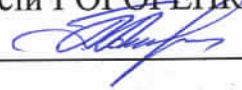


Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

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



« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПИЛЮВАЧІВ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти



Радіон КОРНЄЄВ

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

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Корнєєв Радіон Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення конструкції розпилювачів паливних форсунок середньообертового двигуна

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 – МаК 8М20С, паливо – дизельне, потужність двигуна – 1360 кВт, частота обертання колінчастого валу – 900 хв^{-1}

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

*Застосування двигуна MaK 8M20C на судні «VILLE DE BORDEAUX»;
Сучасні напрямки модернізації паливних форсунок судових двигунів; Модернізація
паливних форсунок двигуна MaK 8M20C шляхом вдосконалення конструкції
розпилювачів; Особливості технічного обслуговування паливних форсунок двигуна
MaK 8M20C; Забезпечення вимог охорони праці*

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд машинного відділення судна «VILLE DE BORDEAUX»;
Поперечний розріз двигуна MaK 8M20C; Паливна система двигуна MaK 8M20C;
Розпилювач форсунки; Технічне обслуговування форсунок

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>Радіон КОРНЄВ</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	<i>Василь НАЛИВАЙКО</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення роботи паливної системи двигуна МаК 8М20С шляхом вдосконалення конструкції розпилювачів. Розглянуто особливості технічного обслуговування паливних форсунок. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 64 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

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

The qualification work develops a set of measures to improve the operation of the fuel system of the MaK 8M20C engine by improving the design of the nozzles. The features of maintenance of fuel injectors are considered. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 64 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1

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

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна MaK 8M20C на судні «VILLE DE BORDEAUX».....	5
Розділ 2. Сучасні напрямки модернізації паливних форсунок суднових двигунів.....	17
Розділ 3. Модернізація паливних форсунок двигуна MaK 8M20C шляхом вдосконалення конструкції розпилювачів.....	27
Розділ 4. Особливості технічного обслуговування паливних форсунок двигуна MaK 8M20C.....	43
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	51
Висновки.....	58
Список використаної літератури.....	59
Додаток А. Загальний вигляд машинного відділення судна «VILLE DE BORDEAUX».....	60
Додаток Б. Поперечний розріз двигуна MaK 8M20C.....	61
Додаток В. Паливна система двигуна MaK 8M20C.....	62
Додаток Г. Розпилювач форсунки.....	63
Додаток Д. Технічне обслуговування форсунок.....	64

ВСТУП

Надійність, економічність і стабільність роботи дизельних двигунів безпосередньо залежать від якості та ефективності паливної апаратури. Одним з основних чинників, що впливає на їх роботу, є стан паливної системи, зокрема її компонентів. Форсунки є одним із ключових елементів цієї системи. Неналежна робота форсунок може призвести до зменшення ресурсу двигуна, втрати потужності, а іноді й до поломки інших важливих частин двигуна. Приблизно 40% всіх відмов дизельних двигунів обумовлені несправностями паливних систем, з яких близько 80% відмов припадає саме на форсунки. Надійність і довговічність форсунок визначаються стабільністю їх роботи та безвідмовною роботою розпилювачів. Виготовлення прецизійних пар (плунжерні пари паливних насосів, голка та корпус розпилювача форсунки) є складним і дорогим процесом, що призводить до підвищення вартості паливної апаратури.

Мета даної роботи – розробити умови щодо покращення функціонування форсунок суднового середньообертового двигуна шляхом вдосконалення конструкції розпилювачів.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості конструкції й експлуатації суднового середньообертового двигуна.
2. Модернізація паливних форсунок.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – паливна форсунка.

Предмет дослідження – параметри паливної форсунки.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА МАК 8M20 НА СУДНІ «VILLE DE BORDEAUX»

Літак А380 є новітнім продуктом спільного європейського консорціуму Airbus, і його розробка створила серйозні логістичні проблеми, головним чином, через основу концепції Airbus, яка передбачає виробництво основних компонентів у низці європейських країн та їх транспортування до Тулузи на півдні Франції для збірки. Через величезні розміри цих частин було обрано морський транспорт для перевезення передньої і задньої секцій фюзеляжу з Гамбурга, хвостової секції з Пуерто-Реаль (Іспанія), кабіни пілота і центроплану з Сен-Назера, і крил з Північного Уельсу (Великобританія), що вимагало будівництва спеціальних терміналів в деяких портах завантаження/розвантаження, а також спеціальних суден для транспортування компонентів в обмежених водних шляхах.

Морську частину операції виконує судно типу «ро-ро» VILLE DE BORDEAUX (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1), яке сконфігуроване за схемою поромної переправи з повнорозмірною надбудовою, увінчаною містком і житловими приміщеннями прямо в носовій частині [1]. Корпус воронки знаходиться на кормі, над машинним відділенням.

Доступ на головну палубу (№ 3) здійснюється через корму за допомогою роздвоєної кормової рампи шириною 21 м і довжиною 13,5 м. Основний вантажний простір пропонує безперешкодний об'єм довжиною 120 м, висотою 11 м і шириною 21 м для розміщення компонентів А380 і простягається між палубами №3 і №5, між якими знаходиться причіпна палуба (№4), що піднімається, і на яку можна дістатися за допомогою підйомної рампи. Доступ до нижнього вантажного відсіку, розташованого між баком (палуба №1) і головною палубою (палуба №3), здійснюється за допомогою пандуса, оснащеного відкидною кришкою з останньої палуби.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Судно VILLE DE BORDEAUX

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

Цей простір містить підйомну автомобільну палубу (№ 2), доступ до якої здійснюється за допомогою підйомної рампи.

TTS поставила пакет для доступу до вантажу, який важить майже 930 тон, разом з кришками люків на палубах 3 і 5, а також спеціально розробленими швартовними циліндрами, розташованими на кормі, P&S. Вони мають вантажопідйомність 50 тон і забезпечують достатню міцність, щоб витримати течію в 6 вузлів і силу вітру в кормі в 8 балів за шкалою Бофорта. Гідравлічна і механічна робота системи організована з використанням високотехнологічної автоматики і пов'язана зі складною системою управління, контролю і моніторингу потужності Kongsberg, яка обробляє понад 4200 сигналів.

Судно ходить під прапором Франції. Позивний судна – FZCE. ІМО– 9270842. MMSI – 228084000.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	154,15
Довжина між перпендикулярами, м	138,00
Ширина найбільша, м	24,00
Проектна осадка, м	5,50
Максимальна осадка, м	6,60
Дедвейт, т	5200
Швидкість судна, вуз	21
Об'єм баластних цистерн, м ³	4305
Об'єм цистерн важкого палива, м ³	1027
Об'єм цистерн дизельного палива, м ³	342
Повна водотоннажність судна, т	11518
Водотоннажність судна порожнем, т	8600

Опис енергетичної установки

Головна енергетична установка містить два двигуни Caterpillar MaK 9M43. Кожен з них розвиває потужність 8400 кВт, вони приводять у рух два гребних гвинта через редуктори Flender, забезпечуючи робочу швидкість судна при 90% MCR, з 15% морського запасу, 21 вузол. Кожен редуктор має відбір потужності на генератор змінного струму потужністю 1400 кВт. Також судно забезпечено трьома дизель-генераторами потужністю 1615 кВА, де в якості двигунів використовуються Caterpillar MaK 8M20C потужністю 1360 кВт кожний. Також встановлені два носові рушії потужністю 1000 кВт.

Опис допоміжних двигунів MaK 8M20C

MaK 8M20 (рис. 1.3) це чотиритактний дизельний двигун, нереверсивними, з турбонаддувом, проміжним охолодженням і з прямим впорскуванням палива.

Конфігурація: 8 – рядний;

Діаметр циліндра: 200 мм;

Хід поршня: 300 мм;

Співвідношення хід поршня/діаметр: 1,5;

Робочий об'єм: 9,4 л. на циліндр;

Циліндрична потужність: 170 кВт;

Середній ефективний тиск: 2,41 МПа;

Частота обертання колінчастого вала: 900 об/хв.;

Середня швидкість поршня: 9 м/с;

Турбонаддув: ізобарного типу.

Напрямок обертання: за годинниковою стрілкою.

Розроблений і спроектований у відповідь на особливі вимоги морського застосування, найбільш вражаючими особливостями цього двигуна є його висока надійність і економічність.

					KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

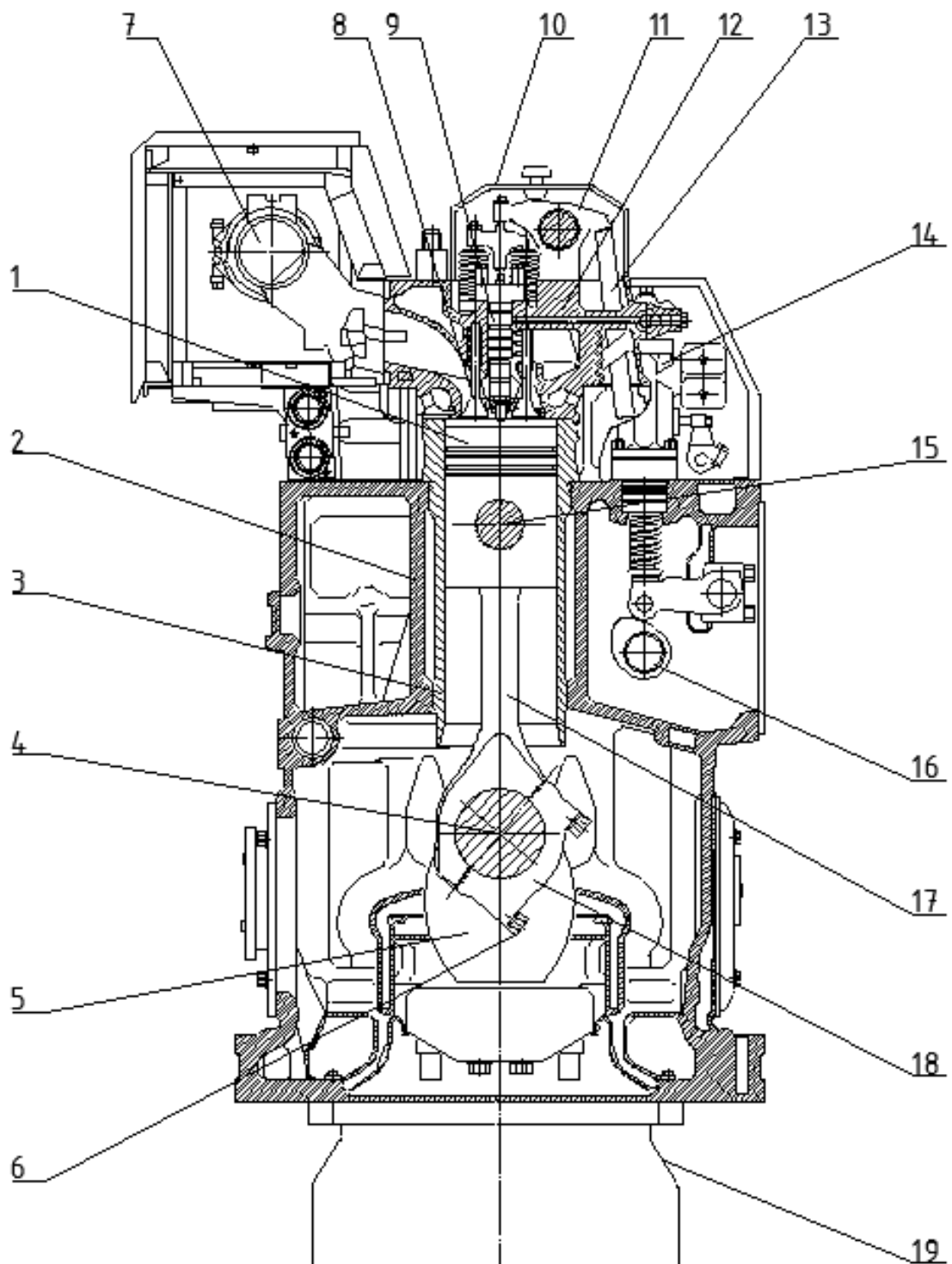


Рисунок 1.3 – Поперечний переріз двигуна MaK 8M20:

1 – поршень; 2 – блок-картер; 3 – гільза циліндра; 4 – шатунна шийка;
 5 – противага; 6 – з'єднувальні болти; 7 – впускний ресивер; 8 впускний
 клапан; 9 – паливна форсунка; 10 – кришка циліндра; 11 – коромисло;
 12 – головка циліндра; 13 – штанга; 14 – ПНВТ; 15 – поршневий палець;
 16 – розподільний вал; 17 – ша-тун; 18 – нижня головока шатуна; 19 – піддон

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ

Аркуш

10

Ці характеристики допомагають пояснити постійний високий ринковий попит на М 20 С як на двигун для суднових пропульсивних установок [2], так і для суднових генераторних установок.

Принцип довгоходової конструкції є основою відмінного процесу згоряння з низьким споживанням палива і мастила, а також низьким рівнем викидів NOx. Двигун М 20 С відповідає вимогам стандарту SOLAS.

