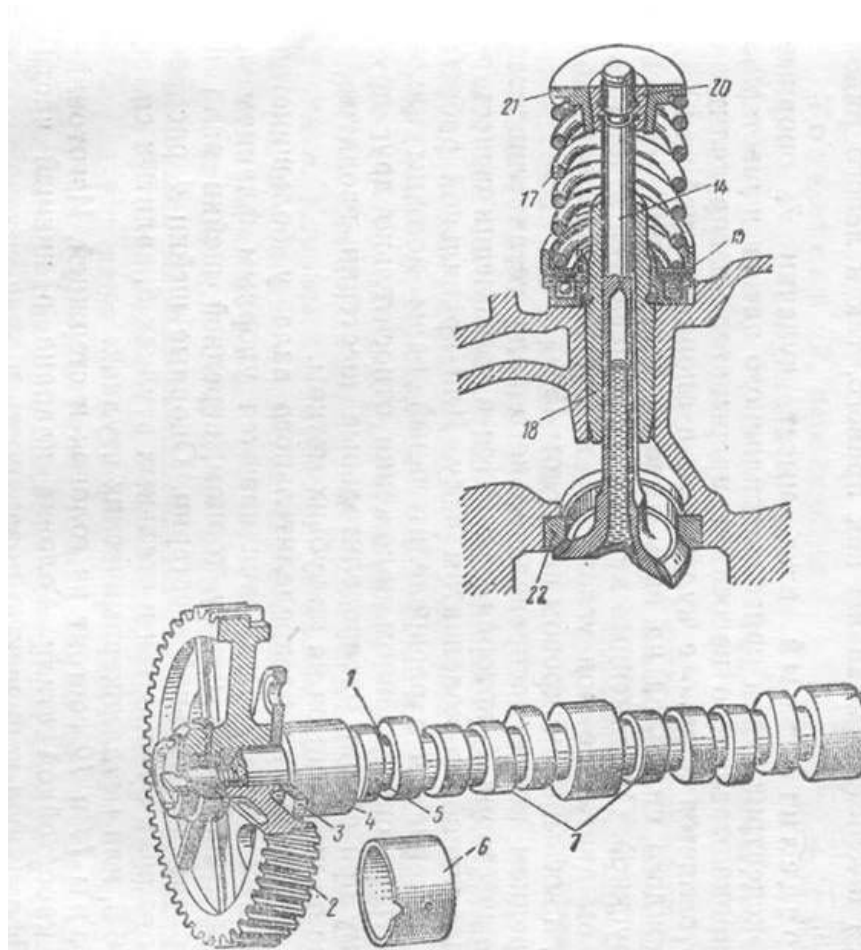


Рисунок 1.6 – Розподільний вал:

1 – розподільний вал; 2 – розподільна шестерня; 3 – упорний фланець;
 4 – опорна шийка; 5 – ексцентрик приводу паливного насоса; 6 – втулка
 шийки розподільного валу; 7 – кулачки розподільного валу; 8 – шестерня
 приводу масляного насоса і переривника-розподільника; 9 – стійка коромисла
 клапана; 10 – коромисло клапана; 11 – вісь коромисла; 12 – штовхальники
 клапана; 13 – штовхач; 14 – випускний клапан; 15 – механізм обертання
 випускного клапана; 16 – регулювальний гвинт; 17 – пружина клапана;
 18 – напрямна; 19 – впускний клапан; 20 – сухар; 21 – опорна шайба пружини
 клапана; 22 – сидло клапана

Маховик закріплюється на колінчастому валу чотирма кріпильними болтами, а також частково болтами, що кріплять вал відбору потужності. У стандартному виконанні ці болти проходять вільно через отвори в двох

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

фланцях, між якими фіксується маховик. Передача потужності забезпечується тертям, що створюється між поверхнями фланців. У деяких типах двигунів можливий відбір потужності з протилежного боку маховика.

Валоповоротний механізм складається з приводної шестірні, що з'єднується з пальцем квадратного перерізу рукоятки з тріскачкою. Напрямок обертання колінчастого вала змінюється шляхом зміни напрямку обертання тріскачки. При активованому валоповоротному механізмі на панелі приладів двигуна загоряється сигнальна лампочка, яка гасне після його відключення.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ПОКРАЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ

Паливна економічність середньообертових двигунів є ключовим критерієм їхньої ефективності, особливо в умовах сучасних вимог до зниження експлуатаційних витрат та дотримання екологічних стандартів. Покращення цього параметра можливе через впровадження низки технічних і технологічних рішень. Основними напрямками є [3]:

- Оптимізація процесу згоряння
- Зниження механічних втрат
- Підвищення ефективності роботи допоміжних систем
- Використання альтернативних видів палива
- Інтеграція сучасних систем управління
- Рекуперація енергії
- Модернізація конструкції двигуна

Оптимізація процесу згоряння

Основними напрямками оптимізації процесу згоряння є покращення системи впорскування палива, використання турбонаддуву та оптимізація камери згоряння.

Система впорскування палива є ключовим елементом роботи середньообертових двигунів, значною мірою впливаючи на їхню ефективність, економічність та екологічність. Покращення цієї системи дозволяє оптимізувати процес згоряння, знизити витрати палива та забезпечити відповідність сучасним екологічним нормам.

Основні напрямки покращення системи впорскування палива

1. Збільшення тиску впорскування. Високий тиск впорскування (2000...3000 бар і більше) сприяє кращому розпиленню палива, рівномірному

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

змішуванню з повітрям і повному згорянню. Це дозволяє зменшити витрати палива та викиди шкідливих речовин, зокрема NOx і твердих частинок.

2. Впровадження багатоступінчастого впорскування. Застосування систем багатоступінчастого впорскування дозволяє розподілити подачу палива на кілька етапів: попереднє впорскування сприяє підготовці повітряно-паливної суміші; основне забезпечує максимальну енерговіддачу; додаткове знижує рівень шуму та зменшує викиди твердих частинок.

3. Використання електронного управління впорскуванням. Сучасні електронні системи управління дозволяють точно контролювати обсяг, час і тривалість впорскування в реальному часі. Це дає змогу адаптувати роботу двигуна до різних режимів і умов експлуатації, підвищуючи його економічність.

4. Оптимізація конструкції форсунок. Удосконалення конструкції форсунок забезпечує більш рівномірне розпилення палива, зменшення втрат енергії та уникнення локального перегріву в камері згорання.

5. Покращення паливних насосів високого тиску. Новітні насоси високого тиску зменшують механічні втрати, забезпечують стабільний тиск у системі й підвищують точність подачі палива навіть при високих навантаженнях.

6. Інтеграція з іншими системами двигуна. Система впорскування повинна працювати у взаємозв'язку з системою наддуву, системою охолодження та електронним блоком управління двигуна. Це дозволяє досягти оптимального співвідношення паливо-повітря та ефективного згорання.

7. Стійкість до зносу та якість палива. Використання матеріалів із високою зносостійкістю та конструкцій, адаптованих до роботи з різними типами палива (зокрема, біопаливом), знижує експлуатаційні витрати та продовжує термін служби системи.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ефекти від покращення системи впорскування палива

1. Зниження витрат палива: Покращена подача палива забезпечує повніше згоряння, що дозволяє зменшити його витрати.
2. Підвищення потужності двигуна: Оптимізоване згоряння палива сприяє більш ефективному використанню енергії, що підвищує загальну продуктивність двигуна.
3. Зменшення шкідливих викидів: Більш точний контроль процесу згоряння знижує кількість оксидів азоту, вуглецевого оксиду і твердих частинок у вихлопних газах.
4. Підвищення довговічності: Стабільна робота системи впорскування знижує механічні навантаження на двигун і продовжує термін його служби.

Покращення системи впорскування палива є одним із найефективніших способів підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Інновації в цій галузі сприяють не лише зниженню витрат на експлуатацію, але й дозволяють відповідати сучасним екологічним стандартам, що є ключовим завданням для промислового транспорту та енергетики.

Турбонаддув є одним із найбільш ефективних способів підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Він дозволяє значно поліпшити використання енергії, що виробляється під час роботи двигуна, завдяки ефективному використанню енергії відпрацьованих газів. Турбонаддув використовує енергію вихлопних газів для приводу турбіни, яка у свою чергу обертає компресор. Компресор стискає повітря, що подається в камеру згоряння, збільшуючи його кількість. Це сприяє:

1. Кращому згорянню палива: Збільшення кількості кисню в камері згоряння дозволяє ефективніше спалювати паливо.
2. Підвищенню потужності двигуна: Збільшення кількості повітря та палива, що згоряють, підвищує енергію, вироблену в кожному циклі.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Як турбонаддув покращує паливну економічність

1. Збільшення ефективності згоряння. Турбонаддув забезпечує краще змішування палива з повітрям, що сприяє повнішому згорянню палива. Це зменшує втрати енергії та покращує тепловий ККД двигуна [4].

2. Зниження питомої витрати палива. Завдяки підвищенню ефективності згоряння, двигун може досягати тієї ж потужності, використовуючи меншу кількість палива.

3. Оптимізація роботи на низьких обертах. Турбонаддув дозволяє двигуну працювати ефективно навіть на низьких обертах, що важливо для середньообертових двигунів. Це особливо актуально для суднових і стаціонарних двигунів, які часто працюють в умовах змінного навантаження.

4. Ефективне використання відпрацьованих газів. Енергія вихлопних газів, яка в традиційних двигунах втрачається, використовується для роботи турбіни. Це сприяє підвищенню загальної ефективності системи.

5. Зменшення викидів шкідливих речовин. Більш повне згоряння палива, забезпечене турбонаддувом, сприяє зниженню викидів оксидів азоту (NOx), вуглецю (CO) та твердих частинок.

Технічні аспекти вдосконалення турбонаддуву

1. Дво- і багатоступінчастий турбонаддув. Використання кількох ступенів стиснення підвищує ефективність подачі повітря при різних режимах роботи двигуна.

2. Охолодження наддувного повітря. Інтеркулери (проміжні охолоджувачі) знижують температуру стиснутого повітря, підвищуючи його щільність і покращуючи процес згоряння.

3. Адаптивні системи турбонаддуву. Сучасні турбонаддувні системи оснащуються електронними регуляторами, які оптимізують роботу турбіни в реальному часі залежно від навантаження на двигун.

Переваги використання турбонаддуву для середньообертових двигунів

1. Ефективність: Турбонаддув підвищує загальний ККД двигуна.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. Економія палива: Менші витрати палива для досягнення тієї ж потужності.

3. Екологічність: Зменшення рівня шкідливих викидів.

4. Компактність: Двигуни з турбонаддувом дозволяють зберігати або зменшувати габарити силової установки при підвищенні її потужності.

Використання турбонаддуву є одним із найбільш перспективних способів підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Це рішення дозволяє не лише зменшити витрати палива, а й забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам, підвищуючи ефективність та надійність роботи двигуна в різних умовах експлуатації.