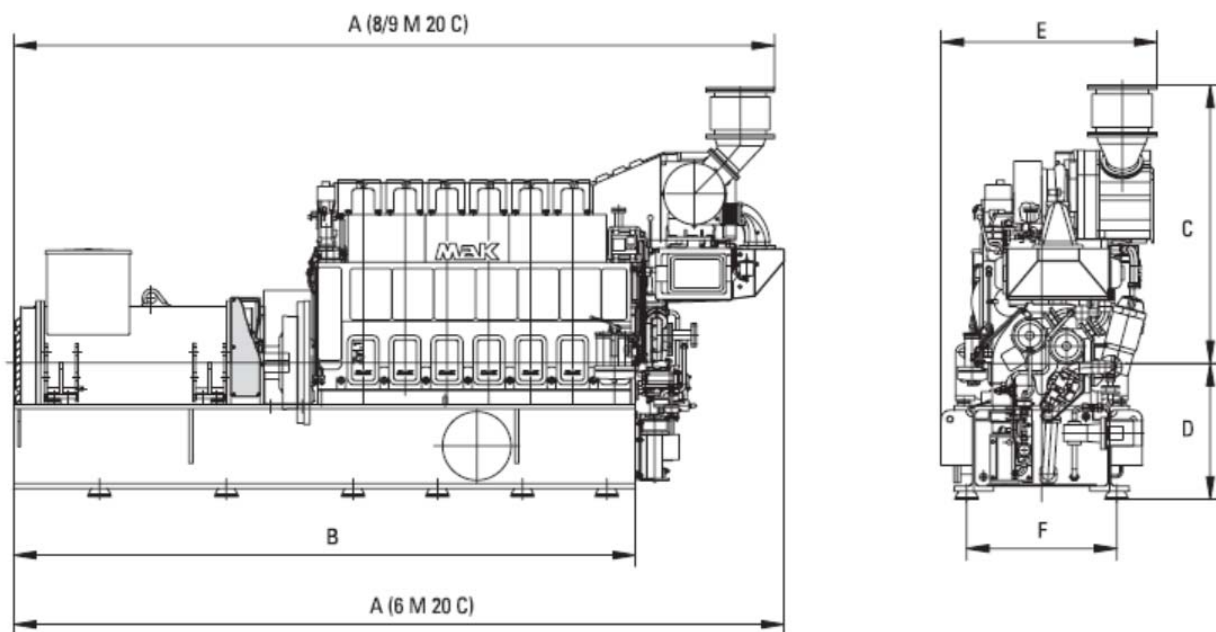
Його інтелектуальна простота означає високу функціональну інтеграцію меншої кількості компонентів. Менша кількість компонентів означає більшу надійність і легше обслуговування.

В цілому, це призводить до надзвичайно низьких експлуатаційних витрат і швидкої окупності інвестицій. Надійність і простота обслуговування є переконливими аргументами на користь двигунів цієї серії.

8M20C – це двигун з високим рівнем безпеки. Це стосується не тільки особливостей конструкції, які гарантують тривалий термін служби компонентів і високу експлуатаційну готовність, а й безпеки в зоні навколо двигуна. Таким чином, норми SOLAS суворо і послідовно дотримуються. Вибухозахисна кришка корпусу циліндра/картера та облицювання всієї паливної та вихлопної системи з нержавіючої сталі є частиною загальної концепції безпеки SOLAS.

Дизельна генераторна установка (рис. 1.4) в зборі вирізняється простотою монтажу, надійною роботою, зручністю обслуговування та хорошим доступом до компонентів. Основу складають жорстка рама, на якій встановлені двигун і генератор змінного струму з інтегрованим масляним піддоном, великим об'ємом масляного бака та універсальним обладнанням для роботи як у режимі HFO, так і в режимі MDO.

					<i>KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Generating set (Dimensions in mm)							
Engine	A	B	C	D	E	F	tons
6 M 20 C	6073	4900	2165	1054	1680	1170	11.0
8 M 20 C	6798	5548	2335	1054	1816	1170	14.0
9 M 20 C	7128	5875	2335	1054	1816	1170	15.0

Рисунок 1.4 – Загальний вигляд дизель-генераторної установки

Турбонаддув (рис. 1.5) відрізняється швидким відгук двигуна, тривалим терміном служби підшипників турбокомпресора. Корпус турбокомпресора без водяного охолодження.

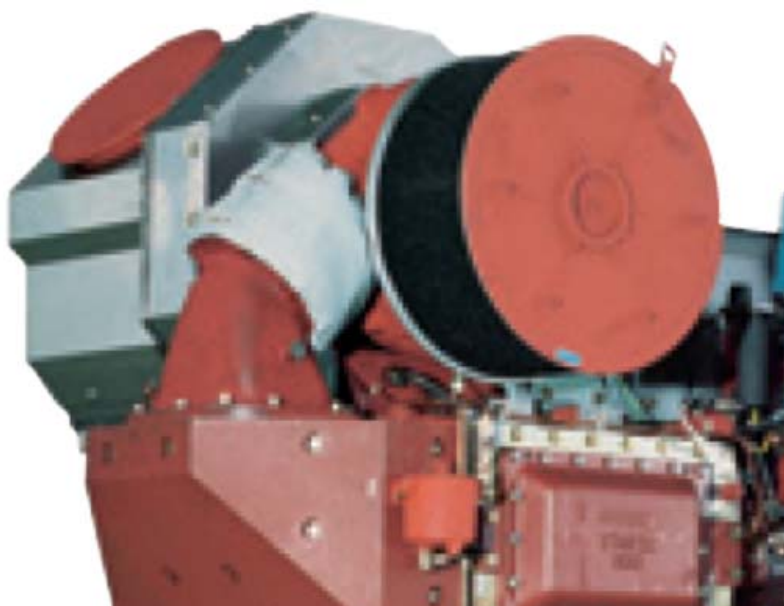


Рисунок 1.5 – Турбокомпресор

Стенд для управління двигуном (рис. 1.6). Надійна робота двигуна забезпечується завдяки безпосередньому монтажу стенду управління на двигуні.



Рисунок 1.6 – Стенд для управління двигуном

Кришка циліндра (рис. 1.7) виготовлена з чавуну з кулястим графітом. Конструкція характеризується інтенсивним охолодженням камери згоряння та сідел випускних клапанів, підвищеною надійністю завдяки інтегрованим каналам для робочих середовищ, а також простотою обслуговування завдяки роз'ємним з'єднанням і чотирьом шпилькам з гідравлічним затягуванням

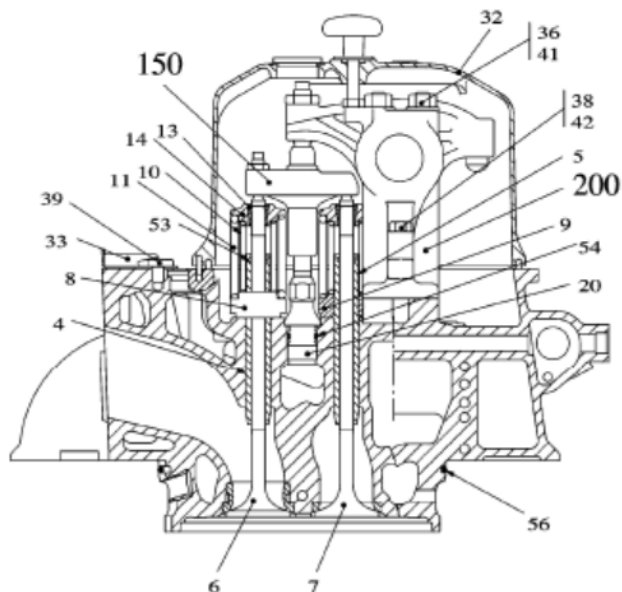


Рисунок 1.7 – Кришка циліндра

Блок-картер (рис. 1.8) двигуна. Основні особливості:

- відсутність охолоджувальної води в блоці двигуна;
- міцна основа для підшипників колінчастого та розподільчого валів завдяки власній жорсткості;
- легкий доступ для огляду та обслуговування;
- надійне кріплення двигуна на фундаменті;
- зручний в обслуговуванні.

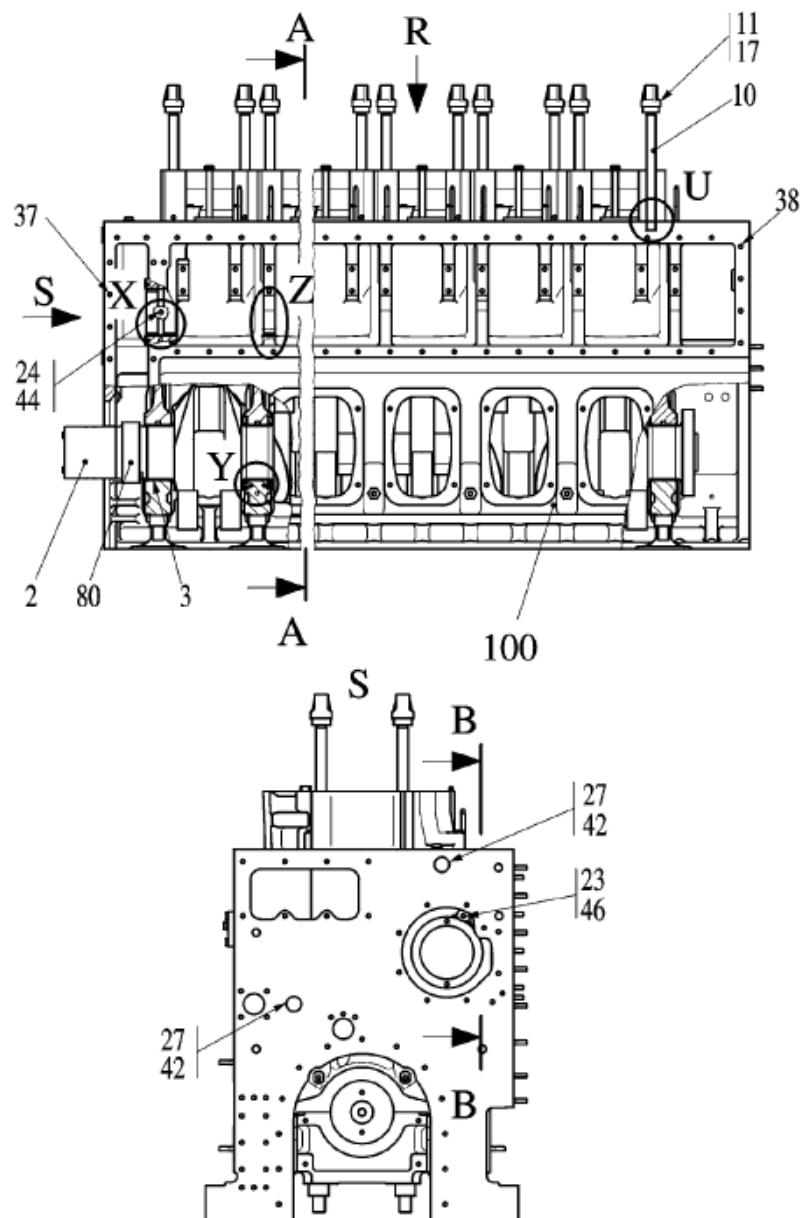


Рисунок 1.8 – Блок-картер

Поршень (рис. 1.9) складається з міцної головки з кованої сталі з двома кільцевими канавками (перша кільцева канавка має загартовану поверхню) та довгої алюмінієвої спідницію. Поршневі кільця відрізняються тривалим терміном служби.

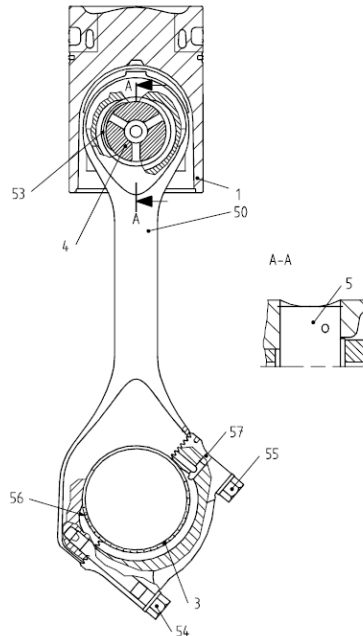


Рисунок 1.9 – Поршень з шатуном

Розподільчий вал (рис. 1.10) характеризується легким обслуговуванням завдяки простій конструкції. Вбудовані нерегульовані кулачки для впорскування та регулювання фаз газорозподілу. Низький знос завдяки розташуванню важеля кулачкового механізму.



Рисунок 1.10 – Розподільчий вал

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Основні особливості монтажу (рис. 1.11):

- конічні гумові елементи ізолюють динамічні зусилля двигуна та шуми від конструкції. Горизонтальні, бічні та вертикальні обмежувачі комбінуються для обмеження руху двигуна;
- динамічно збалансована, дуже гнучка муфта;
- гнучкі з'єднання для будь-яких середовищ;
- спеціально розроблені сільфони для вихлопних газів.

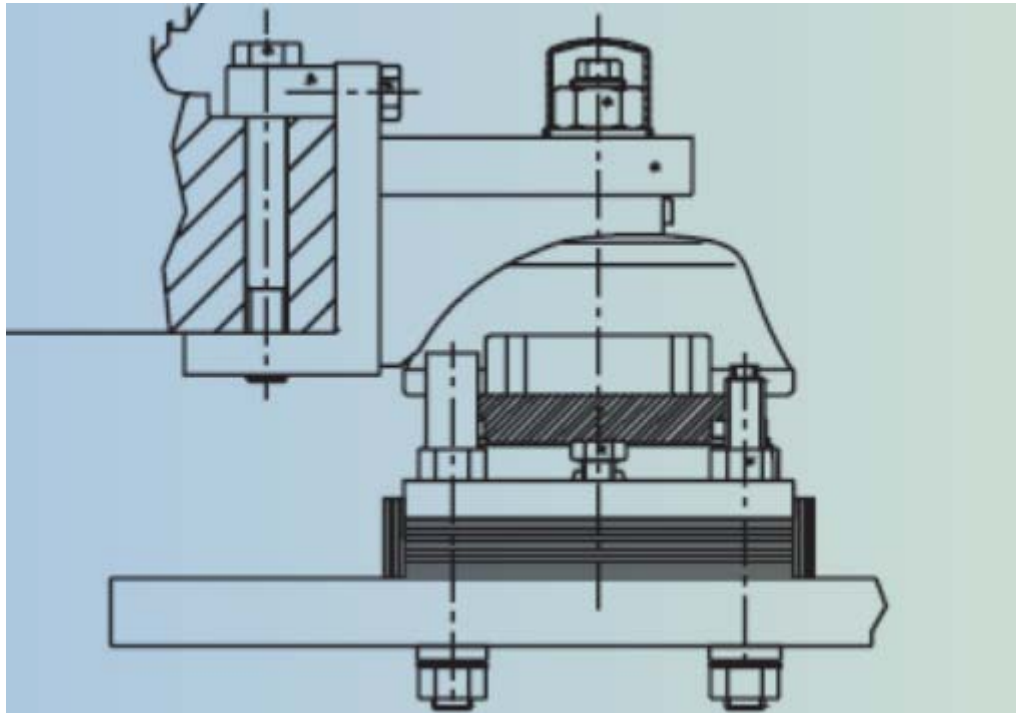


Рисунок 1.11 – Монтаж двигуна

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

У сучасних умовах розвитку суднобудування та морського транспорту, важливим фактором, що визначає ефективність і екологічність роботи суднових двигунів, є система паливоподачі. Одним із ключових елементів цієї системи є паливні форсунки, які відповідають за розпилювання палива у камері згоряння та створення оптимальних умов для його повного згоряння. Зважаючи на високі вимоги до економії пального, зниження викидів шкідливих речовин та забезпечення стабільної роботи двигунів в умовах жорсткої екологічної та економічної конкуренції, модернізація паливних форсунок є надзвичайно актуальним напрямком [3].

Роль паливних форсунок у роботі суднових двигунів

Паливна форсунка — це важлива деталь, що відповідає за подачу пального в камеру згоряння дизельного двигуна. Від якості її роботи залежить не тільки потужність і економічність двигуна, але й рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Основні функції паливних форсунок включають:

Розпилювання палива: форсунка повинна забезпечити рівномірне і точне розпилення пального в камері згоряння для забезпечення ефективного і повного згоряння.

Регулювання кількості палива: точне дозування пального відповідно до умов роботи двигуна, що забезпечує економічність споживання пального.

Забезпечення стабільності процесу згоряння: від форсунки залежить, наскільки рівномірно відбувається згоряння палива, що прямо впливає на стабільність роботи двигуна та зменшення коливань навантаження.

Форсунки можуть бути різного типу залежно від конструкції двигуна та специфіки пального (наприклад, для дизельних або газових двигунів).

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зокрема, для суднових двигунів найчастіше використовуються дизельні форсунки високого тиску, здатні працювати в умовах великих навантажень і різних температурних режимів.

Основні проблеми та виклики

З часом паливні форсунки зазнають зносу та зниження ефективності, що може призвести до значних проблем у роботі двигуна:

Збільшення витрат пального: при зниженні ефективності розпилення палива двигун може споживати більше пального, що веде до економічних втрат.

Забруднення вихлопних газів: недостатнє згоряння палива призводить до підвищених викидів чадного газу, оксидів азоту та інших шкідливих речовин, що негативно позначається на екології.

Недостатня потужність двигуна: неправильно налаштовані форсунки можуть зменшити потужність двигуна, що впливає на швидкість та маневреність судна.

Технологічні інновації у модернізації паливних форсунок

Сучасні напрями модернізації паливних форсунок включають ряд інноваційних технологій, які дозволяють значно покращити їх ефективність, знизити витрати пального та зменшити викиди шкідливих речовин.

Форсунки високого тиску

Одна з основних тенденцій у розробці сучасних форсунок — підвищення робочого тиску. Форсунки, що працюють під високим тиском (100 МПа і більше), забезпечують більш точне та ефективне розпилювання палива. В результаті покращується процес згоряння, зменшується витрати пального, а також знижуються викиди шкідливих речовин.

Системи з автоматичним регулюванням

Сучасні форсунки оснащуються системами автоматичного регулювання, які дозволяють коригувати кількість палива, що подається, в залежності від режиму роботи двигуна. Це дає можливість значно знизити витрати пального

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

в умовах частих змін навантаження та забезпечити стабільне горіння за різних температурних умов.

Системи точного контролю розпилювання

Технології точного контролю над процесом розпилення палива дозволяють значно покращити якість згоряння. Використання таких систем забезпечує оптимальне розподілення палива по всій площі камери згоряння, що сприяє рівномірному і більш повному згорянню палива.

Використання альтернативних палив

Іншою важливою тенденцією є розвиток форсунок, здатних працювати з альтернативними видами палива, такими як біопаливо, синтетичне паливо, зріджений природний газ (LNG) та водень. Це дозволяє зменшити екологічний вплив суднових двигунів і відповідати вимогам міжнародних екологічних стандартів, таких як MARPOL.

Удосконалення матеріалів

Матеріали, з яких виготовляються форсунки, також зазнають значних змін. Сучасні форсунки часто виготовляються з композитних матеріалів, що мають високу зносостійкість та термостійкість. Це дозволяє знизити швидкість зносу форсунок та збільшити термін їх служби.

Аналіз конструкції сучасних форсунок чотиритактних суднових двигунів

Для полегшення компонування на дизелі форсунки повинні мати мінімальні розміри. Крім того, зменшення обсягу внутрішньої порожнини форсунки дозволяє підвищити тиск упорскування й скоротити шкідливий вплив хвиль тиску на процес паливоподачі. Для чотиритактних суднових середньо- і високообертових дизелів центральне розташування форсунки в кришці циліндрів, коли сопловий наконечник є рівновіддаленим від стінок камери згоряння, є найбільш типовим [4]. Приклад центрального розташування форсунки в кришці циліндрів середньообертового двигуна типу L32/40 фірми MAN наведено на рис. 2.1.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

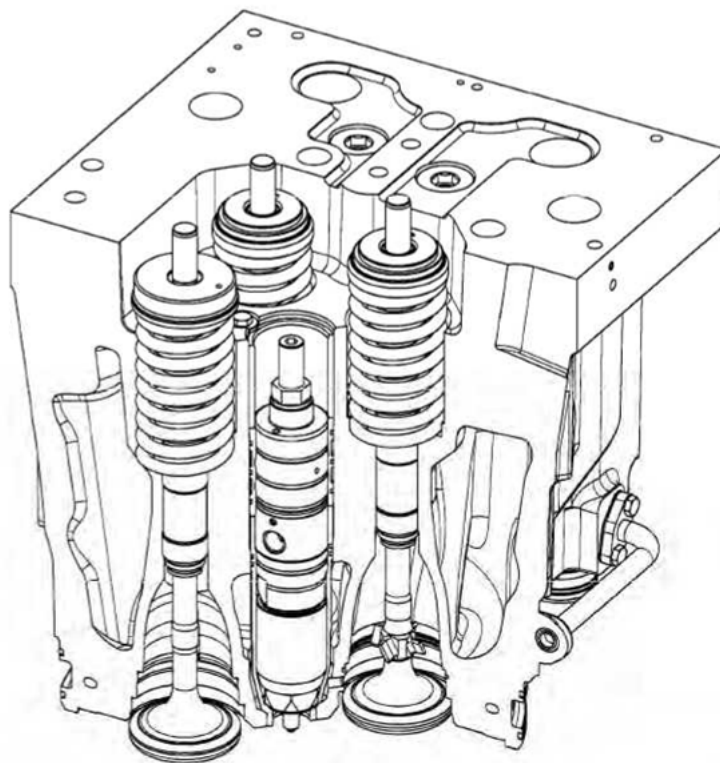


Рисунок 2.1 – Розташування форсунки в кришці циліндру середньообертового дизеля 32/40 фірми MAN

Із усього різноманіття конструкцій, на суднових дизелях найбільш поширені форсунки закритого типу. Тобто форсунки, у яких установлений спеціальний клапана, що роз'єднує порожнину розпилювача форсунки й робочого циліндру протягом усього циклу окрім процесу упорскування. Як правило, для цього використовуються голчасті клапани з автоматичним відкриттям, під дією тиску палива, що подається, від паливного насосу в порожнину форсунки. Деякі конструкції форсунок середньо- і високообертових суднових двигунів наведено на рис. 2.2.

Притиснення голчастого клапана до сідла здійснюється за допомогою циліндричної пружини, яка передає зусилля на хвостовик клапану через спеціальну рухливу штангу. Наявність штанги дозволяє винести пружину із зони дії високих температур, полегшити регулювання форсунки п зменшити габарити розпилювача.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

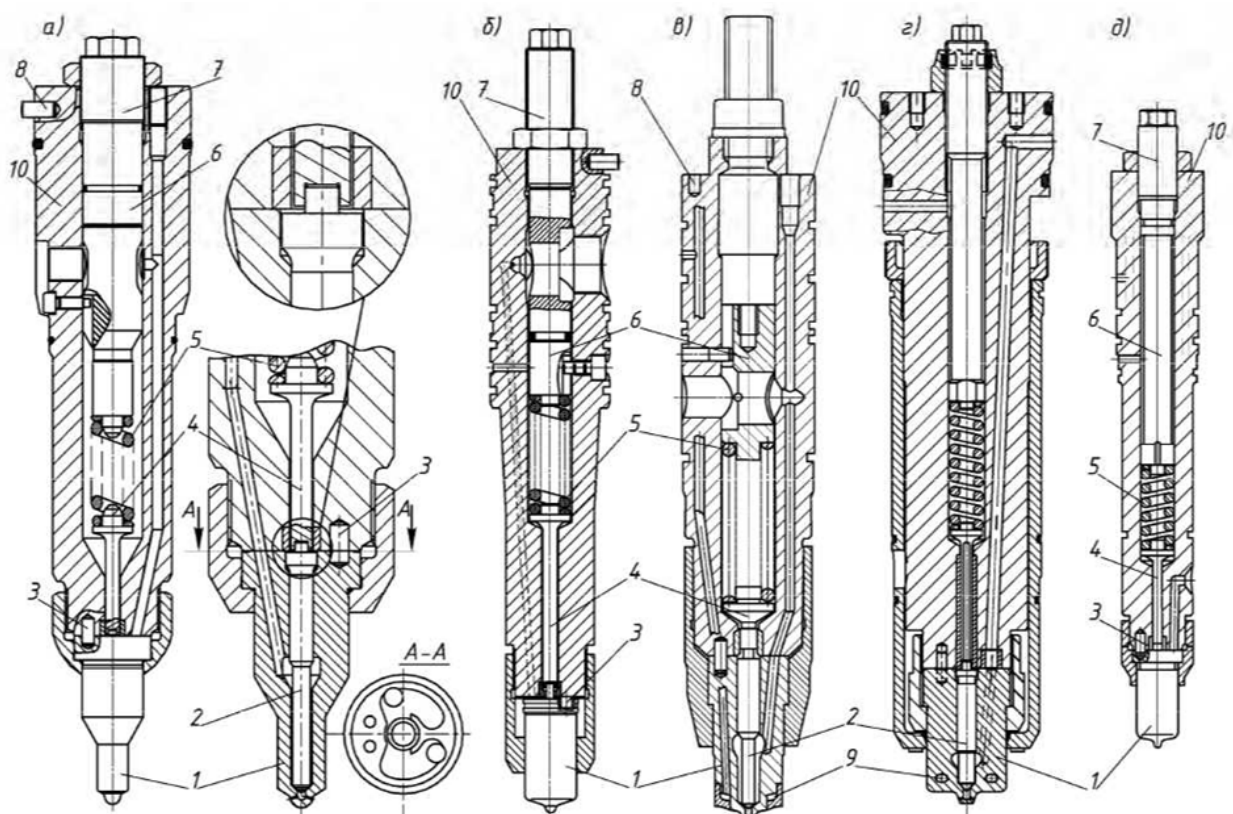


Рисунок 2.2 – Форсунки середньо й високообертових суднових двигунів:

а – L/W46 фірми Wartsila; б – M 25 C фірми MaK; в – L32/40 фірми MAN;

г – PC2 фірми MAN-Pielstick; д – TBD 645 фірми Deutz MWM:

- 1 – корпус розпилювача; 2 – голчастий клапан розпилювача; 3 – установочний штифт; 4 – штанга приводу голчастого клапана; 5 – пружина, що навантажує; 6 – упор пружини, що навантажує; 7 – гвинт регулювання попереднього затягування пружини, що навантажує; 8 – установочний штифт; 9 – порожнина для охолоджуючої рідини; 10 – корпус форсунки

Штанга виробляється за можливістю більш легкою, тому, що збільшення маси рухливих деталей призводить до зниження швидкодії голчастого клапана, затягування процесу закінчення упорскування, прискорення зношення замикаючого конуса. Із цих причин, у деяких конструкціях, від довгої штанги намагаються відмовитися. Ряд виробників переходить на використання форсунок з низьким розташуванням пружини й короткою

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ

Аркуш

21

штангою-тарілкою під нею (рис. 2.2 в). При цьому сама форсунка стає компактнішою.