Камера згоряння є ключовим елементом середньообертових двигунів, де відбувається основний процес перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу. Її конструкція значною мірою впливає на ефективність згоряння, рівень паливної економічності та екологічність двигуна. Оптимізація камери згоряння спрямована на покращення параметрів процесу згоряння і зниження витрат палива.

Основні напрямки оптимізації камери згоряння

1. Покращення форми камери згоряння.

Використання вдосконалених геометричних форм (сферичних, багатограних, турбулентних) сприяє рівномірному розподілу палива та повітря. Зменшення зон з низьким вмістом кисню та гарячих точок забезпечує зниження утворення шкідливих викидів, таких як NOx і тверді частинки.

2. Оптимізація турбулентності повітряного потоку.

Завихрення повітря в камері згоряння покращує змішування повітря з паливом, сприяючи повнішому згорянню.

Турбулентність забезпечується через спеціальну конструкцію впускних каналів або застосування клапанів із заданими характеристиками потоку.

3. Покращення температурних умов.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зменшення локальних перегрівів у камері згоряння досягається завдяки оптимізації форми та матеріалу поршня.

Використання матеріалів із високою термостійкістю (сплави, керамічні покриття) дозволяє зберігати теплову енергію у зоні згоряння, підвищуючи тепловий ККД.

4. Поліпшення взаємодії з системою впорскування палива

Камера згоряння повинна забезпечувати максимально ефективне розпилення палива, що залежить від розташування та характеристик форсунок.

Правильне розташування форсунки забезпечує рівномірний розподіл палива по всьому об'єму камери.

5. Зменшення теплових втрат

Введення термоізоляційних покриттів на поверхні камери згоряння, поршнів і клапанів дозволяє знизити втрати тепла.

Конструктивні рішення для мінімізації контакту робочих газів із холодними стінками також сприяють збереженню енергії.

6. Зниження рівня токсичності вихлопних газів

Завдяки більш ефективному згорянню зменшується утворення незгорілих вуглеводнів (НС), оксидів вуглецю (СО) та твердих частинок.

Екологічність оптимізованої камери згоряння досягається також за рахунок контролю співвідношення повітря та палива.

Вплив оптимізації камери згоряння на паливну економічність

1. Зменшення витрат палива:

Поліпшене змішування та повніше згоряння палива сприяють максимальному використанню його енергії, що дозволяє досягти зменшення витрат.

2. Підвищення теплового ККД:

Оптимізація конструкції камери забезпечує кращу конверсію теплової енергії в механічну роботу.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Зниження механічних втрат:

Завдяки рівномірному розподілу температури зменшуються напруження у деталях двигуна, що покращує їх довговічність та знижує механічні втрати.

4. Стабільна робота в різних режимах:

Оптимізована камера згоряння забезпечує стабільну роботу двигуна при різних навантаженнях і швидкостях, що особливо важливо для середньообертових двигунів, які працюють у змінних умовах.

Технічні інновації для оптимізації

1. Симуляції та моделювання:

Використання комп'ютерних моделей дозволяє проектувати камери згоряння з урахуванням турбулентності, теплових процесів і хімічних реакцій.

2. Високоточне виробництво:

Використання сучасних методів виробництва забезпечує точну реалізацію конструктивних рішень, мінімізуючи похибки у формі та розмірах камери.

Оптимізація камери згоряння є важливим кроком для покращення паливної економічності середньообертових двигунів. Вона дозволяє зменшити витрати палива, підвищити ефективність роботи двигуна та забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам. У поєднанні з іншими вдосконаленнями систем двигуна, оптимізована камера згоряння сприяє підвищенню продуктивності та надійності силових установок.

Зниження механічних втрат

Основними напрямками зниження механічних втрат є зменшення тертя та зменшення ваги рухомих частин.

Зменшення тертя в середньообертових двигунах є важливим напрямком підвищення їхньої паливної економічності. Тертя між рухомими частинами двигуна призводить до втрат енергії, збільшення витрат палива та зношування компонентів. Зменшення тертя сприяє зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню надійності та довговічності двигуна.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Основні способи зменшення тертя

1. Оптимізація конструкції деталей двигуна

Використання компонентів із вдосконаленою геометрією, наприклад, аеродинамічних форм або деталей із меншою площею контакту.

Зменшення ваги рухомих частин, таких як поршні, шатуни та вали, щоб знизити сили інерції та тертя.

2. Використання сучасних матеріалів

Застосування легких і міцних матеріалів, таких як титан, композити або кераміка, які зменшують силу тертя.

Використання матеріалів із низьким коефіцієнтом тертя, таких як спеціальні сплави або покриття на основі молібдену та тефлону.

3. Поліпшення мастильної системи

Використання сучасних мастильних матеріалів із низькою в'язкістю, які забезпечують ефективне змащування без зайвих енергетичних витрат.

Адаптивні системи подачі мастила, які регулюють його кількість і тиск залежно від навантаження та умов роботи двигуна.

4. Застосування покриттів із низьким тертям

Нанесення на деталі спеціальних покриттів, таких як алмазоподібні вуглецеві (DLC) покриття, що мають високі зносостійкі та антифрикційні властивості.

Використання термоізоляційних покриттів, які зменшують передачу тепла та тертя між поверхнями.

5. Зменшення втрат у підшипниках та ущільненнях

Встановлення підшипників із низьким коефіцієнтом тертя, таких як роликові або гідродинамічні підшипники.

Оптимізація ущільнень для зменшення сил опору та мінімізації витoku мастила.

6. Поліпшення технології виготовлення деталей

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання високоточних методів обробки для досягнення більш гладких поверхонь деталей.

Контроль мікрогеометрії деталей для зменшення мікроскопічних нерівностей, які спричиняють додаткове тертя.

Вплив зменшення тертя на паливну економічність

1. Зменшення механічних втрат:

Скорочення тертя між рухомими частинами дозволяє двигуну витрачати менше енергії на подолання внутрішнього опору.

2. Зниження витрат палива:

Менші втрати енергії на тертя означають, що більша частина енергії палива використовується для корисної роботи, зменшуючи витрати палива.

3. Підвищення ККД двигуна:

Оптимізована робота механічної частини двигуна сприяє підвищенню загального коефіцієнта корисної дії.

4. Подовження терміну служби деталей:

Зменшення тертя знижує зношування компонентів двигуна, що дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування і ремонти.

5. Зниження рівня шуму і вібрацій:

Менше тертя забезпечує більш плавну і тиху роботу двигуна, що покращує комфортність і знижує механічне навантаження.

Сучасні технології для зменшення тертя

1. Інноваційні мастила: Розробка мастильних матеріалів із наночастинками, які забезпечують кращі антифрикційні властивості.

2. 3D-друк компонентів: Використання адитивного виробництва для створення деталей із оптимальною геометрією та структурою, які мінімізують тертя.

3. Цифрове моделювання: Аналіз тертя і зношування за допомогою комп'ютерного моделювання для розробки ефективніших конструкцій.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зменшення тертя є критичним аспектом підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Використання сучасних матеріалів, технологій обробки та покриттів дозволяє знизити енергетичні втрати, збільшити ефективність двигуна і продовжити термін його служби. Це сприяє зменшенню витрат на експлуатацію та підвищенню конкурентоспроможності середньообертових двигунів у сучасних умовах.

Зменшення ваги рухомих частин є одним із ефективних способів підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Легші компоненти сприяють зниженню інерційних сил, механічних втрат та загального навантаження на двигун, що в результаті зменшує витрати палива і підвищує ефективність роботи.

Основні рухомі частини, які піддаються оптимізації

1. Поршнева група: Поршні, шатуни та поршневі кільця є ключовими рухомими частинами, вага яких значною мірою впливає на інерційні сили.

Легші поршні дозволяють зменшити силу тертя між поршнем і стінками циліндра, а також знизити навантаження на колінчастий вал.

2. Колінчастий вал: Легка конструкція колінчастого вала знижує момент інерції системи та витрати енергії на обертання.

3. Розподільний вал і клапанний механізм: Зменшення ваги штовхальників, штанг і важелів клапанного механізму знижує опір при русі та забезпечує швидше реагування механізму.

Технології зменшення ваги рухомих частин

1. Використання сучасних матеріалів:

Алюмінієві сплави: Легкі, міцні та термостійкі, вони широко застосовуються для виготовлення поршнів і шатунів.

Титанові сплави: Забезпечують ще більшу міцність і меншу вагу, хоча мають вищу вартість.

Композитні матеріали: Наприклад, вуглецеві волокна, які дозволяють значно зменшити вагу деталей, особливо в клапанному механізмі.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. Оптимізація геометрії компонентів:

Використання топологічного моделювання для створення деталей із мінімальною вагою без втрати їхньої міцності.

Удосконалення форми поршнів і шатунів для зменшення маси та оптимального розподілу навантаження.

3. Використання порожнистих компонентів:

Порожністі поршневі пальці та шатуни зберігають високу міцність, але суттєво знижують вагу.

4. Високоточне виробництво:

Використання сучасних методів обробки, таких як 3D-друк або високотемпературне штампування, для створення легких і надійних деталей.

5. Застосування легких покриттів:

Нанесення покриттів, які зменшують тертя і зношування, дозволяє використовувати тонші та легші деталі.

Переваги зменшення ваги рухомих частин

1. Зниження інерційних сил: Легші рухомі частини зменшують механічне навантаження на двигун, що дозволяє ефективніше використовувати потужність.

2. Зменшення витрат палива: Менша вага рухомих компонентів знижує енерговитрати на їх рух, що прямо впливає на паливну економічність.

3. Підвищення швидкодії: Легші частини рухаються швидше, забезпечуючи кращу динаміку двигуна та ефективну роботу на високих обертах.

4. Подовження терміну служби: Зниження навантажень на деталі зменшує їхнє зношування, що позитивно впливає на ресурс двигуна.

5. Зниження вібрацій: Легкі рухомі компоненти сприяють зменшенню рівня вібрацій, що покращує комфорт роботи двигуна і знижує ризик пошкоджень.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Виклики та обмеження

1. Вартість матеріалів: Використання високотехнологічних сплавів або композитів може значно підвищити вартість двигуна.

2. Необхідність балансування: Зменшення ваги компонентів потребує точного балансування для уникнення нерівномірного розподілу навантажень.

Зменшення ваги рухомих частин є перспективним напрямком покращення паливної економічності середньообертових двигунів. Інноваційні матеріали, передові методи виробництва та оптимізація конструкції деталей дозволяють досягти значного зниження витрат палива, підвищення ефективності та збільшення терміну служби двигунів. Це робить середньообертові двигуни більш конкурентоспроможними у сучасних умовах економії ресурсів та екологічних обмежень.