Первісне затягування пружини, яке визначає тиск відкриття голчастого клапана, здійснюється за допомогою регульовального болта встановленого у верхньому торці форсунки, або шляхом установки під пружину спеціальних каліброваних шайб. Останнє рішення характерне для деяких високообертових дизелів щодо невеликої циліндрової потужності.

Між регульовальним болтом і пружиною голчастого клапана в низці конструкцій розташовується проміжний упор, у якому розташований паз для проходження через нього штуцера підведення палива до форсунки (рис. 2.2 а, б, в). Штуцер притискається до лунки на внутрішній стороні стінки корпусу форсунки. Від осьового провертання проміжний упор фіксується за допомогою фіксуючого штифта. Таке рішення дозволяє уникнути деформації корпусу під дією сили притиснення паливного штуцера, яке може призвести до заклинення форсунки.

Внутрішня порожнина камери для установки пружини використовується для збору протікань. Паливо, що просочилося по циліндричній поверхні голки, створює ванну для пружини, забезпечуючи її змазування й відвід теплоти. Це захищає останню від корозії й на 20...25% зменшує динамічні напруги у витках.

Зливний отвір для відводу протікань у дренажний канал розташовують у верхній частині форсунки для підтримки камери пружини в постійному стані заповнення.

Для запобігання потрапляння протікань в охолоджуючу воду й, навпаки, на корпусі форсунки встановлюються спеціальні гумові кільця ущільнення, що розділяють канали підведення й відводу різних середовищ.

Розпилювач, найбільш відповідальний елемент конструкції форсунки. На рис. 2.3 показані конструкції деяких розпилювачів чотиритактних судових дизелів.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

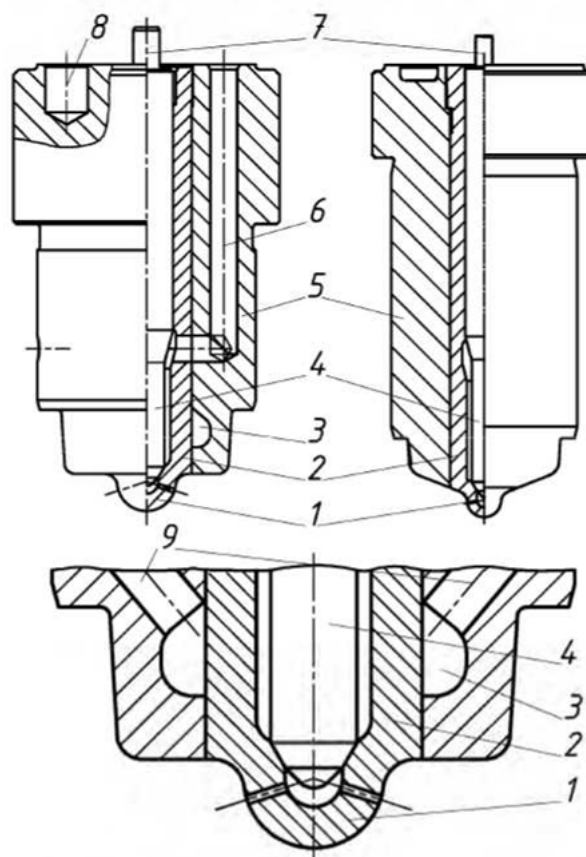


Рисунок 2.3 – Розпилювачі дірчастого типу:

1 – кінчик розпилювача із сопловими отворами; 2 – напрямна вставка голчастого клапану; 3 – порожнина для охолоджуючої рідини; 4 – голчастий клапан; 5 – корпус розпилювача; 6 – канал підведення палива в порожнину розпилювача; 7 – хвостовик голчастого клапану; 8 – отвір для установчого штифта; 9 – канал підведення охолоджуючої рідини

Високі значення температур, що діють у камері згоряння двигуна, можуть призвести до перегріву розпилювача, у результаті чого може відбутися заклинювання голчастого клапана направляючий стрижень якого разом з направляючим отвором у корпусі розпилювача утворює прецизійну пару. У результаті зависання голки, відбувається закоксування соплових отворів. Особливо висока ймовірність заклинювання в розпилювачів форсунок, що працюють на важких паливах, які подаються до розпилювача з температурою 100...140°C. При перегріві розпилювача знижується твердість

замикаючих поверхонь, збільшується їхнє зношування, змінюється величина зазорів у прецизійних з'єднаннях, зменшується їхня герметичність. Усе це носить прогресуючий характер, оскільки призводить до погіршення умов протікання робочого процесу у двигуні. Максимально припустима температура кінчиків розпилювачів звичайно не повинна перевищувати 220...240 °С, більш високі значення призводять до швидкого зниження працездатності.

Для запобігання перегріву в корпусі розпилювача передбачаються порожнини для підведення до них охолоджуючої води (рис. 2.3 в, г, д) або масла (рис. 2.3 б). Ці ж порожнини, а так само внутрішні канали підведення охолоджуючої рідини дозволяють підтримувати температурний режим форсунок при непрацюючому двигуні, що перебуває в гарячому резерві.

Інший варіант запобігання перегріву розпилювача заснований на зменшенні площі виступаючої частини розпилювача в камеру згоряння. У низці конструкцій форсунок СОД і ВОД використовуються довгокорпусні розпилювачі (рис. 2.3 а) з подовженою нижньою частиною між циліндричною поверхнею й запірним конусом. їх використання дозволяє вилучити прецизійну пару від найбільш нагрітої нижньої частини й укоротити штангу, зменшити діаметр її нижньої частини. Крім того, забезпечується ефективне й рівномірне охолодження паливом голки й корпусу розпилювача в кільцевому зазорі в нижньої частини голки. Тепловий захист заснований на принципі протитечії: тепловий потік спрямований догори, холодне паливо - униз. Скорочення площі поверхонь виступаючих у камеру згоряння приводить до того, що, кількість тепла, отримане розпилювачем, скорочується. До того ж сам корпус розпилювача щільно прилягає до латунної склянки, установленної в кришці циліндра, що інтенсивно охолоджується водою із системи охолодження двигуна.

Для двигунів з безпосереднім упорскуванням палива в камеру згоряння широко використовуються багатодірчасті розпилювачі клапанного типу.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Корпус розпилювача може бути як цільним, так і складовим (рис. 2.3), з охолоджуючою порожниною або без неї. Нижня частина розпилювача являє собою сопловий наконечник, який має ряд отворів просвердлених під певним кутом до осі робочого циліндра. Кількість отворів може становити від 1 до 10, а їх діаметр коливається від 0,12 до 1,05 мм. При центральному положенні форсунки отвори розташовують симетрично по колу. Якщо форсунка зміщена або нахилена, отвори розташовують несиметрично. Для зменшення підтікання палива, об'єм підголчастого простору намагаються звести до мінімуму, а отвори висвердлюються безпосередньо під запірний конус. У цьому випадку зменшується закоксовування розпилювача, викиди сажі й, особливо, вуглеводнів.

Від основного об'єму порожнини розпилювача сопловий наконечник відділяється голчастим клапаном, щільно притиснутим до сідла за допомогою пружини. Звичайно кут запірного конуса рівний 60, а кут посадкової поверхні на 0,5...1,5° менше, ніж у голки. Це забезпечує швидку посадку голки без сильного удару об сідло й надійне ущільнення [5].

При збільшенні тиску в порожнині розпилювача, сила, що діє на клапан, зростає, і коли досягається значення достатнє для подолання зусилля пружини, клапан відкривається, пропускаючи паливо в сопловий наконечник, і далі через соплові отвори в камеру згоряння двигуна. Хід голчастого клапана обмежується спеціальним упором на корпусі форсунки. Висота підйому клапану звичайно лежить у межах 0,5... 1,5 мм і залежить від розмірів форсунки й кількості, що пропускається нею палива. Зі збільшенням ходу голки зростають динамічні сили удару її по сідлу й упор, що приводить до появи наклепу й втраті щільності посадки голки. Для збільшення терміну служби, упор виготовляється у вигляді вставки в корпус виробленої з твердішого матеріалу (рис. 2.3 а).

При зниженні тиску в порожнині розпилювача голка клапана під дією пружини опускається, відокремлюючи порожнину соплового наконечника від

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

порожнини розпилювача. Тиск закриття голчастого клапану завжди нижче, ніж тиск відкриття. Це пояснюється тим, що з моменту відриву голки від сідла тиск палива діє на всю поверхню клапану. У результаті тиск необхідний для утримання клапана у відкритому стані буде менше ніж тиск необхідний для його відкриття. Дане явище називається диференціальним ефектом голки. Його наявність приводить до того, що якість розпилювання палива в заключній фазі буде гірше, ніж у початковій стадії.

Вплив на економічні та екологічні показники

Модернізація паливних форсунок безпосередньо впливає на економічні та екологічні показники роботи суднових двигунів. Зокрема:

Зменшення витрат пального: за рахунок більш точного дозування палива та поліпшеного розпилювання знижуються витрати пального, що зменшує експлуатаційні витрати.

Зниження викидів: оптимізація процесу згоряння дозволяє значно знизити викиди шкідливих речовин, таких як NO_x , CO_2 , а також часток сажі.

Покращення надійності двигунів: сучасні форсунки з системами автоматичного регулювання і точного контролю згоряння зменшують ризик поломок і знижують технічні простої суден.

Для двигуна MaK 8M20 найефективнішою буде модернізація форсунок шляхом вдосконалення конструкції розпилювачів.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ДВИГУНА МАК 8М20С ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПИЛЮВАЧІВ

Розробка розпилювачів з безпрецизійним клапанним вузлом

Вивченню процесу зношування деталей машин загалом і застосуванню до розпилювачів форсунок автотракторних дизелів присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів.

Аналіз досліджень показав, що довговічність форсунок визначається ресурсом розпилювача. Одним із основних факторів, що впливають на знос розпилювача, є ударне навантаження клапана на сідло розпилювача та гідроабразивне зношування як конічних запірних поверхонь, так і циліндричної направляючої поверхні голки і корпусу розпилювачів. Дослідженнями встановлено, що паливні фільтри не забезпечують достатньої ступені очищення палива від механічних домішок і води, які потім проникають до прецизійних деталей паливоподаючої апаратури. На сьогодні використовують паливні фільтри тонкого очищення, що забезпечують фільтрацію на рівні 4...5 мкм на початку експлуатації. При подальшій експлуатації тонкість відсіву фільтрів погіршується і становить більше 7...9 мкм.

Дослідженнями встановлено, що знос поверхні голки та корпусу розпилювача має, як правило, місцевий характер і виникає в основному на запірному конусі та прецизійній направляючій циліндричній поверхні. При цьому в більшій мірі зношується запірний конус голки, оскільки запірна поверхня конуса голки сприймає ударне навантаження від пружини форсунки та додатково піддається абразивному впливу твердих часток, що містяться в паливі. Ударне навантаження голки від пружини форсунки 100...120 МПа сприймається малим притертим поясом, шириною 0,2...0,3 мм на запірному конусі голки і запірній фасці корпусу розпилювача, що призводить до

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

деформації мікронерівностей поверхонь з'єднання запірного конуса. Метал під час змінного навантаження зазнає наклепу, його поверхня ущільнюється, а потім настає процес втоми, при цьому мікрооб'єми металу відстають, лущаються, а паливо, що проходить з великою швидкістю разом з твердими абразивними частками, в момент впорскування змиває їх. Конічна поверхня запірного конуса голки зношується нерівномірно: 70...80 мкм на діаметр середньої частини, 55...60 мкм на нижній основі і 40...45 мкм – на верхній. В результаті зносу від ударного навантаження запірна поверхня голки набуває сідлоподібної форми.

Направляюча поверхня голки і корпусу розпилювача зношується переважно внаслідок дії механічних часток, в результаті чого циліндрична поверхня стає конічною. Наявність на ній глибоких поздовжніх рисок підтверджує абразивну дію важких механічних часток, що знаходяться в паливі і потрапляють у зазор під час руху голки вгору, в момент її підйому. Оскільки тверді частки потрапляють з нижньої частини голки, то тут вони наносять глибші подряпини. По мірі просування абразивів вгору по зазору, їх кромки затуплюються, і ріжуча здатність втрачається. Тому до верхньої частини голки глибина бороздок зменшується.

Аналіз робіт з дослідження гідрощільності розпилювачів форсунок закритого типу виявив, що основним місцем локального зношування, яке визначає довговічність розпилювача, є запірний конус. Частка витоків у зоні запірного конуса розпилювача в середньому становить 70%, а 30% – в зоні циліндричної направляючої поверхні розпилювача.

Для збільшення надійності розпилювачів форсунок запропоновано форсунки клапанного типу, в яких прецизійну пару голка-корпус розпилювача замінено безпрецизійним клапанним вузлом. Сферичний клапан має малу масу і відкривається за потоком палива, що сприяє підвищенню надійності та довговічності форсунок. Однак форсунки клапанного типу не набули широкого поширення в паливних системах дизелів. Основним недоліком

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

форсунок клапанного типу є великий об'єм порожнини між клапаном і розпилювальними отворами, що сприяє підтіканню палива наприкінці процесу впорскування. Для зменшення об'єму цієї порожнини необхідно зменшити масу рухомих деталей клапанного вузла розпилювачів форсунок, обмежити максимальну висоту підйому клапана і встановити витиснювач палива. У результаті конструктивних змін розпилювачів шляхом заміни прецизійної пари на безпрецизійний сферичний клапан суттєво збільшується ресурс форсунок без зниження якісних і кількісних показників сумішоутворення і тим самим зменшується вартість виготовлення розпилювачів форсунок.

Тому дослідження, спрямовані на підвищення довговічності розпилювачів форсунок із безпрецизійним клапанним вузлом, що відкривається за потоком палива, є актуальними.

На рис. 3.1 подано принципову схему розпилювача форсунки із запірною сферою.

Під час роботи форсунки клапан 1 закриває прохідний перетин форсунки шляхом посадки в стакан 2. При цьому відбувається удар клапана об поверхню стакану 2. Унаслідок удару відбувається зношування клапанного вузла розпилювача, що призводить до зміни мікрогеометрії поверхні сполучення між сферою та сідлом стакану. Зміна мікрогеометрії безпосередньо позначається на величині прохідного перетину між клапаном і сідлом, витоках палива і, як наслідок, спричиняє зміну гідравлічної щільності форсунки. Знос клапанного вузла розпилювачів форсунок має три яскраво виражені етапи: припрацювання, нормальної роботи і прискореного зносу. У зв'язку з цим сформульовано такі пропозиції, що дають змогу описати процес втрати гідравлічної щільності форсунок на кожному з етапів.

Перший етап. На етапі припрацювання мікронерівності поверхонь сполучення клапана і сідла зменшуються за рахунок пластичної деформації виступів мікронерівностей, при цьому площа прохідного перерізу між

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

клапаном і сідлом зменшується, а гідравлічна щільність форсунок збільшується.

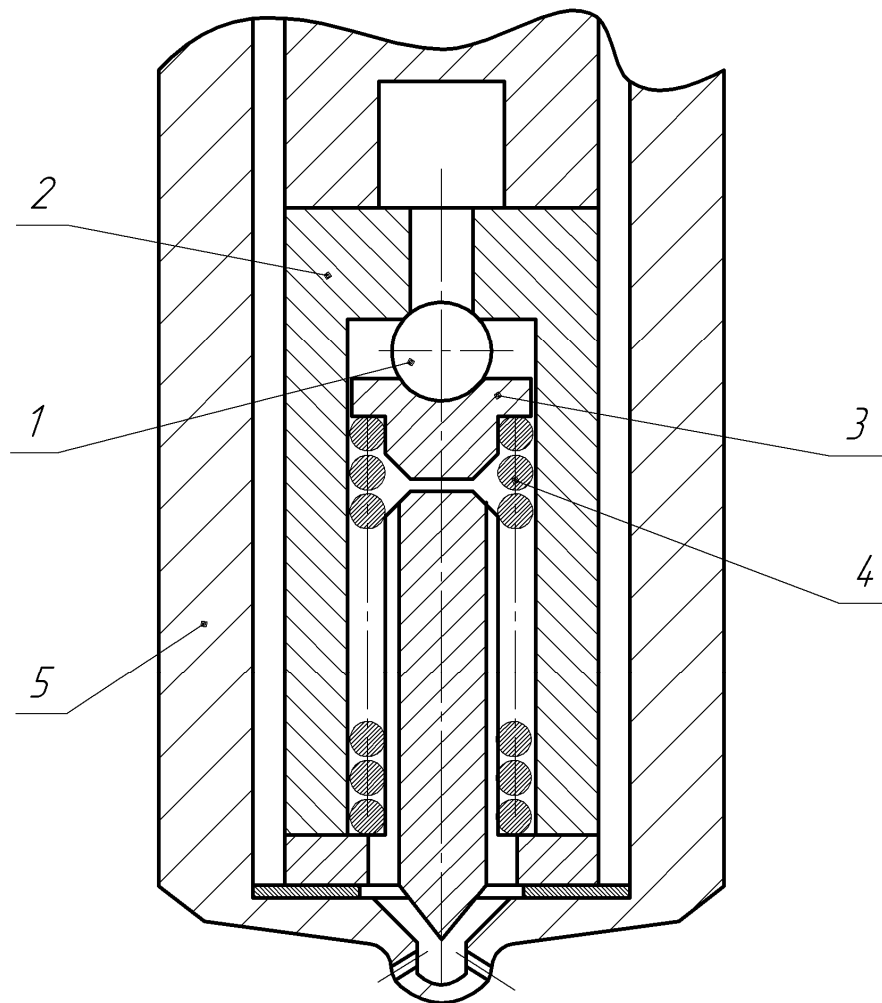


Рисунок 3.1 – Принципова схема розпилювача форсунки із запірною сферою:
1 – запірна сфера; 2 – стакан; 3 – грибок; 4 – пружина; 5 – корпус розпилювача

Другий етап – етап роботи форсунки на припрацьованому сполученні. У цьому разі прохідний перетин між клапаном і сідлом мінімальний і гідравлічна щільність форсунки максимальна.

Під час поодинокого удару клапана об сідло поверхнею контакту в дуже тонкому шарі завтовшки $H_y = 20...60$ мкм виникають напруження, епюру яких можна умовно представити так, як показано на рис. 3.2. У разі збільшення циклів ударів у цьому ж поверхневому шарі виникають тріщини, як показано на рис. 3.3.

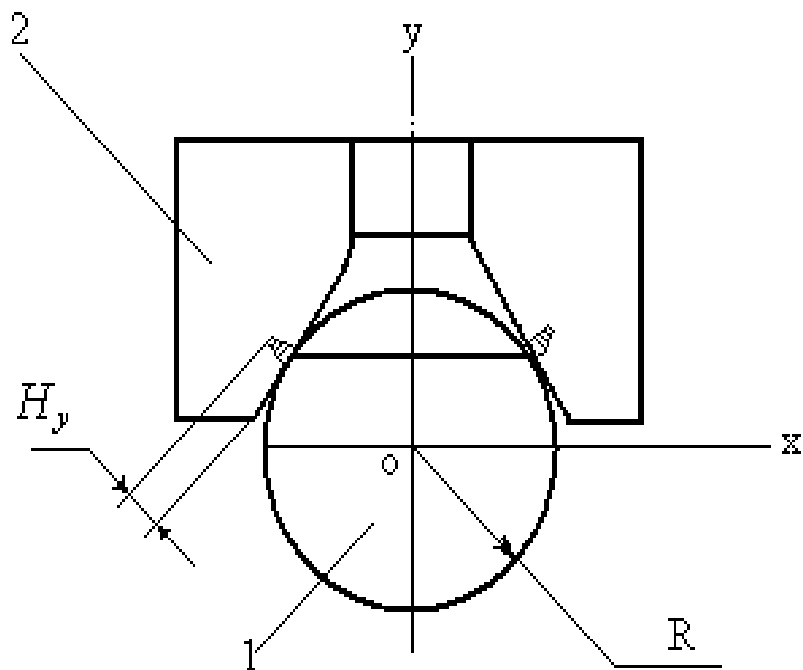


Рисунок 3.2 – Напруги, що виникають під час посадки сфери на сідло:
1 – сферичний клапан; 2 – сідло; H_y – товщина поверхневого шару, у якому діють напруження від удару

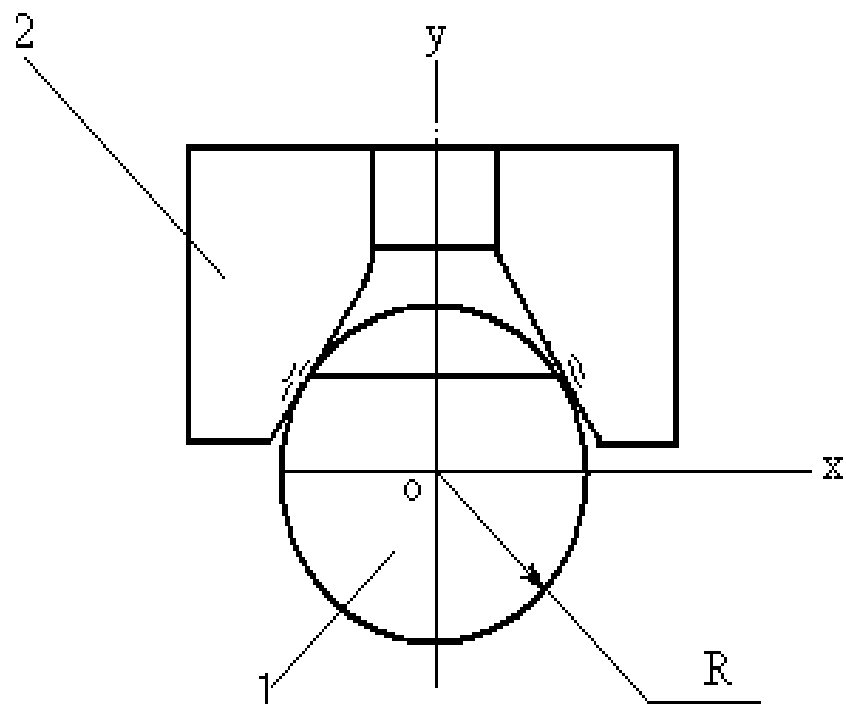


Рисунок 3.3 – Утворення мікротріщин у поверхневому шарі клапана і сідла по лінії контакту:
1 – сферичний клапан; 2 – сідло

Під час подальшої роботи форсунок відбувається накопичення енергії і відбувається вихід тріщини на поверхню виступів, що примикають до підніжжя. Оскільки утворена поверхня контакту практично не змінюється, а відбувається утворення каверн безпосередньо біля основи виступів, тобто в западинах прохідний переріз збільшується, і, як наслідок, відбувається поступове зниження гідравлічної щільності розпилювача, частково зношування компенсується невеликим поглибленням посадкою сферичного клапана на сідло внаслідок збільшення лінії контакту. У зв'язку з тим, що до цього моменту часу накопичення енергії в поверхневому шарі незначне, кількість каверн і їхні розміри незначні, що призводить до зміни тільки мікрогеометрії поверхонь сполучення клапана і сідла, а прохідний переріз між тілами, що зіштовхуються, змінюється незначно.

На **третьому етапі** накопичена в поверхневому шарі енергія призводить до втомного руйнування поверхневого шару деталей клапанного вузла розпилювачів. Відбувається утворення і розвиток тріщин і, як наслідок, відшарування значної частини поверхневого шару, і утворення в цьому місці великих заглиблень, що сприяє різкому збільшенню площі прохідного перерізу і зниженню гідравлічної щільності розпилювачів форсунок.

Порівняльні стендові зносостійкі випробування зарубіжних дослідників експериментальних і серійних форсунок встановили перевищення зносостійкості розпилювачів з безпрецизійним клапанним вузлом, більш ніж удвічі, у порівнянні із серійними розпилювачами. Це пояснюється відсутністю в розпилювачах з безпрецизійним клапанним вузлом прецизійної спрямовувальної поверхні клапана розпилювача і великої маси рухомих деталей клапанного вузла (голки, штанги та 1/3 маси пружини), що спричиняє в розпилювачах серійних форсунок велике ударне навантаження на запірний конус розпилювача, гідроабразивне та кавітаційне зношування прецизійної спрямовуючої поверхонь голки та корпусу розпилювача.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тепловий розрахунок двигуна МаК 8М20С при роботі на дизельному паливі

Методика розрахунку робочого циклу двигуна МаК 8М20С

Цикл внутрішнього згоряння (ДВЗ) являє собою сукупність процесів, що періодично повторюються і виконуються з метою перетворення теплоти згоряючого палива на механічну роботу. Це складний фізико-хімічний процес, розрахунок якого аналітичним шляхом (без використання експериментальних коефіцієнтів) на сьогодні є неможливим. Тому для розрахунків зазвичай застосовуються спрощені моделі, однією з яких є цикл за Гриневецьким-Мазінгом [6].