Допоміжні системи відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи середньообертових двигунів [5]. Вони включають системи охолодження, мастила, паливоподачі, повітропостачання та інші механізми, які забезпечують правильне функціонування двигуна. Підвищення їхньої ефективності сприяє зниженню витрат енергії, що використовується для їх роботи, і, відповідно, покращенню загальної паливної економічності двигуна.

Основні способи підвищення ефективності роботи допоміжних систем

1. Оптимізація системи охолодження

Використання адаптивного управління, яке регулює подачу охолоджувальної рідини залежно від навантаження та температури двигуна.

Встановлення вискоефективних теплообмінників і насосів, що знижують споживання енергії.

Використання охолоджувальних систем із низьким опором потоку, які мінімізують втрати тиску.

2. Модернізація системи мастила

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Запровадження інтелектуальних насосів, які змінюють витрату мастила залежно від умов роботи двигуна.

Використання мастильних матеріалів із низькою в'язкістю для зменшення механічних втрат через тертя.

Зниження втрат тиску за рахунок оптимізації конструкції трубопроводів і клапанів.

3. Ефективність системи паливоподачі

Використання паливних насосів із регульованим приводом для оптимізації витрати енергії.

Поліпшення системи фільтрації для зменшення втрат тиску та запобігання засміченню.

4. Поліпшення роботи системи повітропостачання

Використання сучасних компресорів із регульованою продуктивністю, що дозволяє знижувати витрати енергії при неповному навантаженні.

Оптимізація конструкції повітряних фільтрів і трубопроводів для зменшення аеродинамічного опору.

5. Рекуперація енергії

Використання енергії вихлопних газів для живлення допоміжних систем через турбокомпаундні установки.

Застосування генераторів із високим ККД для перетворення механічної енергії двигуна в електричну для допоміжних потреб.

6. Інтеграція допоміжних систем із електронними блоками управління

Використання сучасних систем автоматизації для координації роботи допоміжних механізмів залежно від режимів роботи двигуна.

Оптимізація часу ввімкнення і вимкнення систем для зменшення енергетичних втрат.

7. Застосування новітніх матеріалів і технологій

Використання матеріалів із низьким коефіцієнтом тертя та високою теплопровідністю у компонентах допоміжних систем.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Застосування 3D-друку для створення оптимізованих форм деталей, які мінімізують втрати енергії.

Вплив підвищення ефективності допоміжних систем на паливну економічність

1. Зменшення енергетичних втрат:

Ефективні допоміжні системи споживають менше енергії, що дозволяє двигуну більше енергії спрямовувати на корисну роботу.

2. Скорочення витрат палива:

Зниження енергоспоживання допоміжних механізмів зменшує загальну витрату палива двигуном.

3. Підвищення надійності роботи двигуна:

Оптимізовані системи забезпечують стабільні умови для роботи основних механізмів, знижуючи ризик аварійних ситуацій та передчасного зношування.

4. Екологічна ефективність:

Енергозберігаючі технології допоміжних систем сприяють зниженню викидів CO₂ та інших шкідливих речовин у атмосферу.

Виклики та перспективи

1. Інвестиції в модернізацію: Впровадження новітніх технологій потребує значних витрат, але вони швидко окуповуються завдяки економії палива та зниженню експлуатаційних витрат.

2. Інтеграція з існуючими двигунами: Оптимізація допоміжних систем вимагає їх адаптації до конструкції вже існуючих двигунів.

Підвищення ефективності роботи допоміжних систем є важливим напрямком покращення паливної економічності середньообертових двигунів. Інноваційні технології, сучасні матеріали та автоматизація допоміжних процесів дозволяють суттєво знизити витрати енергії та забезпечити відповідність сучасним вимогам до економічності й екологічності силових установок.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зростаючі вимоги до екологічності та економічності двигунів стимулюють пошук нових рішень, одним із яких є використання **альтернативних видів палива**. Це дозволяє знизити витрати на експлуатацію, скоротити викиди шкідливих речовин та забезпечити стабільну роботу двигунів навіть за умови обмеженості традиційних паливних ресурсів.

Переваги використання альтернативного палива

1. Зниження витрат на паливо. У багатьох випадках альтернативне паливо, таке як зріджений природний газ (ЗПГ) або біодизель, є дешевшим за традиційне дизельне паливо.

Використання відновлюваних ресурсів, наприклад, біогазу, може значно знизити експлуатаційні витрати, особливо в регіонах із доступними джерелами такого палива.

2. Зменшення шкідливих викидів. Альтернативні види палива, зокрема ЗПГ, мають нижчий вміст сірки та вуглецю, що сприяє зниженню викидів CO₂, NO_x і твердих частинок.

Біодизель, отриманий із рослинних олій чи відходів, забезпечує нейтральний вуглецевий цикл, оскільки під час його використання виділяється лише той CO₂, який було поглинуто рослинами в процесі росту.

3. Поліпшення паливної економічності. Деякі види альтернативного палива, такі як синтетичне паливо або метанол, мають високу теплотворну здатність, що забезпечує ефективніше згоряння і знижує витрати на одиницю потужності.

4. Гнучкість у виборі палива. Використання багатопаливних двигунів, здатних працювати на кількох типах палива (дизель, газ, біодизель), дозволяє адаптувати роботу двигуна до наявних ресурсів та ринкових умов.

Види альтернативного палива для середньообертових двигунів

1. Зріджений природний газ (ЗПГ).

Має високу теплотворну здатність, низький рівень шкідливих викидів та забезпечує стабільну роботу двигуна.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використовується в суднових та стаціонарних двигунах, які часто працюють на середніх обертах.

2. Біодизель.

Виготовляється із відновлюваних ресурсів, таких як рослинні олії, відходи харчової промисловості чи тваринні жири.

Сумісний із більшістю конструкцій дизельних двигунів і може використовуватися як чисте паливо (B100) або в сумішах із традиційним дизелем.

3. Синтетичне паливо (e-Fuels).

Отримується шляхом синтезу водню і CO₂, зокрема за допомогою відновлюваних джерел енергії.

Забезпечує чисте згоряння, високу ефективність та можливість зниження залежності від викопного палива.

4. Метанол і етанол.

Відновлювані види палива, які можуть використовуватись як домішки або основне паливо.

Вони екологічно чисті та зменшують утворення твердих частинок і оксидів азоту.

5. Біогаз.

Виробляється шляхом анаеробного зброджування органічних відходів.

Використовується в газових двигунах із середніми обертами та забезпечує низький рівень викидів.

Виклики впровадження альтернативного палива

1. Технічна адаптація двигунів.

Використання альтернативного палива може потребувати модернізації системи впорскування, камери згоряння або інших компонентів двигуна.

2. Інфраструктурні обмеження.

У деяких регіонах обмежена доступність або недостатньо розвинена інфраструктура для зберігання та транспортування альтернативного палива.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Вартість впровадження.

Хоча використання альтернативного палива може зменшити експлуатаційні витрати, початкові інвестиції у модернізацію двигунів і систем можуть бути значними.

4. Перспективи використання альтернативного палива.

Зі зростанням попиту на екологічно чисті рішення використання альтернативного палива стає все більш актуальним. Інновації в технологіях виробництва палива, зокрема синтетичного та біопалива, роблять ці види енергії доступнішими та економічно вигіднішими. У майбутньому перехід на альтернативні види палива стане важливим кроком у досягненні енергоефективності та екологічної стійкості середньообертових двигунів.

Використання альтернативних видів палива є ефективним способом покращення паливної економічності середньообертових двигунів. Це рішення дозволяє не лише зменшити витрати на експлуатацію, а й забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам, роблячи двигуни більш стійкими до викликів майбутнього.

Сучасні системи управління двигунами відіграють ключову роль у підвищенні їхньої паливної економічності та екологічності. Інтеграція електронних блоків управління (ECU), систем автоматизації та інтелектуальних алгоритмів дозволяє оптимізувати роботу двигуна в реальному часі, знижуючи витрати палива та викиди шкідливих речовин.

Основні компоненти сучасних систем управління

1. Електронний блок управління (ECU):

Координує роботу всіх основних систем двигуна (впорскування палива, наддув, охолодження, мастило).

Забезпечує автоматичне налаштування параметрів залежно від навантаження та умов роботи.

2. Система моніторингу та діагностики:

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання датчиків, що контролюють тиск, температуру, оберти, співвідношення паливо-повітря та інші параметри.

Забезпечення виявлення несправностей у режимі реального часу для запобігання неефективній роботі двигуна.

3. Інтелектуальні алгоритми управління:

Використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування і оптимізації роботи двигуна.

Автоматичне налаштування параметрів для досягнення максимального ККД за мінімальної витрати палива.

4. Системи адаптивного управління:

Регулювання параметрів двигуна залежно від режиму експлуатації, таких як швидкість, навантаження або тип палива.

Як інтеграція сучасних систем управління покращує паливну економічність

1. Оптимізація впорскування палива:

Точне дозування палива відповідно до навантаження двигуна забезпечує ефективне згоряння та зменшення витрат.

Можливість багатоступінчастого впорскування для поліпшення роботи в різних режимах.

2. Підвищення ефективності роботи допоміжних систем:

Управління системами охолодження, мастила та наддуву дозволяє знижувати енергетичні втрати.

Адаптивна робота допоміжних насосів і компресорів зменшує споживання енергії.

3. Оптимальне співвідношення паливо-повітря:

Постійний контроль і коригування цього співвідношення дозволяють забезпечити максимальну енерговіддачу при мінімальних викидах.

4. Зниження механічних втрат:

					KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Системи управління можуть регулювати роботу клапанів і турбокомпресорів для зменшення опору і втрат енергії.

5. Адаптація до типу палива:

Сучасні ECU здатні автоматично налаштовувати двигун для роботи на різних типах палива, включаючи біодизель, синтетичне паливо чи природний газ.

6. Енергозбереження через автоматизацію:

Автоматичне відключення непотрібних систем під час простою або низького навантаження знижує витрати енергії.

Додаткові переваги інтеграції сучасних систем управління

1. Зниження викидів:

Завдяки оптимізованій роботі двигуна скорочується утворення NOx, CO₂, HC і твердих частинок.

2. Підвищення надійності:

Постійний моніторинг роботи двигуна допомагає виявляти несправності до того, як вони призведуть до значних втрат ефективності.

3. Гнучкість роботи:

Двигуни з інтегрованими системами управління здатні працювати в широкому діапазоні умов, адаптуючись до різних навантажень та середовищ.

4. Економія витрат на обслуговування:

Система моніторингу зменшує ризик поломок, що потребують дорогого ремонту, а також забезпечує планове обслуговування.

Виклики впровадження сучасних систем управління

1. Висока вартість впровадження:

Інтеграція сучасних систем потребує значних інвестицій у обладнання та програмне забезпечення.

2. Необхідність навчання персоналу:

Обслуговування сучасних систем потребує кваліфікованих спеціалістів із досвідом роботи з електронними компонентами.

					KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Адаптація до старих моделей двигунів:

Модернізація застарілих двигунів може бути складною через конструктивні обмеження.

Інтеграція сучасних систем управління є важливим напрямком покращення паливної економічності середньообертових двигунів. Використання електронного управління, автоматизації та інтелектуальних алгоритмів дозволяє досягти значного зменшення витрат палива, підвищення ефективності роботи та зниження шкідливих викидів. Попри початкові витрати, ці інновації забезпечують тривалий економічний та екологічний ефект, що робить їх необхідними в сучасній інженерії двигунів.

Рекуперація енергії – це процес використання енергії, яка в традиційних системах втрачається, для виконання корисної роботи. У середньообертових двигунах рекуперація дозволяє покращити паливну економічність, підвищити ефективність роботи та зменшити рівень шкідливих викидів. Це стає можливим завдяки використанню технологій, що перетворюють невикористану енергію, таку як теплова чи механічна, у додаткову потужність [6].

Основні джерела рекуперації енергії в середньообертових двигунах

1. Енергія вихлопних газів. Вихлопні гази містять значну кількість теплової енергії, яка втрачається у традиційних двигунах. Використання цієї енергії дозволяє знизити витрати палива.

- Турбокомпаундні системи: Турбіни використовують енергію вихлопних газів для приведення в дію генераторів або додаткових механізмів двигуна.

- Теплообмінники: Енергія вихлопних газів використовується для нагрівання води, пари чи інших робочих середовищ.

2. Теплова енергія охолоджувальної системи

Втрачене тепло охолоджувальної рідини може бути використане для обігріву приміщень, виробничих процесів або перетворене в електричну енергію за допомогою термоелектричних генераторів.

3. Механічна енергія. Енергія руху рухомих частин двигуна, яка зазвичай втрачається через тертя та інерцію, може бути рекуперована:

- За допомогою систем гібридного приводу, які зберігають енергію під час гальмування або зниження швидкості.
- Використання маховиків-накопичувачів, які зберігають надлишкову енергію та повертають її у моменти пікових навантажень.

4. Система відбору потужності (РТО): Частина механічної енергії двигуна використовується для роботи допоміжних систем або генераторів безпосередньо під час роботи двигуна.

Основні технології рекуперації енергії

1. Турбокомпаундні системи

Застосування додаткової турбіни, яка розташована після турбонаддувної турбіни. Вона перетворює залишкову енергію вихлопних газів у механічну або електричну енергію.

Збільшує загальний коефіцієнт корисної дії двигуна без підвищення витрат палива.

2. Теплові генератори

Використання органічного циклу Ренкіна (ORC) для перетворення теплової енергії вихлопних газів та охолоджувальної системи в електроенергію.

Енергія може бути використана для живлення допоміжних систем або передана в енергомережу.

3. Акумуляування енергії

Системи зберігання енергії, такі як акумулятори або маховики, дозволяють зберігати надлишкову енергію для її подальшого використання.

Це особливо корисно в двигунах зі змінними навантаженнями.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4. Електрогенератори високої ефективності

Інтеграція генераторів із високим ККД, які перетворюють механічну енергію двигуна в електричну з мінімальними втратами.

Вплив рекуперації енергії на паливну економічність

1. Зменшення витрат палива

Використання раніше втрачених джерел енергії дозволяє виконувати додаткову роботу без збільшення споживання палива.

2. Підвищення загального ККД двигуна

Завдяки рекуперації двигун використовує більшу частину енергії, яка виробляється під час згоряння палива.

3. Зниження експлуатаційних витрат

Ефективніше використання палива та додаткова генерація енергії скорочують витрати на пальне та обслуговування двигуна.

4. Екологічність

Скорочення витрат палива зменшує рівень викидів CO₂, NO_x та інших шкідливих речовин.

Виклики впровадження систем рекуперації

1. Висока вартість впровадження

Технології рекуперації потребують значних інвестицій у модернізацію двигунів та впровадження спеціалізованого обладнання.

2. Необхідність адаптації до існуючих конструкцій

Установка систем рекуперації вимагає змін конструкції двигунів та додаткового простору для розміщення обладнання.

3. Додаткове технічне обслуговування

Складніші системи можуть вимагати частішого обслуговування та наявності висококваліфікованого персоналу.

Рекуперація енергії є одним із найефективніших способів підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Використання технологій перетворення втрачених енергетичних ресурсів дозволяє зменшити

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

витрати палива, підвищити загальний ККД двигуна та знизити рівень шкідливих викидів. Попри певні виклики, пов'язані з впровадженням, ці технології є перспективним рішенням для забезпечення екологічної та економічної ефективності сучасних силових установок.

Модернізація конструкції двигуна є одним із ключових напрямків підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Завдяки впровадженню сучасних технологій, використанню інноваційних матеріалів та оптимізації конструктивних елементів, двигуни можуть працювати ефективніше, споживаючи менше палива та знижуючи викиди шкідливих речовин.

Основні напрями модернізації конструкції двигуна

1. Оптимізація геометрії компонентів

Поліпшення форми поршнів, клапанів та камери згоряння для забезпечення кращого змішування палива з повітрям і повного згоряння.

Зменшення втрат енергії через турбулентність і тертя в камері згоряння та системах подачі.

2. Полегшення конструкції

Використання легких сплавів, таких як алюмінієві або титанові, для зниження маси поршнів, шатунів і інших рухомих деталей.

Встановлення порожнистих компонентів, які мають високу міцність при зменшеній вазі.

3. Зменшення механічних втрат

Впровадження низькотертяних підшипників, ущільнень і покриттів для зниження тертя між рухомими частинами.

Оптимізація системи мастила для зменшення втрат енергії через гідравлічний опір.

4. Покращення системи наддуву

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Застосування турбонаддуву з проміжним охолодженням повітря для підвищення щільності заряду і забезпечення ефективного згоряння.

Встановлення багатоступінчастих систем наддуву для оптимальної роботи в різних режимах навантаження.

5. Застосування нових матеріалів

Використання композитів і термостійких матеріалів для деталей, які піддаються високим температурам і тискам.

Застосування алмазоподібних або керамічних покриттів для покращення зносостійкості та зниження тертя.

6. Модернізація системи впорскування палива

Використання паливних систем високого тиску для забезпечення точного дозування та ефективного розпилення палива.

Впровадження багатоступінчастого впорскування для зниження витрат палива та зменшення рівня шкідливих викидів.

7. Рекуперація енергії

Інтеграція систем рекуперації теплової та механічної енергії для зменшення втрат і додаткового живлення допоміжних систем.

8. Покращення систем охолодження

Використання адаптивних систем охолодження, які регулюють роботу залежно від навантаження двигуна.

Встановлення більш ефективних теплообмінників для зниження втрат тепла.

Вплив модернізації конструкції двигуна на паливну економічність

1. Зменшення витрат палива:

Завдяки більш ефективному використанню енергії згоряння двигун споживає менше палива для досягнення тієї ж потужності.

2. Підвищення загального ККД:

Поліпшення теплового і механічного ККД двигуна забезпечує вищу ефективність його роботи.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Зниження експлуатаційних витрат:

Легші та міцніші компоненти знижують зношення деталей і зменшують витрати на обслуговування.

4. Екологічність:

Модернізовані двигуни виробляють менше викидів CO₂, NO_x та інших шкідливих речовин, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

5. Покращення роботи при змінних навантаженнях:

Сучасні двигуни з адаптивними системами забезпечують стабільну і економічну роботу в широкому діапазоні режимів.

Виклики модернізації конструкції двигуна

1. Висока вартість впровадження:

Модернізація вимагає значних фінансових інвестицій у дослідження, розробку та виробництво.

2. Складність інтеграції нових рішень:

Зміни в конструкції можуть вимагати перегляду суміжних систем і вузлів двигуна.

3. Необхідність навчання персоналу:

Обслуговування модернізованих двигунів потребує додаткових знань і навичок від технічного персоналу.

Модернізація конструкції двигуна є ефективним способом підвищення паливної економічності середньообертових двигунів. Впровадження сучасних матеріалів, технологій і конструктивних рішень дозволяє суттєво зменшити витрати палива, покращити ефективність роботи двигуна і знизити його вплив на довкілля. Незважаючи на початкові витрати, модернізація забезпечує довгострокові переваги як для економіки, так і для екології.

Висновок

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш ефективним є двофазна подача палива, яка дозволить покращити економічні та екологічні показники.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДВОФАЗНОЇ ПОДАЧІ ПАЛИВА В ДВИГУНІ WARTSILA 8L32

Тепловий розрахунок двигуна WARTSILA 8L32

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Робочий цикл двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) є сукупністю повторюваних процесів, які перетворюють теплову енергію палива на механічну роботу. Це складний фізико-хімічний процес, для точного аналітичного розрахунку якого без залучення експериментальних коефіцієнтів сучасні методи поки що не дозволяють отримати результати. У зв'язку з цим для розрахунків зазвичай використовують спрощені моделі, серед яких особливо поширеним є цикл Гриневецького-Мазінга [7].

Даний розрахунковий цикл (рис. 3.1) складається з наступних процесів: політропного стиснення (t-c), ізохорного процесу (c-y), ізобарного процесу (y-z), політропного розширення (z-b) та ізохорного процесу (b-t), який завершує цикл.

Метод Гриневецького-Мазінга здобув популярність завдяки здатності забезпечувати достатню точність розрахунків при відносно простих обчисленнях. Ця методика є ефективним інструментом для аналізу процесів, що протікають у ДВЗ [8].

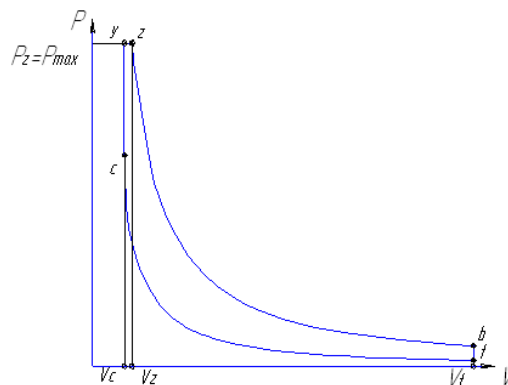


Рисунок 3.1 – Теоретичний цикл

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Результати розрахунку циклу двигуна

Точність розрахунку задовільна у випадку різниці між заданою і розрахунковою потужністю не більше 0,5%.