Цей розрахунковий цикл (рис. 3.4) включає такі процеси: політропне стиснення t - c , ізохорний процес c - y , ізобарний процес y - z , політропне розширення z - b і ізохорний процес b - t , що завершує цикл.

Метод Гриневецького-Мазінга здобув популярність завдяки досить точним результатам, яких можна досягти за допомогою простих розрахунків. Цей метод дозволяє ефективно аналізувати процеси, що відбуваються в ДВЗ.

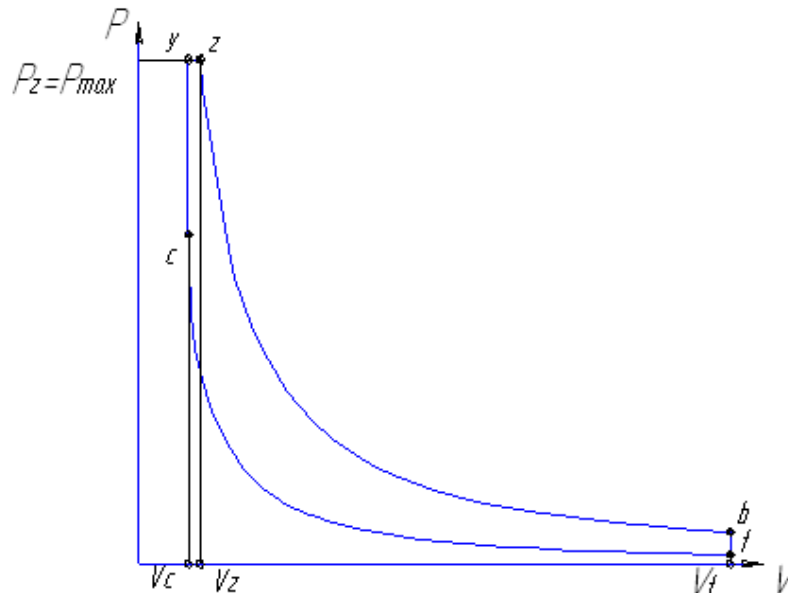


Рисунок 3.4 – Теоретичний розрахунковий цикл двигуна

Вибір й обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 293$ К (стандартні умови застосування).

Тиск навколишнього повітря p_0 . В усіх випадках варто приймати $p_0 = 0,1013$ МПа (стандартні атмосферні умови).

Ступінь стиску ε . При призначенні ступеня стиску варто враховувати розміри циліндра і спосіб сумішоутворення. При нерозділеній камері згоряння для ВОД $\varepsilon = 11 \dots 17$. Приймаємо $\varepsilon = 13,6$.

Коефіцієнт залишкових газів γ_r . Вплив на значення цього коефіцієнту завдають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. У ВОД $\gamma_r = 0,02 - 0,08$. Приймаємо $\gamma_r = 0,02$.

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначити після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектного. Для СОД і ВОД $\xi_z = 0,75 - 0,94$; $\xi_b = 0,86 - 0,99$. Приймаємо $\xi_z = 0,91$; $\xi_b = 0,983$.

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Для високо форсованих двигунів $\lambda = 1,3 \dots 2,0$ [1]. Для СОД $\lambda = 1,05 - 1,35$. Приймаємо $\lambda = 1,5293$.

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

Приймаємо $\Delta T_a = 16$ К.

Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають на тип двигуна та особливості системи газообміну. Приймаємо $\zeta = 0,98$.

Зменшення тиску у повітроохолоджувачі ΔP_{ox} . Повітроохолоджувач представляє собою опір на шляху повітря, тому у ньому відбувається зменшення тиску повітря. Приймаємо $\Delta P_{ox} = 0,004$ МПа.

Температура залишкових газів T_r . Для двигунів такого типу T_r знаходиться у межах 600...900 К. Приймаємо $T_r = 800$ К.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						34
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

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,35}{0,1013} \right)^{0,286} - 1}{0,824} \right] = 444,338$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 444,338 - 0,8 \times (444,338 - 293) = 323,268$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{323,268 + 16 + 0,02 \times 800}{1 + 0,02} = 348,301$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,35 - 0,004 = 0,346$$

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,97 \times 0,346 = 0,336$$

$$\eta_H = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{13,6}{13,6 - 1} \times \frac{0,336}{0,345} \times \frac{323,268}{348,301} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0) = 0,953$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,363$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,336 \times 13,6^{1,363} = 11,77$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l - 1} = 348,301 \times 13,6^{1,363 - 1} = 898,136$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1,9945}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,987$$

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 0,987} = 1,0321$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0321 + 0,02}{1 + 0,02} = 1,0314$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,91}{0,983} = 0,926$$

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0321 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,978 = 1,029$$

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

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

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

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

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

$$T_z = 1975$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,5293 \times 11,77 = 18,00$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,029}{1,5293} \times \frac{1975}{898,136} = 1,479$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13,6}{1,479} = 9,193$$

$$n_2 = 1,255$$

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1975 \times \frac{1}{9,193^{1,255-1}} = 1123$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{18}{9,193^{1,255}} = 1,113$$

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{11,77}{13,6 - 1} \times \left[1,5293 \times (1,479 - 1) + \frac{1,5293 \times 1,479}{1,255 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{9,193^{1,255-1}} \right) - \frac{1}{1,363 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{13,6^{1,363-1}} \right) \right] = 2,691$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,691 \times 0,97 \times (1 - 0) = 2,638$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_H}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,346 \times 0,953}{1,9945 \times 0,495 \times 323,268 \times 2,638} = 0,17$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_H} = \frac{3600}{0,17 \times 42700} = 0,497$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,638 \times 0,911 = 2,404$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,497 \times 0,911 = 0,453$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,17}{0,911} = 0,186$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,20^2 \times 0,30 \times 0,5 \times 2,404 \times 900 \times 8 = 1360$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{1360 - 1360}{1360} = 0\%$$

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

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

$$R = 287 \text{ Дж/кг*К}$$

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,2^2}{4} \right) \times 0,3 \times \left(\frac{0,346 \times 10^6}{287 \times 323,268} \right) \times 0,953 \times 8 \times 0,5 \times \left(\frac{900}{60} \right) \times 1 = 2,089$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 2,089 + 0,186 \times \frac{1360}{3600} = 2,16$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,715 \times 0,35 = 0,25$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 1123 \times \left(\frac{0,25}{1,113} \right)^{\frac{1,255-1}{1,255}} = 829,283$$

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

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (1,9945 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 1,9945 \times 0,495) = 1,019$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,873}{12 \times 1,019 \times 189} + \frac{0,125}{2 \times 1,019 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (1,9945 - 1) \times 0,495}{1,019 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 1,9945 \times 0,495}{1,019 \times 296,8}} = 287,329$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,933 + 0,003 \times 829,283) + 8,314}{19,933 + 0,003 \times 829,283} = 1,371$$

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 \Pi_k &= \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_e}{k_e - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} \\
 &= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,371}{1,371 - 1} \right) \times 287,329 \times 829,283 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,25}{0,1013} \right)^{\frac{1,371 - 1}{1,371}}} \right] \times 0,97 \times 0,793 \times 2,16}{2,089 \times 287 \times 293 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,824}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,454
 \end{aligned}$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 3,454 \times 0,1013 = 0,3499$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,3499 - 0,35}{0,3499} = -0,018\%$$

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

Розрахунок паливної системи двигуна МаК 8М20С

Циклова подача палива:

$$g_{\text{ц}} = \frac{g_e N_e \tau}{120 n_{\text{дв}} i}, \text{ г/цикл}$$

де, $g_e = 0,186 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{год)}$ – питома витрата палива;

$N_e = 1360 \text{ кВт}$ – потужність двигуна;

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$\tau = 4$ – коефіцієнт тактності;

$n = 900$ об/хв – частота обертання двигуна;

$i = 8$ – кількість циліндрів.

$$g_u = \frac{0,186 \cdot 1360 \cdot 4}{120 \cdot 900 \cdot 8} = 0,1171 \cdot 10^{-2} \text{ г/цикл.}$$

Запас палива:

$$G_T = K_m \cdot g_e^{\text{гд.}} \cdot N_e^{\text{гд.}} \cdot \tau_x \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 0,186 \cdot 1360 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 303,5 \text{ т.}$$

Витрата палива за добу головного двигуна:

$$G_{24} = K_m \cdot g_e^{\text{гд.}} \cdot N_e^{\text{гд.}} \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 0,186 \cdot 1360 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 7,3 \text{ т.}$$

Вмісткість всіх цистерн легкого палива, м^3

$$V_{\text{лт}} = \frac{G_T}{\rho_{\text{лт}}} \cdot k_1 \cdot k_2 = \frac{303,5}{0,85} \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 393,72 \text{ м}^3$$

де $\rho_{\text{лт}}$ – густина легкого палива (приймається $\rho_{\text{лт}} = 0,85 \text{ т/м}^3$)

k_1 – коефіцієнт загромадження, враховуючий загромадження відсіків або цистерн елементами конструкції (приймається $k_1 = 1,02-1,05$) [7];

k_2 – коефіцієнт, враховуючий «мертвий» об'єм цистерни (приймається $k_2 = 1,05$);

Необхідний вміст в цистерні легкого палива на добу:

$$V_{24} = \frac{G_{24}}{\rho_{\text{лт}}} \cdot k_1 \cdot k_2 = \frac{7,3}{0,85} \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 9,5 \text{ м}^3$$

Контур прийому і перекачки палива

Сумарний переріз прийомних трубопроводів легкого палива, м^3

$$F_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{лт}}}{3600 \cdot \tau \cdot v} = \frac{393,72}{3600 \cdot 10 \cdot 8} = 1,367 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

де τ – час, відведений для прийому палива, год. (приймається $\tau = 6-10$ год.);

v – швидкість руху палива в прийомному трубопроводі (приймається $v = 8 \text{ м/с}$).

Подача паливоперекачуючого насоса палива, $\text{м}^3/\text{год}$,

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$W_{ТПН} = \frac{V_{24}}{\tau} = \frac{9,5}{3} = 3,15 \text{ м}^3/\text{год}$$

де τ – час перекачування цієї кількості палива, год. (приймається $\tau=1-3$ год.).

Контур сепарації палива

Пропускна здатність сепаратора, м^3 ,

$$W_{сен} = \frac{B_{доб}^{ГД}}{\rho_{ЛП} \cdot \tau \cdot n_c} = \frac{25,3}{0,95 \cdot 18 \cdot 2} = 0,238 \text{ м}^3$$

де $B_{доб}^{ГД}$ - добова витрата головним двигуном;

τ – час роботи сепаратора; для самоочисних сепараторів 16-20 год/доб, приймаємо $\tau=18$ год/доб.);

Контур подачі палива до двигуна

Подача паливопідкачувального насосу, $\text{м}^3/\text{год.}$,

$$W_{ТПН} = K \frac{N_e^{ГД} \cdot g_e^{ГД}}{\rho_{ЛП}} = 3 \cdot \frac{1360 \cdot 0,186}{850} = 0,893 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

де K – коефіцієнт запасу подачі (приймається $K=2-3$ вибираємо $K=3$);

Площа поверхні фільтруючих елементів грубої очистки, м^2 ,

$$F_{\phi ГО} = \frac{W_{ТПН}}{3600 \cdot K_{жс} \cdot v} = \frac{0,893}{3600 \cdot 0,3 \cdot 0,12} = 6,889 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

де $K_{жс}$ – коефіцієнт живого перерізу (знаходиться в межах 0,2-0,3 приймаємо $K_{жс}=0,3$);

v – допустима швидкість фільтрації, м/с (знаходиться в межах 0,06-0,12 приймаємо $v=0,12$).

Місткість розхідних цистерн головних двигунів (зазвичай використовуються здвоєні цистерни), м^3 ,

$$V_P^{ГД} \geq \frac{N_e^{ГД} \cdot (4 \cdot g_e)}{\rho_{ТТ}} \cdot Z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 10^{-3} = \frac{1360 \cdot (4 \cdot 0,186)}{850} \cdot 5 \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 6,56 \text{ м}^3$$

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

де Z – число вахт, роботу яких повинна забезпечувати цистерна ($Z=3-6$ приймаємо $Z=5$).

Параметри плунжера ПНВТ:

Хід плунжера:

$$h_r = \frac{C_m \cdot \varphi_r^\circ \cdot 10^2}{6 \cdot w} = \frac{1,1 \cdot 15 \cdot 10^3}{6 \cdot 94,23} = 29,18 \text{ мм};$$

де, C_m – середня швидкість плунжера Лежить в діапазоні $C_m = 1,0 \dots 1,2$;

Приймаємо $C_m = 1,1$.

$$w = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 900}{30} = 94,23 \text{ с}^{-1}.$$

$\varphi_r^\circ = 15$ – геометрична тривалість впорскування палива.