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,33}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,8} \right] = 440,165$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 440,165 - 0,85 \times (440,165 - 293) = 315,075$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{315,075 + 10 + 0,02 \times 700}{1 + 0,02} = 332,426$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,33 - 0,004 = 0,326$$

$$P_a = 0,975 \times P_s = 0,975 \times 0,326 = 0,318$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,318}{0,326} \times \frac{315,075}{332,426} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0) = 0,971$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,364$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,318 \times 15^{1,364} = 12,776$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l - 1} = 332,426 \times 15^{1,364 - 1} = 890,787$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,77}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,37$$

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,37} = 1,0231$$

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0231 + 0,02}{1 + 0,02} = 1,0226$$

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

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0231 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,968 = 1,022$$

$$\frac{\xi_z \times Q_h}{\alpha \times L_0} + [c_v' + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times (c_v'' + 8,314 \times \lambda)] \times T_c = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times c_{pz}'' \times T_z$$

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

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

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

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

$$T_z = 1653 \text{ К}$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,1 \times 12,776 = 14,054$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,022}{1,1} \times \frac{1653}{890,787} = 1,724$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,724} = 8,702$$

$$n_2 = 1,295$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} = 1653 \times \frac{1}{8,702^{1,295 - 1}} = 872$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{14,054}{8,702^{1,295}} = 0,852$$

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{12,776}{15 - 1} \times \left[1,1 \times (1,724 - 1) + \frac{1,1 \times 1,724}{1,295 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{8,702^{1,295 - 1}} \right) - \frac{1}{1,364 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,364 - 1}} \right) \right] = 1,921$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 1,921 \times 0,99 \times (1 - 0) = 1,902$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,326 \times 0,971}{2,77 \times 0,495 \times 315,075 \times 1,902} = 0,167$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_H} = \frac{3600}{0,167 \times 42700} = 0,506$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,902 \times 0,92 = 1,75$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,167}{0,92} = 0,182$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,32^2 \times 0,35 \times 0,5 \times 1,75 \times 750 \times 8 = 2464$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{2464 - 2400}{2464} \times 100\% = 0,196\%$$

Точність розрахунку задовільна, різниця між заданою і отриманою в результаті розрахунку потужності не перевищує 0,5%.

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

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

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,32^2}{4} \right) \times 0,35 \times \left(\frac{0,326 \times 10^6}{287 \times 315,075} \right) \times 0,971 \times 8 \times 0,5 \times \left(\frac{750}{60} \right) \times 1 = 4,925$$

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 4,925 + 0,182 \times \frac{2464}{3600} = 5,049$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,896 \times 0,33 = 0,296$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 938,692 \times \left(\frac{0,296}{0,852} \right)^{\frac{1,295-1}{1,295}} = 685,286$$

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

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,77 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,77 \times 0,495) = 1,403$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,403 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,403 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,77 - 1) \times 0,495}{1,403 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,77 \times 0,495}{1,403 \times 296,8}} = 287,562$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 685,286) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 685,286} = 1,383$$

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

$$= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,383}{1,383-1} \right) \times 287,562 \times 685,286 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,296}{0,1013} \right)^{\frac{1,383-1}{1,383}}} \times 0,93 \times 0,85 \times 5,049 \right] \times \frac{1}{0,286}}{1,092 \times 287 \times 298 \times \left(\frac{1,4}{1,4-1} \right) \times \frac{1}{0,73}} \right] = 3,262$$

$$P_{kd} = P_k \times P_0 = 3,262 \times 0,1013 = 0,3305$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,3305 - 0,33}{0,3305} = 0,139\%$$

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

Модернізація двигуна WARTSILA 8L32 шляхом використання двофазної подачі палива

Більшість відомих способів реалізації двофазного впорскування палива характеризуються подачею невеликої кількості палива в першій пілотній фазі, достатньої для запалення палива в другій основній фазі, при цьому введення другої порції палива забезпечує максимальну швидкість горіння з моменту, відповідного 10...15° повороту колінчастого вала за верхню мертву точку, а завершується процес горіння не пізніше 40...60 ° повороту колінчастого вала за верхню мертву точку.

В даній роботі пропонується використати двофазну подачу палива, яка дозволяє забезпечити зниження викидів як оксидів азоту, так і окису вуглецю, вуглеводнів і диму за рахунок організації процесу горіння, який відрізняється

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зниженням максимальної швидкості тепловиділення в центральній фазі процесу горіння і відносним підвищенням її в більш пізній фазі, з початком відносного підвищення швидкості горіння, зміщеним щодо фази максимальної швидкості горіння на $8...10^\circ$ повороту колінчастого вала в напрямку його обертання, що забезпечується за допомогою впорскування палива в дві фази, при цьому уприскування першої основної порції палива, що становить $90...92\%$ від циклової подачі, проводиться в фазі, що забезпечує досягнення максимальної швидкості горіння в момент, відповідний $15...18^\circ$ повороту колінчастого вала за верхню мертву точку, а фаза уприскування другої порції палива, що становить відповідно $8...10$ відсотків циклової подачі, зміщена щодо фази максимальної швидкості горіння на $6...8^\circ$ повороту колінчастого вала в напрямку його обертання.

На рис. 3.2 наведені діаграми впорскування і характеристик тепловиділення, а саме кількості виділеного тепла (X) і швидкості тепловиділення ($dX/d\varphi$), характерні для режиму повної потужності середньообертового двигуна внутрішнього згорання з циліндровою потужністю $200...400$ кВт, при організації способу його роботи за трьома варіантами, а саме:

- а) з впорскуванням в одну фазу;
- б) з впорскуванням в дві фази з першої пілотної фазою, що становить 15% циклової подачі;
- в) з впорскуванням в дві фази, з кількістю палива в першій основній фазі 91% циклової подачі.

З порівняння наведених на кресленні діаграм видно, що при способах роботи двигуна з обома варіантами двофазного впорскування (варіанти «б» і «в») в зв'язку з впорскуванням в основній фазі тільки частини циклової подачі, максимальний тиск впорскування нижче на величину відповідно спосіб роботи двигуна внутрішнього згорання, δ_1 і δ_2 , а максимальна швидкість

згоряння нижче на величину відповідно δ_3 і δ_4 , ніж при способі з впорскуванням в одну фазу (варіант «а»).

Ця обставина обумовлює певні можливості обох способів з двофазним впорскуванням в частині зниження утворень і викиду з відпрацьованими газами двигуна оксидів азоту за рахунок зниження максимальної температури циклу горіння.

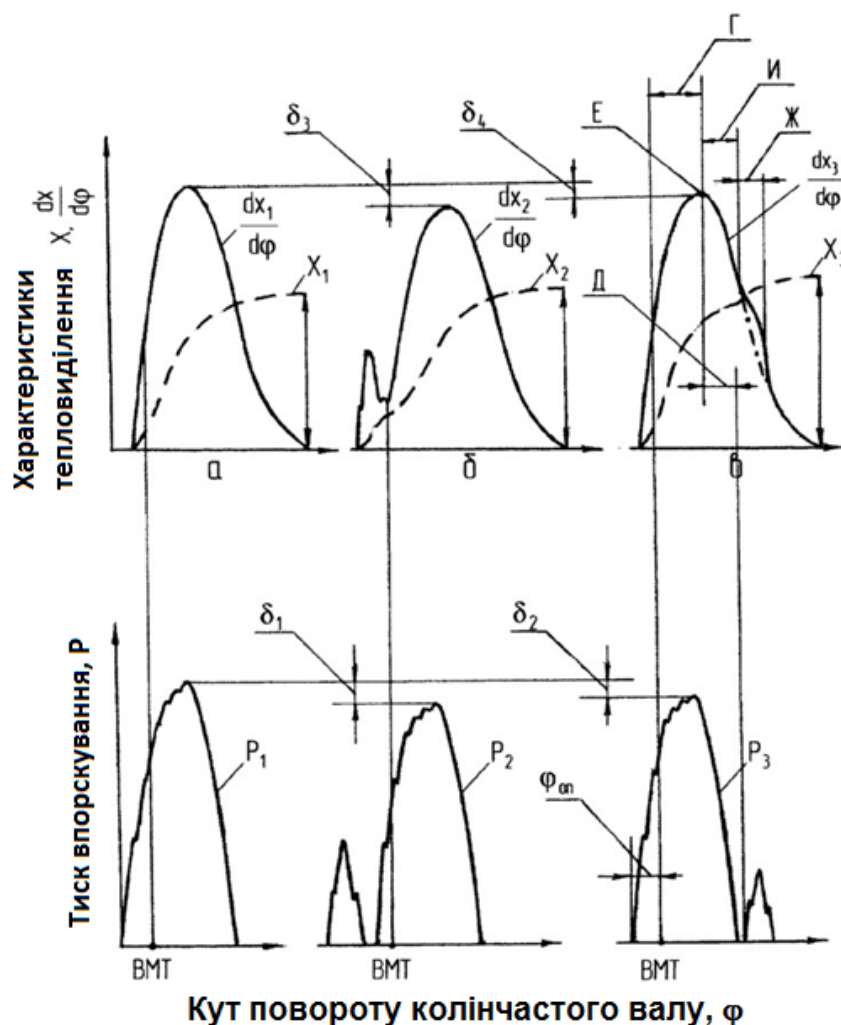


Рисунок 3.2 – Основні характеристики роботи двигуна при різних способах впорскування палива:

а – з впорскуванням в одну фазу; б – з впорскуванням в дві фази з першої пілотної фазою, що становить 15 % циклової подачі; в – з впорскуванням в дві фази, з кількістю палива в першій основній фазі 91 % циклової подачі

При запропонованому способі роботи двигуна за допомогою відповідного випередження впорскування ($\phi_{оп}$) і відповідної кількості палива, що впорскується в першій фазі, а саме 90...92 % циклової подачі, забезпечується така динаміка процесу згоряння, при якій максимальна швидкість згоряння досягається в фазі (Е), зміщеної щодо ВМТ в напрямку обертання колінчастого вала на кут (Γ), що дорівнює 15...18°, а після початку інтенсивного зниження швидкості горіння, після повороту колінчастого вала за фазу (Е) на кут (Д), що дорівнює 6...8°, здійснюється впорскування другої порції палива, що становить 8...10 % циклової подачі.

Введення в процес горіння цієї порції палива, а також певний її гомогенізований ефект, який оказує фізичну дію струменями і факелами палива на продукти горіння, призводить до відносної активізації процесів окислення в кінцевій фазі згоряння, з відносним підвищенням швидкості тепловиділення на ділянці (Ж), з початком відносного підвищення швидкості згоряння, зміщеним щодо фази (Е) в напрямку обертання колінчастого вала на кут (І), що дорівнює 8...10°. В результаті більш повного окислення продуктів згоряння знижується вміст у відпрацьованих газах окису вуглецю, вуглеводів і диму.

У таблиці наведені значення питомої витрати палива і вміст викидів оксидів азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів і диму, характерні для режиму повної потужності середньообертових ДВЗ з циліндричної потужністю 200...400 кВт, при трьох проілюстрованих на рис. 3.1 способах роботи двигуна.

Як видно з наведених у таблиці даних, при способі роботи двигуна з впорскуванням в дві фази (1 – 91%) викиди окису вуглецю, вуглеводнів і диму нижче, ніж при способі з двофазної подачею і пілотним впорскуванням, а щодо способу з впорскуванням в одну фазу (варіант «а»), крім того, нижче і викиди оксидів азоту. При цьому, на відміну від способу з двофазної подачею і пілотним впорскуванням, при способі роботи двигуна з впорскуванням в дві

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

фази (1 – 91%) зниження викидів шкідливих речовин забезпечується без погіршення витрати палива щодо, наприклад, способу роботи двигуна з впорскуванням в одну фазу.

Таблиця 3.1 – Основні економічні та екологічні характеристики роботи ДВЗ при різних способах подачі палива

Найменування, позначення та розмірність параметрів процесу згоряння	Способи подачі палива у ДВЗ		
	Впорскування в одну фазу	Впорскування в дві фази (1 – 15%)	Впорскування в дві фази (1 – 91%)
Питома витрата палива g_e	100 %	+ 5 %	– 1,5 %
Викиди оксидів азоту NO_x	100 %	– 13 %	– 12,5 %
Викиди окису вуглецю CO	100 %	– 4,5 %	– 73,5 %
Викиди вуглеводнів	100 %	– 16,5 %	– 27 %
Вміст диму	100 %	+ 300 %	– 20 %

В даній роботі пропонується здійснювати двофазне впорскування палива за допомогою форсунки спеціальної конструкції.

Відома форсунка з двофазним впорскуванням (Патент США № 4768719 від 06.09.88 р), що включає корпус з прикріпленням до нього за допомогою гайки і за допомогою проставки розпилювачем. У корпусі виконано глухий ступеневий осьовий отвір, в якому розміщуються дві пружини, що навантажують за допомогою штанги запірну голку розпилювача. Пружина, яка спирається на дно глухого отвору, постійно на всій довжині ходу запірної голки здійснює її навантаження, інша ж пружина, через шайбу спирається на ступінчастий перехід осьового отвору, додатково навантажує запірну голку розпилювача тільки в кінцевій фазі її ходу. Таким чином здійснюється так

зване "двофазне" впорскування палива, при якому паливоподача має ступінчастий характер, що забезпечує "м'який" процес згоряння і як результат – низьку шумність, високу економічність і екологічність дизеля. Конструктивною особливістю цієї форсунки є наявність двох пружин різного діаметру, що обумовлено ступінчастістю отворів корпусу. Таке технічне рішення є суперечливим і вкрай неефективним, так як пружина, яка спирається на дно глухого ступеневого отвору корпусу форсунки, конструктивно має діаметр, менший діаметру другої пружини, а навантаження несе, навпаки, більше.

Зазначений недолік усунуто в іншій відомій конструкції фірми BOSCH в якій використовуються дві рівного діаметра пружини, встановлені в безступінчастому отворі корпусу форсунки. Така можливість забезпечується за рахунок специфічного способу закріплення опорної шайби всередині осьового отвору - шляхом її зачеканки в результаті обтиску корпусу форсунки з зовнішнього боку. Таке технічне рішення також має істотний недолік, що полягає в тому, що форсунка стає частково нерозбірною, а регулювання тиску початку впорскування в процесі експлуатації - неможливою.

В роботі пропонується вдосконалити відомі форсунки з двофазним впорскуванням шляхом форсунку шляхом модернізації конструкції вузла закріплення опорної шайби всередині осьового отвору корпусу форсунки.

Модернізація досягається тим, що у запропонованій конструкції, що включає корпус з прикріпленням до нього за допомогою гайки і за допомогою проставки розпилювачем і розміщеними в його глухому осьовому отворі двома пружинами рівного діаметру, навантажуючими за допомогою штанги запірну голку розпилювача, одна з яких спирається на дно глухого отвору корпусу, а інша - на шайбу, закріплену всередині цього отвору, на поверхні глухого отвори з боку розпилювача виконуються поздовжні пази, а шайба має сполучені з ними відповідної форми виступи.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На рис. 3.3 зображена запропонована форсунка. Форсунка включає корпус 5, до якого за допомогою гайки 10 через проставку 2 кріпиться розпилювач 1, що містить запірну голку 9. У корпусі 5 виконано глухий осьовий отвір, на дно якого спирається пружина 6, яка навантажується через регулювальну шайбу 7, за допомогою штанги 3, запірну голку 9 розпилювача 1. Друга пружина 8, рівна по діаметру пружині 6, спирається на шайбу 4, що має виступи 11, за допомогою яких вона фіксується, яка сполучається з відповідної форми поздовжніми пазами 12, виконаними на поверхні глухого отвори корпусу 5 з боку розпилювача 1. Пружина 8 встановлена щодо фланця штанги 3 з зазором, меншим ходу запірної голки 9 розпилювача 1.

Процес паливоподачі відбувається наступним чином. У міру зростання тиску палива, з моменту початку підйому запірної голки 9, залежного від величини попереднього навантаження пружини 6 за допомогою регулювальної шайби 7, здійснюється перша фаза подачі палива через соплові отвори розпилювача 1 при обмеженому ході запірної голки 9 в межах зазору. Потім, при подальшому зростанні тиску палива починається стискатися і друга пружина 8, забезпечує дозавантаження запірної голки 9 і другу фазу паливоподачі в межах повного ходу запірної голки 9 розпилювача 1.

Принципова особливість пропонованої форсунки, яка полягає в тому, що на поверхні глухого отвору з боку розпилювача 1 виконуються поздовжні пази 12, а шайба 4 має сполучення з ними відповідної форми виступів 11, обумовлює можливість використання пружин максимально можливого, рівного діаметру, а також регулювання тиску початку впорскування в експлуатації, що поряд з технологічністю забезпечує і високі функціональні показники в порівнянні з відомими рішеннями.

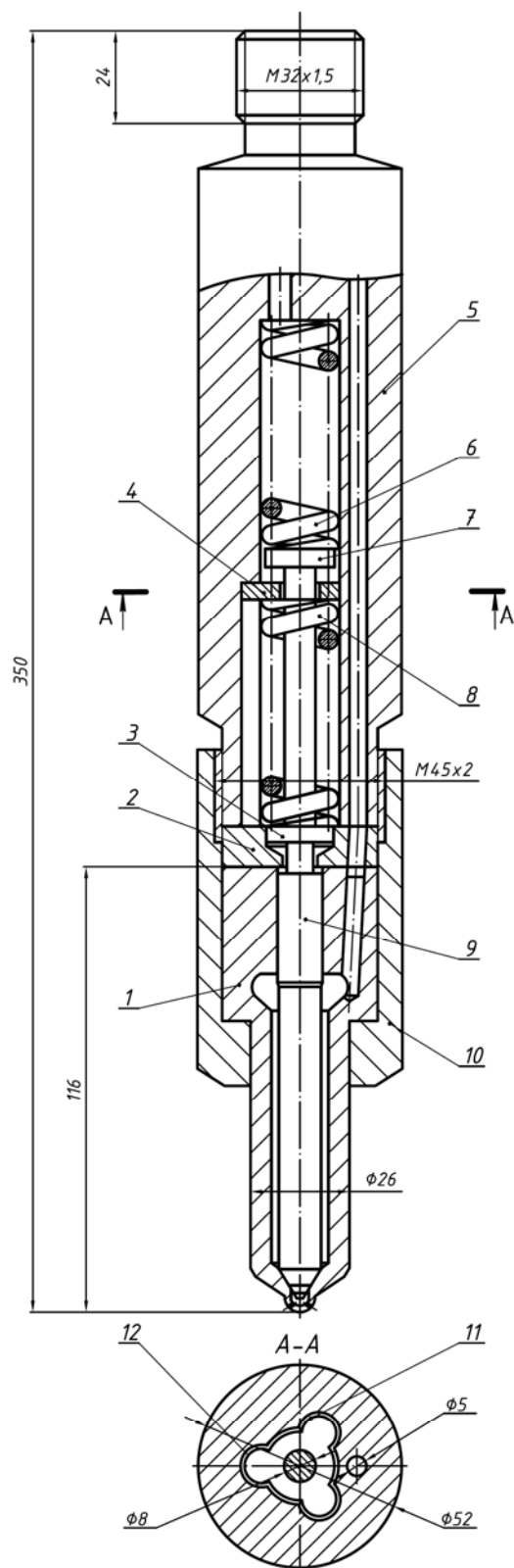


Рисунок 3.3 – Форсунка з двофазним впорскуванням палива:

- 1 – розпилювач; 2 – проставка; 3 – штанги; 4 – шайба; 5 – корпус; 6 – перша пружина; 7 – регулювальна шайба; 8 – друга пружина; 9 – запірна голка; 10 – гайка; 11 – виступи; 12 – поздовжні пази

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ

Аркуш

53

Таким чином згідно рекомендацій які представлені в табл. 3.1 використання двофазного впорскування значно покращує економічні та екологічні показники роботи двигуна WARTSILA 8L32. Основні кількісні показники представлені в табл. 3.2.

Таблиця 4.2 – Основні економічні та екологічні характеристики роботи двигуна WARTSILA 8L32 при різних способах подачі палива

Найменування, позначення та розмірність параметрів процесу згоряння	Способи подачі палива у ДВЗ		
	Впорскування в одну фазу	Впорскування в дві фази (1 – 15%)	Впорскування в дві фази (1 – 91%)
Питома витрата палива g_e , г/(кВтхгод)	182	191	180
Викиди оксидів азоту NO_x , г/(кВтхгод)	9,71	8,46	8,51
Викиди окису вуглецю CO , г/(кВтхгод)	5,12	4,89	1,36
Викиди вуглеводнів, г/(кВтхгод)	0,85	0,71	0,62
Вміст диму (од. Бош)	0,20	0,60	0,16

РОЗДІЛ 4

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ

Газорозподільний механізм забезпечує управління процесами впуску і випуску відповідно до встановлених фаз газообміну. У суднових двигунах внутрішнього згоряння використовуються клапанні, золотникові та комбіновані системи газорозподілу. У клапанних системах газорозподілу для чотиритактних двигунів відкриття і закриття впускних та випускних отворів у кришках циліндрів здійснюється за допомогою клапанів.

Газорозподільний механізм (рис. 4.1) складається з впускних і випускних клапанів, деталей приводу до них (штовхачів, штанг, важелів), розподільного вала з кулачковими шайбами, клапанних пружин, тарілок пружин та деталей кріплення.