Діаметр плунжера:

$$\alpha_n = 1,13 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{g_y}{\eta \cdot \gamma_r \cdot h_r}} = 1,13 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0,1171 \cdot 10^{-2}}{29,18 \cdot 0,85 \cdot 0,8}} = 8,7 \text{ мм}.$$

де, $\gamma_r = 0,85 \text{ г/см}^3$ – питома вага палива;

η – коефіцієнт подачі. Лежить в діапазоні $\eta = 0,7 \dots 0,9$. Приймаємо $\eta = 0,8$.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ДВИГУНА МАК 8М20С

Контроль роботи форсунок

Кожна форсунка має своєчасно впорскувати певну кількість палива, відміряну насосом, при заданому тиску, а також якісно розпилювати його для оптимального розподілу в камері згоряння і змішування з повітрям. Серед основних несправностей форсунок виділяють: ослаблення або поломку пружини голки, засмічення чи закоксування соплових отворів, їх знос, заїдання (зависання) голки, знос, подряпини та корозію на циліндричних поверхнях голки й її прямої, знос і пошкодження запірної конуса розпилювача, а також корозію поверхонь з'єднання корпусу форсунки та розпилювача. Стан форсунок оцінюють за показниками робочого процесу в циліндрах дизеля або за непрямими ознаками.

Ослаблення пружини форсунки є неминучим через залишкові деформації. Це призводить до передчасного впорскування палива, тобто збільшення кута випередження подачі. Унаслідок цього паливо раніше самозаймається, підвищується максимальний тиск згоряння, збільшується жорсткість роботи двигуна, що негативно впливає на підшипники та інші вузли. Потужність двигуна знижується, і для підтримки навантаження допоміжного дизеля автоматично збільшується подача палива, що підвищує теплову напруженість, ризик задирів і утворення тріщин у деталях камери згоряння. У разі примусового підтримання потужності головного дизеля для забезпечення ходу судна виникають аналогічні проблеми. Тому необхідно регулярно перевіряти тиск відкриття форсунки шляхом її опресування.

Засмічення та закоксування соплових отворів можуть виникати з різних причин. Однією з головних є нещільне закриття голки, яке призводить до підтікання палива, що коксується і блокує отвори. Ця проблема часто виникає

					<i>КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

через знос або забруднення запірних конусів голки та корпусу розпилювача, а також деформацію розпилювача через неправильне затягування гайки. Іншою причиною засмічення є погіршення процесу згоряння палива, що спричиняє підвищене утворення нагару, зокрема на розпилювачі. До цього можуть призводити неякісне паливо, недостатня його підготовка, забруднення турбокомпресора або охолоджувача наддувного повітря, що знижують тиск наддуву, а також знос клапанів чи поршневих кілець, які порушують герметичність камери згоряння.

При засміченні соплових отворів зростає гідравлічний опір форсунки, через що крутішає крива тиску в насосі та форсунці після її відкриття. Це збільшує гідравлічні втрати в плунжерній парі та розпилювачі, знижує фактичну циклову подачу палива, змінює характер його розпилювання та геометрію факела, що погіршує змішування палива з повітрям. У результаті зростає період затримки самозаймання, паливо гірше згорає, а сам процес згоряння зміщується на фазу розширення. Ці зміни можна визначити за підвищенням димності вихлопних газів та змінами їх температури. При значному засміченні соплових отворів з'являються посилені ударні імпульси тиску палива в нагнітальній трубці форсунки. Під час роботи на дизельному паливі їх можна відчувати за пульсацією або підвищеним нагріванням.

Знос (збільшення діаметра) соплових отворів виникає внаслідок недостатнього очищення палива від механічних домішок. Це призводить до порушення форми свердління отворів і збільшення їх сумарного перетину. Як наслідок, крива тиску палива в насосі та форсунці (після її відкриття) стає більш пологою, знижується швидкість виходу палива (за тієї ж циклової подачі), змінюється геометрія факела розпилювання, що погіршує змішування палива з повітрям. Ці порушення визначають за збільшенням димності вихлопних газів.

Знос циліндричної поверхні голки та її направляючої, а також появу подряпин і корозії спричиняє недостатнє очищення палива від механічних

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

домішок або підвищений вміст сірки у паливі. У результаті збільшуються протікання палива через зазори, фактична кількість палива, що впорскується в циліндр, зменшується, знижується швидкість його виходу з форсунки (за тієї ж циклової подачі), змінюється геометрія факела, що негативно впливає на змішування палива з повітрям. Ці зміни виявляють за збільшенням нерівномірності навантаження (тиску згоряння) та температури вихлопних газів у циліндрах.

Знос і пошкодження запірного конуса розпилювача спричиняють підтікання палива, яке закоксує соплові отвори, що викликає аналогічні наслідки. Крім того, змінюється момент відкриття форсунки, погіршується якість розпилювання і згоряння палива. Ці порушення також виявляються за підвищеною димністю вихлопних газів.

При нещільному з'єднанні корпусу форсунки з розпилювачем виникають ті ж проблеми, що й при порушенні герметичності розпилювача. У випадку охолоджуваних форсунок, паливо через утворені щілини під високим тиском може проникати в систему охолодження, що виявляється за пульсацією потоку води, який відводиться в розширювальний бачок.

Якщо голка застряє в закритому положенні, форсунка не подає паливо в циліндр, і температура випускних газів різко знижується. У нагнітальній трубці зростають імпульси тиску палива, подібно до ситуації із закупоренням соплових отворів, що може призвести навіть до її розриву.

У разі появи таких ознак необхідно перевірити форсунку на стенді шляхом опресування. Виробник рекомендує проводити перевірку всіх форсунок комплектно через кожні 700...1000 годин роботи. Це пов'язано зі зношенням деталей і осіданням пружин, що викликають зниження тиску відкриття форсунки, передчасне впорскування палива, його самозаймання, підвищення тиску згоряння та жорсткість роботи дизеля. Якщо жодна з перерахованих ознак не спостерігається, перевірку можна відкласти.

					<i>KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Демонтаж і монтаж паливних форсунок

Перед початком робіт на системі впорскування рекомендується перехід при режимі важкого палива на дистиллят-паливо для того, щоб ґрунтовно прополощіти форсунку [2].

Демонтаж (рис. 4.1).

1) В режимі генератора відключити резервний насос змащування маслом основного агрегату або насос попереднього змащування маслом.

2) Послабити натискні гайки 1 та 2 і видалити їх. Підкачати важелем елемент поперечного навантаження 3 з кришкою 4 і потягнути вліво з паливного насоса і головки циліндра.

3) Витягнути елемент радіального навантаження 5 приблизно на 20 мм.

4) Послабити гайки 11 установочних гвинтів 7 і видалити їх.

5) Зняти фланець 8 і насадити його розгорнутим на 180° через установчі гвинти 7.

6) Пригвинтити інструмент для демонтажу (римболт) 6 на регулювальний гвинт 9 корпусу форсунки 10. Вигвинтити вгору тримач форсунки проти фланця 8 з гнізда.

7) Витягнути форсунку на римболті 6 з головки циліндра.

8) Видалити кільце 13. Почистити отвір і гніздо форсунок 12 в головці циліндра.

9) Почистити зовні форсунку і зробити перевірку форсунки на впорскування.

10) Замінити кільце 13 і всі кільця круглого перетину 14.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

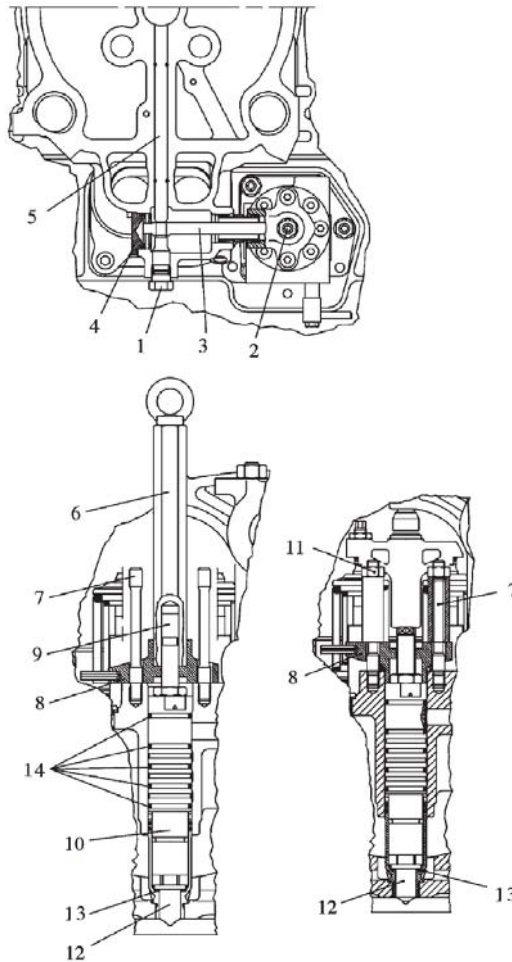


Рисунок 4.1 – Демонтаж і монтаж форсунок двигуна:

- 1,2 – натискні гайки; 3 – елемент поперечного навантаження;
 4 – кришка; 5 – елемент радіального навантаження; 6 – римболт;
 7 – установчі гвинти; 8 – фланець; 9 – регулювальний гвинт; 10 – корпус;
 11 – гайка; 12 – гніздо; 13 – ущільнююче кільце; 14 – кільця круглого перетину

Монтаж (рис. 4.1).

1) Злегка змастити різьбу гвинтів 7, кільця круглого перетину 14 пастою Молікоте. Зайва паста повинна бути видалена. Наявність зайвої пасту викликає небезпеку роздавлювання кілець круглого перетину в канавці головки циліндра.

2) Змастити ущільнююче кільце 13 і розпилювач 12 високотемпературної пастою для змащування різьби проти пригорання.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 3) Обережно вставити форсунку в головку циліндра. Змонтувати фланець 8 і затягнути гайки 11 з моментом обертання $M = 55 \text{ Нм}$.
- 4) Знову послабити гайки 11 на один оборот.
- 5) всунути елемент радіального навантаження 5.
- 6) Змонтувати елемент поперечного навантаження 3.
- 7) По черзі затягнути вручну натискні гайки 1 і 2, так як елемент поперечного навантаження з конічним гніздом прилягає до форсунки.
- 8) Затягнути спочатку натискну гайку 2, потім - натискний гайку 1 з моментом обертання $M = 85 \text{ Нм}$.
- 9) Ще раз затягнути гайки 11 з моментом обертання $M = 30 \text{ Нм}$.

Регулювання форсунок

Утворення тропів, тобто коксових відкладень на форсунках, зазвичай свідчить про недостатнє охолодження форсунки. З іншого боку, виникнення корозії чи вимивань свідчить про надмірно низьку температуру форсунки, наддувного повітря або води в наддувному повітрі.

Оцінити бездоганну роботу форсунок можна лише за показниками температур вихлопних газів або характеристиками димності. Контроль стану форсунок слід проводити тільки за наявності явного відхилення температури вихлопних газів від середнього значення.

Погане впорскування в контрольному пристосуванні при використанні важкого палива часто викликане недостатнім промиванням форсунки дизельним маслом перед перевіркою. Перед тим як замінити форсунку, необхідно ретельно її очистити ще раз.

Зниження тиску відкриття до 2 МПа після короткого часу експлуатації (через осідання пружини чи знос голки) вважається нормальним явищем.

Етапи роботи (рис. 4.2):

- 1) очистити форсунку жорсткою щіткою (не дротяною щіткою) від коксових опадів.

					<i>KPM.142.6222м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 2) провести контроль соплових отворів форсунок на наявність гострих кромek, овальності, іржі і пошкоджень;
- 3) вставити форсунку з адаптером 5 в контрольний пристрій форсунки 4;
- 4) підключити напірний трубопровід 6 і затягнути його;
- 5) відпустити стопорну гайку і зняти її разом з різьбовою пробкою 2;
- 6) повільно збільшувати тиск за допомогою насоса до тих пір, поки не відбудеться впорскування. Тиск відкриття форсунки згідно з сертифікатом приймального випробування.

Відремонтувати або замінити форсунку, якщо є великий обсяг витoku палива.

6.1) якщо є відхилення тиску упорскування, послабити контргайку 7 і встановити заданий тиск відкриття за допомогою регулювального гвинта 8;

6.2) встановити контргайку 7, а також різьбову пробку 2 і затягнути з відповідним моментом;

6.3) закріпити різьбову пробку 2 шестигранною стопорною гайкою 1.