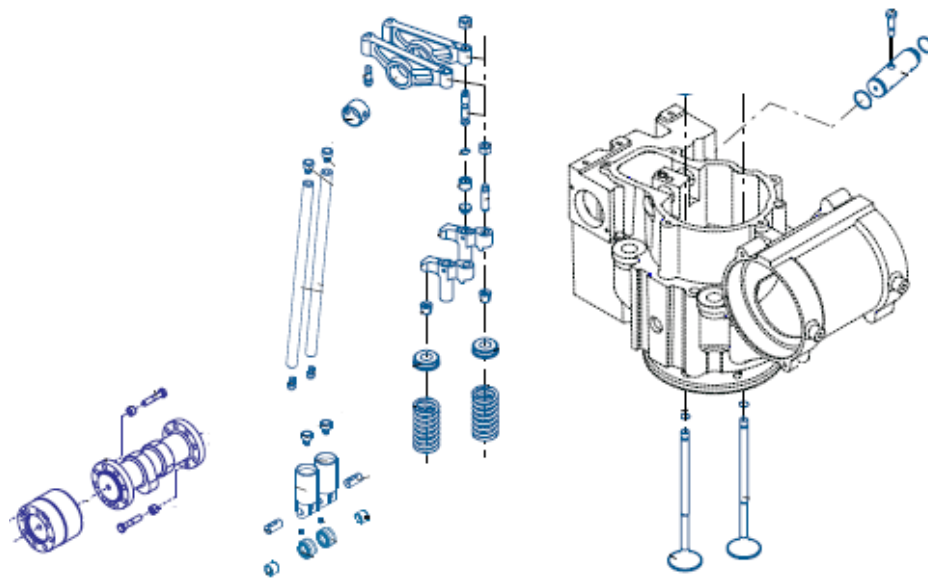


Рисунок 4.1 – Газорозподільний механізм

Демонтаж циліндрового комплексу двигуна

Підготовка перед демонтажем

- 1) Спустіть воду з двигуна.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

- 2) Зніміть верхню кришку.
- 3) Зніміть бічні кришки на обох сторонах двигуна.
- 4) Зніміть кожух газового вихлопу.

Розбирання з'єднань

- 5) Відключіть колектор випускних газів від кришки, знявши хомут.
- 6) Відключіть паливну трубку високого тиску.
- 7) Відключіть чотири затискачі для кріплення з'єднання охолоджуючої води між кришками циліндра, знявши кріпильні болти на затискачах.
- 8) Проштовхніть з'єднання охолоджуючої води вліво, дивлячись з боку управління.
- 9) Спустіть воду з охолоджуючої сорочки на зворотному боці кришки під вихлопною трубою.
- 10) Від'єднайте два затискачі для кріплення з'єднань надувного повітря, знявши кріпильні болти для затискачів.
- 11) Проштовхніть з'єднання надувного повітря всередину кришки циліндра, яка повинна бути знята. Проштовхніть з'єднання вліво, дивлячись з боку управління, рис. 4.2.

Розбирання шатуна і морської головки

- 12) Послабте гайки шатуна за допомогою гідравлічних пристосувань.
- 13) Зніміть гайки шатуна вручну.

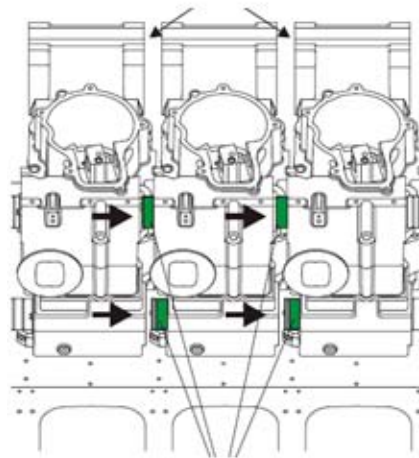


Рисунок 4.2 – Зміщення з'єднання охолоджуючої води і з'єднання надувного повітря вправо, дивлячись з боку вихлопу

14) Поверніть поршень в ВМТ

15) Встановіть поворотний кронштейн між морської головкою шатуна і противагою

Монтаж опорних пристосувань

16) Встановіть опору для кріплення шатуна до втулки циліндра за допомогою монтажного болта, рис. 4.3.

17) Зніміть гайки кришки циліндра за допомогою гідравлічних пристосувань.

18) Встановіть під'ємний пристрій на кришці циліндра

Виймка циліндрового комплексу з двигуна

19) Акуратно підніміть циліндровий комплект з двигуна.

Увага! Будьте обережні і не пошкодьте різьбу на гідравлічних болтах при підйомі циліндрового комплексу.

20) Опустіть і закріпіть циліндровий комплект на спеціальному робочому столі або на дерев'яних опорах на палубі і зніміть під'ємний пристрій.

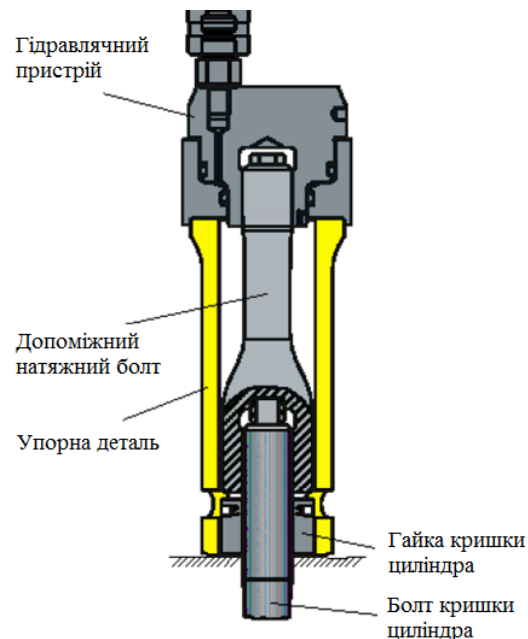


Рисунок 4.3 – Гідравлічний пристрій для демонтажу гайок кришки циліндра

Розбирання циліндрового комплекту

Виймка поршня і шатуна

- 1) Переверніть комплект дном вгору.
- 2) Зніміть опорне пристосування з втулки циліндра і шатуна.
- 3) Встановіть ремболт в нижній частині шатуна.
- 4) Вийміть поршень і стрижень шатуна.
- 5) Переверніть комплект назад у вихідне положення.

Зняття кришки циліндра

- 6) Зніміть п'ять шестигранних болтів з охолоджувальної водяної сорочки.
- 7) Встановіть підйомне пристосування на кришку циліндра.
- 8) Зніміть кришку циліндра за допомогою підйимального пристрою.
- 9) Зніміть штанги і штовхачі клапанів.

Перевірка впускного і випускного клапанів і спрямовуючої клапана

Ремонт шпинделів впускних і випускних клапанів

- 1) Встановіть кришку циліндра на стіл або на дерев'яні опори на палубі і зніміть підйомне пристосування.
- 2) Зніміть вісь коромисла і коромисло. Зніміть траверсу (місток) шпинделів клапанів.
- 3) Встановіть знімач пружини клапана (В)
- 4) Стисніть пружини клапана, загвинчуючи гайку А
- 5) Вийміть конічні кільця ("сухарі")
- 6) Відпустіть пружини знову, послабивши гайку А.
- 7) Зніміть ротатор клапана і пружину.
- 8) Виштовхніть шпindelь клапана.
- 9) Повторіть пункти 4 - 8 для зняття шпинделів інших клапанів.

Перевірка клапанів / сідел клапанів

Якщо сідло клапана прогоріло або має великі глибокі задираки, воно повинно бути відшліфоване за допомогою шліфувального верстата для сідел клапанів.

Перевірка направляючої клапана

10) Очистіть направляючу клапана.

11) Перевірте і виміряйте знос

Якщо внутрішній діаметр направляючої шпинделя клапана, заміряний нижче О-кільця, перевищує зазор, 16,2 мм для впускного та випускного клапанів (холодний двигун 5-50 °С), напрямна клапана повинна бути замінена.

12) Змініть О-кільце всередині направляючої клапана.

Монтаж шпинделя клапана

13) У частині монтажу шпинделя клапана див. пункти 3-8 в зворотному порядку.

Відновлення посадки клапана

Відновлення сідел клапанів проводиться за допомогою шліфувальної машинки, направляючий шток якої повинен бути встановлений в направляючу шпинделя клапана.

Це вірно лише для сідла випускного клапана. Сідло впускного клапана не має такого поглиблення в зв'язку з меншим його зносом.

Шліфування сідел клапана

Шліфування сідла клапана повинна бути виконана в наступній послідовності:

1) Пришліфуйте посадкову поверхню з подачею під кутом "А" $=30^{\circ}\pm0,05^{\circ}$

2) Продовжуйте шліфування до отримання чистої і рівної поверхні.

3) Проведіть остаточне шліфування з подачею в напрямку з середини назовні. Зазвичай цим досягається найкраща якість поверхні.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

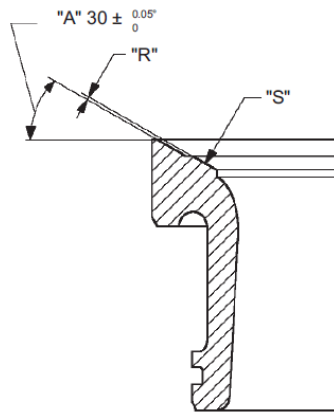


Рисунок 4.5 – Сідло клапана

Демонтаж сідла клапана

Якщо відновлення сідла клапана неможливо, тому що його розміри перевищують допустимі для притирання, то сідло клапана має бути замінено.

Демонтаж сідла клапана проводиться за допомогою спеціального знімного пристосування, див. рис. 4.5.

Демонтаж сідла клапана проводиться таким чином

- 1) Приваріть за допомогою електрода старе сідло клапана в 3 місцях близько 5 сек.
- 2) Зачекайте 60 секунд, поки сідло охолоне і звільниться.
- 3) Встановіть знімач і витолкніть сідло клапана. (Якщо час очікування не дотримано, знімач може бути пошкоджений).
- 4) Сідло клапана легко знімається поворотом ручки

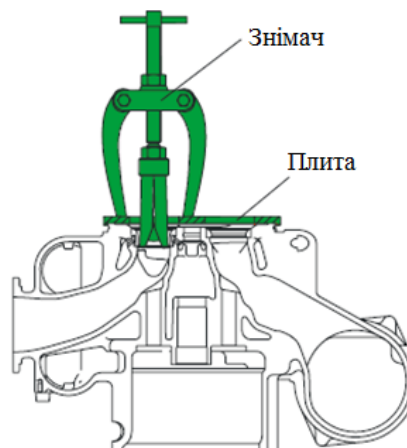


Рисунок 4.5 – Зняття сідла клапана

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5) Перед монтажем нового сидла клапана отвір повинен бути ретельно очищено і перевірено на вм'ятини. Відмітини, які можуть бути перешкодою при монтажі сидла клапана, повинні бути видалені.

6) Перед монтажем охолодіть сидло клапана до -25°C , інакше О-кільце може бути пошкоджено. Нанесіть Локтайт 648.

7) Покладіть О-кільце на сидлі клапана і перед установкою його в отвір покрийте маслом або Локтайтом 648

8) Перед монтажем шпинделя клапана сидло клапана має бути прошліфоване так, щоб забезпечити правильне його центрування в направляючій клапана і сидлі клапана.

Відновлення шпинделя клапана

Відновлення шпинделя клапана виконується на токарному верстаті, при цьому шпиндель клапана, який обертається, обробляється шліфувальною машинкою, закріпленою на різцетримачі.

Шліфування шпинделя клапана

1) Шліфуйте посадкову поверхню з подачею під кутом $"A" = 30^{\circ} \pm 0,5$

2) Продовжуйте шліфування до отримання чистої, рівної поверхні.

3) Після завершення шліфування перевірте розмір "Н"

"Н" 1 повинен бути не менше, ніж 5,4 мм. Якщо цей розмір менше, ніж зазначено, то шпиндель необхідно замінити.

Заміна направляючої клапана

Якщо внутрішній діаметр направляючої клапана перевищує 16,2 мм, направляюча повинна бути замінена.

Демонтаж направляючої клапана

1) виколоти направляючу клапана з днища кришки циліндра за допомогою борідка

Монтаж направляючої клапана

2) Ретельно очистіть отвір в кришці циліндра.

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 3) Перед монтажем охолодіть нову направляючу клапана до близько - 70 °С азотом.
- 4) Вставте направляючу клапана в отвір
- 5) Переконайтеся, що направляюча клапана повністю увійшла всередину.
- 6) Вставте нове О-кільце в верхню частину направляючої клапана.

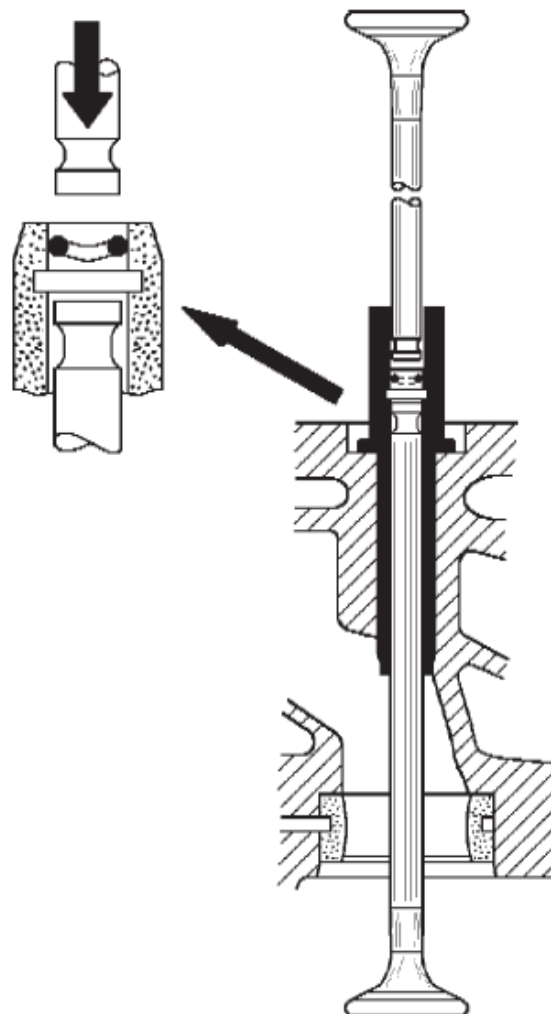


Рисунок 4.6 – Установка нового О-кольца в направляющую клапана

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Безпека праці на судні є одним із ключових аспектів забезпечення ефективної експлуатації судна, охорони здоров'я екіпажу та запобігання аварійним ситуаціям. Для цього необхідно дотримуватися комплексу заходів, спрямованих на створення нешкідливих умов праці, попередження травматизму та мінімізацію ризиків, пов'язаних із судноплавством [9].

Основні напрями забезпечення безпечних умов праці

1. Організаційні заходи:

Розробка і впровадження інструкцій: Кожен член екіпажу повинен бути ознайомлений із правилами безпечного виконання робіт та діями у разі надзвичайних ситуацій.

Систематичні навчання і тренування: Регулярне проведення навчань із безпеки, евакуації, протипожежного захисту, використання рятувального обладнання.

Контроль за виконанням правил: Капітан та інші старші офіцери зобов'язані контролювати дотримання норм охорони праці та безпеки екіпажем.

2. Інженерно-технічні заходи:

Технічне обслуговування обладнання: Регулярна перевірка та ремонт механізмів і систем для запобігання їх несправностям, які можуть загрожувати безпеці.

Удосконалення робочих місць: Забезпечення відповідного освітлення, вентиляції, шумозахисту та ергономічності робочих зон.

Захист від небезпек: Встановлення огорожень, сигналізаційних пристроїв, протиковзних покриттів у зонах підвищеної небезпеки.

3. Особистий захист:

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): Забезпечення екіпажу рятувальними жилетами, касками, рукавицями, захисними окулярами, взуттям із протиковзною підошвою та іншими ЗІЗ.

Контроль за використанням ЗІЗ: Регулярна перевірка стану та правильності використання захисного обладнання.

4. Санітарно-гігієнічні заходи:

Дотримання гігієни на судні: Регулярне прибирання приміщень, контроль за якістю питної води та їжі.

Вентиляція і кондиціонування: Підтримання оптимального температурного режиму та забезпечення чистого повітря.

Медичне забезпечення: Наявність медичного пункту, аптечки, засобів першої допомоги та кваліфікованого медичного персоналу на борту.

5. Пожежна безпека:

Забезпечення протипожежного обладнання: Наявність справних пожежогасників, систем пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння.

Проведення навчань: Тренування екіпажу з виявлення і ліквідації осередків займання.

Контроль за дотриманням правил: Заборона куріння у невстановлених місцях, контроль за використанням відкритого вогню.

6. Безпека під час роботи з небезпечними вантажами:

Маркування вантажів: Чітке позначення небезпечних матеріалів і дотримання правил їх транспортування.

Спеціальне обладнання: Використання засобів захисту від впливу шкідливих речовин, таких як гази, хімікати чи вибухонебезпечні матеріали.

Інструктаж: Навчання персоналу правилам роботи з небезпечними речовинами.

7. Психологічна підтримка екіпажу:

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Запобігання перевтомі: Організація правильного графіка роботи та відпочинку для уникнення втоми.

Забезпечення комфортних умов проживання: Створення сприятливого середовища на судні для підтримання морального духу екіпажу.

Забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на судні потребує комплексного підходу, що включає організаційні, технічні, санітарні та освітні заходи. Дотримання цих вимог дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я та життя екіпажу, підвищує ефективність роботи і сприяє безпечній експлуатації судна.

Охорона екіпажу в надзвичайних ситуаціях є одним із ключових завдань судновласників, капітана та офіцерів. Належне управління безпекою під час аварійних подій допомагає зберегти життя та здоров'я людей, мінімізувати наслідки інциденту та забезпечити координацію дій у кризових умовах.

Основні принципи охорони екіпажу

1. Попередження надзвичайних ситуацій:

Постійний контроль за станом суднового обладнання та систем.

Дотримання нормативів безпеки під час виконання операцій.

Проведення навчань для екіпажу з попередження та реагування на аварійні події.

2. Підготовка екіпажу:

Інструктаж і тренування: Регулярні заняття з використання рятувального обладнання, протипожежного інвентарю та дій у разі евакуації.

План дій у надзвичайних ситуаціях: Розробка та ознайомлення з процедурою дій під час пожеж, затоплення, зіткнень або аварійних висадок.

Перевірка готовності: Проведення періодичних інспекцій рятувальних засобів і навчальних тривог.

3. Рятувальне обладнання:

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Особисті засоби захисту: Забезпечення екіпажу рятувальними жилетами, костюмами та засобами дихального захисту [10].

Колективні рятувальні засоби: Наявність на борту рятувальних шлюпок, плотів, сигнального обладнання та аварійних маяків (EPIRB).

Системи зв'язку: Оснащення судна радіостанціями, системами глобального морського зв'язку (GMDSS) і аварійними сигналізаторами.

4. Дії у разі надзвичайних ситуацій:

Пожежа

Швидке інформування екіпажу через системи аварійного оповіщення.

Використання протипожежного обладнання: вогнегасників, автоматичних систем пожежогасіння, водяних чи пінних систем.

Евакуація екіпажу з небезпечної зони відповідно до інструкцій.

Затоплення

Закриття водонепроникних перебірок і люків для обмеження розповсюдження води.

Використання насосів для видалення води із затоплених відсіків.

Евакуація екіпажу у разі загрози втрати плавучості.

Евакуація

Вихід екіпажу до рятувальних шлюпок або плотів за сигналом тривоги.

Використання рятувальних жилетів та костюмів для захисту від низьких температур і води.

Передача сигналів лиха за допомогою радіо- і світлосигналів.

Людина за бортом

Миттєве оголошення аварійної ситуації та позначення місця перебування людини у воді.

Використання рятувальних кіл або пристроїв для підйому постраждалого на борт.

Надання першої допомоги після порятунку.

5. Психологічна підтримка екіпажу:

					КРМ.142.6221мз.24.10.00.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проведення бесід і тренувань для підготовки до дій у кризових ситуаціях.

Забезпечення спокійної атмосфери під час надзвичайної ситуації, щоб уникнути паніки.

Організація відпочинку та відновлення морального стану після аварійних подій.

6. Взаємодія з зовнішніми службами:

Використання радіозв'язку для координації з береговими рятувальними службами та іншими суднами.

Активне співробітництво з морськими аварійно-рятувальними координаційними центрами (MRCC).

Ефективна охорона екіпажу в надзвичайних ситуаціях базується на ретельній підготовці, регулярних навчаннях і чіткому виконанні плану дій. Використання сучасного рятувального обладнання, своєчасне реагування на інциденти та координація з зовнішніми службами забезпечують збереження життя та здоров'я членів екіпажу навіть у найскладніших умовах.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної кваліфікаційної роботи було проаналізовано конструктивні особливості чотирьохтактного середньообертового двигуна Wartsila 8L32, проведено аналіз сучасних способів підвищення паливної економічності. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що одним з перспективних способів підвищення економічних та екологічних показників двигуна є використання двофазної подачі палива.

Була модернізована паливна система двигуна шляхом використання впорскування в дві фази, з кількістю палива в першій основній фазі 91 % циклової подачі. Це дозволило отримати викиди окису вуглецю, вуглеводнів і диму нижче, ніж при способі з двофазної подачею і пілотним уприскуванням, а в порівнянні з впорскуванням в одну фазу, ще і нижче викиди оксидів азоту. При цьому, на відміну від способу з двофазної подачею і пілотним впорскуванням, зниження викидів шкідливих речовин забезпечується без погіршення витрати палива.

В розділі охорони праці розглянуті основні напрями забезпечення безпечних умов праці та питання охорони екіпажу в надзвичайних ситуаціях.

					<i>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2010. The Royal Institution of Naval Architects, 2004. pp. 52 - 53.
2. Wartsila 8L32. Project guide, 2013. 254 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>KPM.142.6221мз.24.10.00.ПЗ</i>	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		