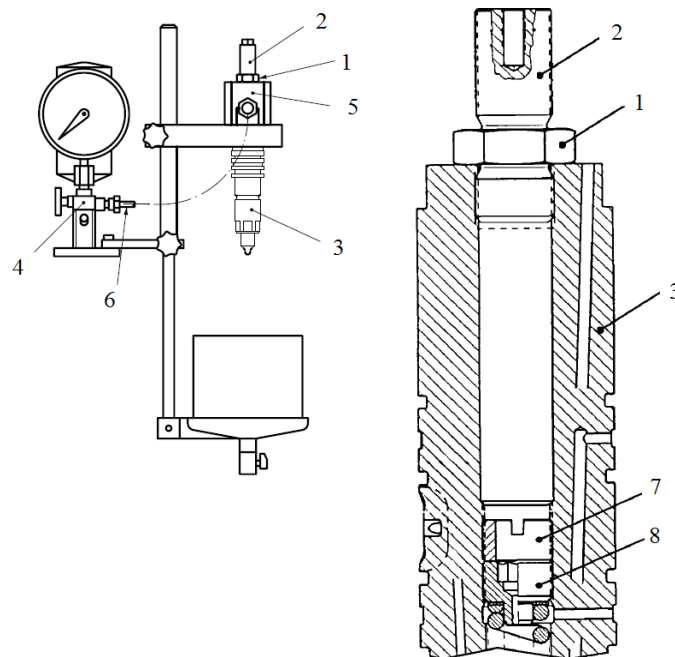


Рисунок 4.2 – Регулювання форсунки:

- 1 – стопорна гайка; 2 – різьбова пробка; 3 – корпус форсунки;
 4 – контрольний пристрій; 5 – адаптер форсунки; 6 – напірний трубопровід;
 7 – контргайка; 8 – регулювальний гвинт;

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль якості впорскування форсунок

Якість розпилювання палива оцінюється за різкістю відсічення, формою та однорідністю паливного факела, а також за звуковими ефектами під час перевірки форсунки на стенді. Перед цим необхідно відрегулювати потрібний тиск упорскування [8].

Процес упорскування повинен починатися раптово, а відсічення має бути різким і супроводжуватися характерним звуком (скрипом). Паливний факел повинен бути у вигляді дрібнодисперсного туману, без суцільних струменів або локальних згущень, що добре помітно при візуальному огляді, особливо на автоматизованому стенді. Вісь конуса факела не повинна суттєво відхилятися від осі форсунки, а після відсічення факел має "відірватися" від форсунки. Кут конуса струменя повинен залишатися в межах допустимих норм. Для перевірки кута розпилювання можна використовувати аркуш паперу, розташований перпендикулярно струменю на певній відстані, щоб оцінити слід від палива.

Роботу форсунки також можна перевірити на слух під час ручного прокачування палива. У справній форсунці протягом одного підйому плунжера відбувається кілька коротких окремих упорскувань, що створює ефект "дроблення". Цей процес виникає через чергування підйомів і посадок голки: після впорскування частки циклової подачі тиск падає, і голка закривається; при подальшому ході плунжера тиск знову зростає, відкриваючи форсунку, і цикл повторюється. Частоту "дроблення" можна змінювати, регулюючи швидкість підйому плунжера. У справній форсунці дроблення припиняється лише при значній швидкості плунжера, що відповідає нормальному режиму роботи двигуна. У нормальному стані форсунка видає характерний звук високого тону.

Якщо якість розпилювання виявляється незадовільною, форсунку розбирають і проводять детальний огляд її компонентів.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Заходи з протидії небезпечним та шкідливим факторам, що мають місце при технічному використанні, обслуговуванні та ремонті суднових технічних заходів

У процесі технічного використання, обслуговування та ремонту суднових технічних засобів персонал може стикатися з численними небезпечними та шкідливими факторами, які загрожують здоров'ю і життю, а також справності обладнання [9]. Розглянемо ключові заходи для протидії цим факторам.

Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів

Основними небезпечними та шкідливими факторами в роботі з судновими технічними засобами є:

Механічні фактори: травми від рухомих частин механізмів, падіння з висоти, затиснення або удари.

Фізичні фактори: високі або низькі температури, шум, вібрація, електромагнітні випромінювання.

Хімічні фактори: вплив шкідливих хімічних речовин, таких як мастила, палива, розчинники та інші токсичні сполуки.

Електричні фактори: ураження електричним струмом через несправності електрообладнання.

Пожежонебезпека: займання палива, масла, електрообладнання.

Гігієнічні ризики: несприятливі мікрокліматичні умови (температура, вологість, вентиляція).

Організаційні заходи

Навчання та інструктаж персоналу. Проведення регулярного навчання з питань охорони праці, правил техніки безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів на робочому місці.

Вивчення документів, таких як Інструкції з охорони праці, Правила пожежної безпеки та Правила експлуатації обладнання.

Розподіл зон і обмеження доступу. Чітке визначення зон підвищеної небезпеки, таких як машинні відділення, палуби для вантажних операцій, електрощитові.

Обмеження доступу до зон підвищеної небезпеки для осіб без відповідної кваліфікації або без належного допуску.

Планування робіт. Розробка планів обслуговування та ремонту з урахуванням можливих ризиків.

Виконання робіт відповідно до технічної документації та регламентів.

Створення безпечного графіку робіт для уникнення перевтоми персоналу.

Технічні заходи

Забезпечення надійності обладнання. Проведення регулярних перевірок технічного стану обладнання.

Використання автоматизованих систем моніторингу для своєчасного виявлення несправностей.

Планове технічне обслуговування для запобігання аваріям.

Захист від механічних ризиків. Установлення захисних кожухів на рухомих частинах механізмів.

Використання бар'єрів та огорож для обмеження доступу до небезпечних зон.

Застосування блокувальних пристроїв для зупинки обладнання у разі аварійної ситуації.

Електробезпека. Забезпечення справності ізоляції електропроводів.

Використання автоматичних вимикачів для захисту від короткого замикання.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Виконання робіт з електрообладнанням тільки після відключення напруги та перевірки відсутності струму.

Зниження шуму і вібрації. Використання глушників і віброізолюючих матеріалів на механізмах.

Регулярне балансування рухомих частин обладнання.

Використання засобів індивідуального захисту (навушники, віброізолюючі рукавиці).

Контроль температури. Застосування термоізоляції на гарячих поверхнях.

Контроль рівня охолоджуючих рідин та своєчасне обслуговування систем охолодження.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Персонал повинен використовувати:

Захисний одяг для запобігання опікам, порізам або забрудненню шкідливими речовинами.

Спеціальне взуття з антиковзким покриттям і захисними вставками.

Респіратори або протигazi для роботи з хімічними речовинами або в умовах запиленості.

Захисні окуляри або щитки для захисту очей від механічних частинок чи хімічних бризок.

Навушники для захисту слуху при роботі в умовах підвищеного шуму.

Протидія пожежонебезпечним ризикам

Використання вогнестійких матеріалів у конструкції обладнання.

Регулярне обслуговування систем пожежогасіння.

Забезпечення доступності вогнегасників у ключових місцях.

Проведення навчань із пожежної безпеки та відпрацювання евакуаційних дій.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Екологічна безпека

Утилізація відходів. Організація збору та утилізації відпрацьованих масел, хімічних реагентів та інших небезпечних матеріалів відповідно до екологічних норм.

Контроль викидів. Забезпечення належної роботи систем очищення відпрацьованих газів.

Використання екологічно чистого палива та мастильних матеріалів.

Медичні заходи

Регулярний медичний огляд персоналу для виявлення професійних захворювань.

Надання аптечок першої допомоги в кожному відділенні судна.

Організація навчань з надання першої медичної допомоги.

Забезпечення безпеки при технічному використанні, обслуговуванні та ремонті суднових технічних засобів вимагає комплексного підходу, який включає організаційні, технічні, екологічні та медичні заходи. Лише систематичне впровадження цих заходів дозволяє мінімізувати ризики для персоналу, запобігти аваріям і забезпечити ефективну та безпечну роботу суднових технічних засобів.

Організація дій екіпажу у надзвичайних ситуаціях

Організація ефективних дій екіпажу судна у надзвичайних ситуаціях є ключовим елементом забезпечення безпеки мореплавання. Від злагодженості, оперативності та професіоналізму екіпажу залежить життя людей, збереження вантажів і судна, а також мінімізація впливу на довкілля [10]. Розглянемо основні аспекти організації дій екіпажу у надзвичайних ситуаціях.

Основи планування дій у надзвичайних ситуаціях

Ефективна організація дій екіпажу базується на:

- розробці планів надзвичайних ситуацій (Emergency Response Plans) відповідно до вимог Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (SOLAS) і стандартів Міжнародної морської організації (IMO);

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- розподілі обов'язків серед членів екіпажу з урахуванням їхніх посадових обов'язків, кваліфікації та досвіду;
- проведенні регулярних навчань і тренувань для відпрацювання дій у випадку аварій, таких як пожежа, затоплення, зіткнення, евакуація тощо;
- підтримці готовності рятувального обладнання (рятувальні шлюпки, жилети, аварійні радіомаяки, системи пожежогасіння).

Основні види надзвичайних ситуацій і порядок дій екіпажу

Пожежа на борту

Пожежі є одними з найбільш небезпечних подій на судні. Основні дії:

- активація пожежної тривоги для сповіщення всіх членів екіпажу;
- оцінка місця та масштабу пожежі за допомогою системи детекції диму та вогню;
- ізоляція осередку пожежі шляхом закриття протипожежних дверей і клапанів вентиляції;
- гасіння пожежі із застосуванням переносних вогнегасників, стаціонарних систем пожежогасіння або водяних струменів;
- евакуація пасажирів та вантажу (якщо передбачено).

Затоплення

У разі пробоїн або водонепроникності корпусу:

- запуск системи тривоги про затоплення;
- локалізація місця затоплення та визначення масштабу пошкоджень;
- закриття водонепроникних перебірок для обмеження проникнення води;
- активація насосів відкачування;
- виконання заходів для стабілізації судна (зменшення крену чи диференту);
- розробка плану евакуації у разі критичної ситуації.

Евакуація судна

У разі необхідності залишення судна:

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- оголошення загальної тривоги та інформування екіпажу і пасажирів про евакуацію;
- розподіл рятувальних жилетів і забезпечення посадки в рятувальні шлюпки або плоти;
- підготовка аварійних радіомаяків (EPIRB) до активації;
- забезпечення зв'язку з рятувальними службами для координації дій.

Зіткнення

При зіткненні судна з іншим об'єктом:

- негайне зупинення двигунів для зменшення пошкоджень;
- перевірка корпусу судна на наявність пробоїн або деформацій;
- запуск системи аварійного зв'язку для повідомлення інших суден та берегових служб;
- оцінка стабільності судна та вжиття заходів для уникнення затоплення;

Командна робота екіпажу

Ролі та відповідальність

Кожен член екіпажу має чітко визначені обов'язки в надзвичайних ситуаціях:

- капітан: керує діями екіпажу, ухвалює рішення, координує рятувальні операції;
- старший помічник: відповідає за організацію роботи екіпажу, контроль виконання завдань;
- інженерний персонал: забезпечує безперебійну роботу машинного відділення та аварійних систем;
- рядові члени екіпажу: виконують завдання відповідно до інструкцій старших офіцерів.

Комунікація

Використання системи аварійного зв'язку (GMDSS).

Встановлення зрозумілих сигналів та команд.

Постійне інформування всіх членів екіпажу про розвиток ситуації.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Навчання та тренування екіпажу

Регулярні тренування є запорукою ефективності дій у надзвичайних ситуаціях:

- щотижневі навчання з евакуації та пожежогасіння;
- імітація аварійних ситуацій (наприклад, зіткнення, затоплення);
- оцінка результатів навчань та усунення виявлених недоліків;
- тренування взаємодії із зовнішніми службами (берегова охорона, рятувальні служби).

Психологічна підготовка екіпажу

У стресових умовах збереження спокою і здатності діяти раціонально є вкрай важливим. Для цього:

- організовуються тренінги з управління стресом;
- відпрацьовуються сценарії дій у кризових ситуаціях;
- забезпечується підтримка командного духу і взаємодопомога.

Оцінка ризиків і постійне вдосконалення

Проведення регулярного аналізу можливих ризиків на основі попереднього досвіду.

Вдосконалення планів дій та процедур у разі аварій.

Постійна модернізація обладнання та підвищення кваліфікації екіпажу.

Організація дій екіпажу у надзвичайних ситуаціях є багатогранним процесом, який включає чітке планування, регулярні тренування, злагоджену комунікацію та готовність до оперативного реагування. Забезпечення безпеки на борту залежить від професійної підготовки кожного члена екіпажу, наявності ефективного обладнання та командної роботи. Впровадження сучасних підходів до організації аварійних заходів дозволяє зберігати життя людей, судна та навколишнє середовище навіть у найскладніших умовах.

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної кваліфікаційної роботи було проаналізовано конструктивні особливості чотирьохтактного середньообертового двигуна МаК 8М20С, проведено аналіз сучасних способів модернізації та вдосконалення паливних форсунок. Аналіз показав, що одним найперспективнішим способом є модернізація розпилювачів. Це сприяє покращенню експлуатаційних показників двигуна.

Були проведені розрахунки робочого циклу та визначені основні характеристики та параметри роботи паливної системи.

Для збільшення надійності розпилювачів форсунок запропоновано форсунки клапанного типу, в яких прецизійну пару голка-корпус розпилювача замінено безпрецизійним клапанним вузлом.

Були розроблені рекомендації по технічному обслуговуванню паливних форсунок.

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

					КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2004. The Royal Institution of Naval Architects, 2004. pp. 121 - 122.
2. MaK 8M20C. Project guide, 2013. 256 p.
3. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. 914 p.
4. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
5. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. Target Global Energy Training. Onnen, The Netherlands. July 2008.
6. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
7. Latarche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Tenth edition. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
8. Woodyard D. Marine diesel engines and gas turbines. 9th ed. Oxford, 2009. 896 p.
9. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					<i>КРМ.142.6222м.24.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		