

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

Кафедра двигунів
внутрішнього згорання,
установок та технічної
експлуатації

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

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ГОЛОВНОГО СУДНОВОГО
ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ**

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згорання

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Данііл ВОРОНЦОВ

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

Воронцов Данііл Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Покращення показників роботи головного суднового двигуна шляхом використання водопаливної емульсії

2. Керівник роботи д.т.н., проф. Тимошевський Б. Г.

(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 – MAN 6S50MC-C; паливо – дизельне, водопаливна емульсія, потужність двигуна – 10000 кВт, частота обертання колінчастого валу – 124 хв⁻¹

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

Застосування двигуна MAN 6S50MC-C на балкері «Thalassini Axia»; Сучасні напрямки покращення показників судових двигунів; Модернізація двигуна MAN 6S50MC-C шляхом використання водопаливної емульсії; Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд машинного відділення балкера «Thalassini Axia»; Поперечний розріз двигуна MAN 6S50MC-C; Схема паливної системи; Диспергатор; Паливна форсунка

7. Консультанти розділів роботи

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

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач освіти

Керівник роботи

(підпис)

Данііл ВОРОНЦОВ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення показників роботи головного двигуна шляхом використання водопаливної емульсії. Розглянуто економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 65 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: екологічні показники, водопаливна емульсія, диспергатор, форсунка.

The qualification work develops a set of measures to improve the performance of the main engine by using a water-fuel emulsion. The economic justification of the modernization implementation is considered. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 65 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1

Key words: environmental performance, water-fuel emulsion, dispersant, injector.

					КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		2

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Застосування двигуна MAN 6S50MC-C на балкері «Thalassini Ахія»	5
Розділ 2. Сучасні напрямки покращення показників суднових двигунів	16
Розділ 3. Модернізація двигуна MAN 6S50MC-C шляхом використання водопаливної емульсії	32
Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна	46
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці	51
Висновки	59
Список використаної літератури	60
Додаток А. Загальний вигляд машинного відділення балкера «Thalassini Ахія»	61
Додаток Б. Поперечний розріз двигуна MAN 6S50MC-C	62
Додаток В. Схема паливної системи	63
Додаток Г. Диспергатор	64
Додаток Д. Паливна форсунка	65

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

ВСТУП

В суднових дизелях все частіше використовуються важкі та низькоякісні види палива. Підвищений вміст ароматичних сполук і асфальтенів у таких паливах негативно впливає на їхню здатність до займання і повноту згоряння. Крім того, при змішуванні таких палив часто спостерігається порушення їх стабільності, що обумовлено високим вмістом асфальтосмолистих сполук. Якість дизельного палива має відповідати вимогам, які забезпечують надійну та безперебійну подачу в камеру згоряння згідно із заданими характеристиками процесу. Паливо повинно мати оптимальні властивості займання і випаровування, що необхідно для легкого запуску та стабільної роботи двигуна в усьому діапазоні експлуатаційних режимів. Крім цього, паливо повинно характеризуватися низькою корозійністю і мінімальною схильністю до утворення відкладень у системах підготовки, подачі палива і вихлопу газів. Для забезпечення відповідності цим вимогам паливо перед подачею в камеру згоряння повинно проходити відповідну обробку, яка здійснюється в паливних системах низького тиску.

Мета даної роботи – розробити умови щодо покращення параметрів роботи головного суднового двигуна шляхом використання водопаливної емульсії.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості конструкції й експлуатації суднового малообертового двигуна.
2. Модернізація паливної системи.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – паливна система.

Предмет дослідження – параметри паливної системи при використанні водопаливної емульсії.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА MAN 6S50MC-C НА БАЛКЕРІ
«THALASSINI AXIA»

Thalassini Axia (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) – перший балкер класу Supramax дедвейтом 58608 дедвейтів, який побудований на верфі SPP Sacheon Shipyard і переданий грецькому власнику Ensel S.A. у березні 2010.

Судно є океанським балкером з носовою частиною у формі цибулини, однією вигнутою верхньою палубою з форштевнем, транцевою кормою, одним кермом і одним гвинтовим рушієм. Вантажний відсік складається з п'яти вантажних трюмів з подвійними трюмами для водяного баласту з бункером і верхніми баластними цистернами на бортах [1].

Суховантаж водотоннажністю 58608 тонн є першим у своєму роді, побудованим на верфі. Судно оснащено ліцензійним двигуном MAN 6S50MC-C виробництва Doosan потужністю 10000 кВт, що забезпечує робочу швидкість судна 15,15 вузлів при 121,5 об/хв при роботі на 90% потужності MCR з 15% морським запасом.

Важкі мазутні танки розташовані двома парами з танками № 4 і 5 на верхніх бортах крила, які захищені водяними баластними цистернами, а також глибоким танком, розташованим між машинним відділенням і трюмом № 5. Судно в основному призначене для перевезення вугілля, залізної руди, зерна, рулонної сталі та цементу. Для захисту водяних баластних танків від корозії на судно також нанесено захисне покриття згідно зі стандартом PSPC (Performance Standard for Protective Coating). Система палубних механізмів розташована таким чином, щоб безпечно підходити до причалу за допомогою швартового канату. Крім того, важіль управління гідромотором лебідки може управлятися дистанційно. Трюмний рух судна спроектований відповідно до вимог Морських наказів AMSA, частина 32.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5



Рисунок 1.1 – Балкер Thalassini Axia

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

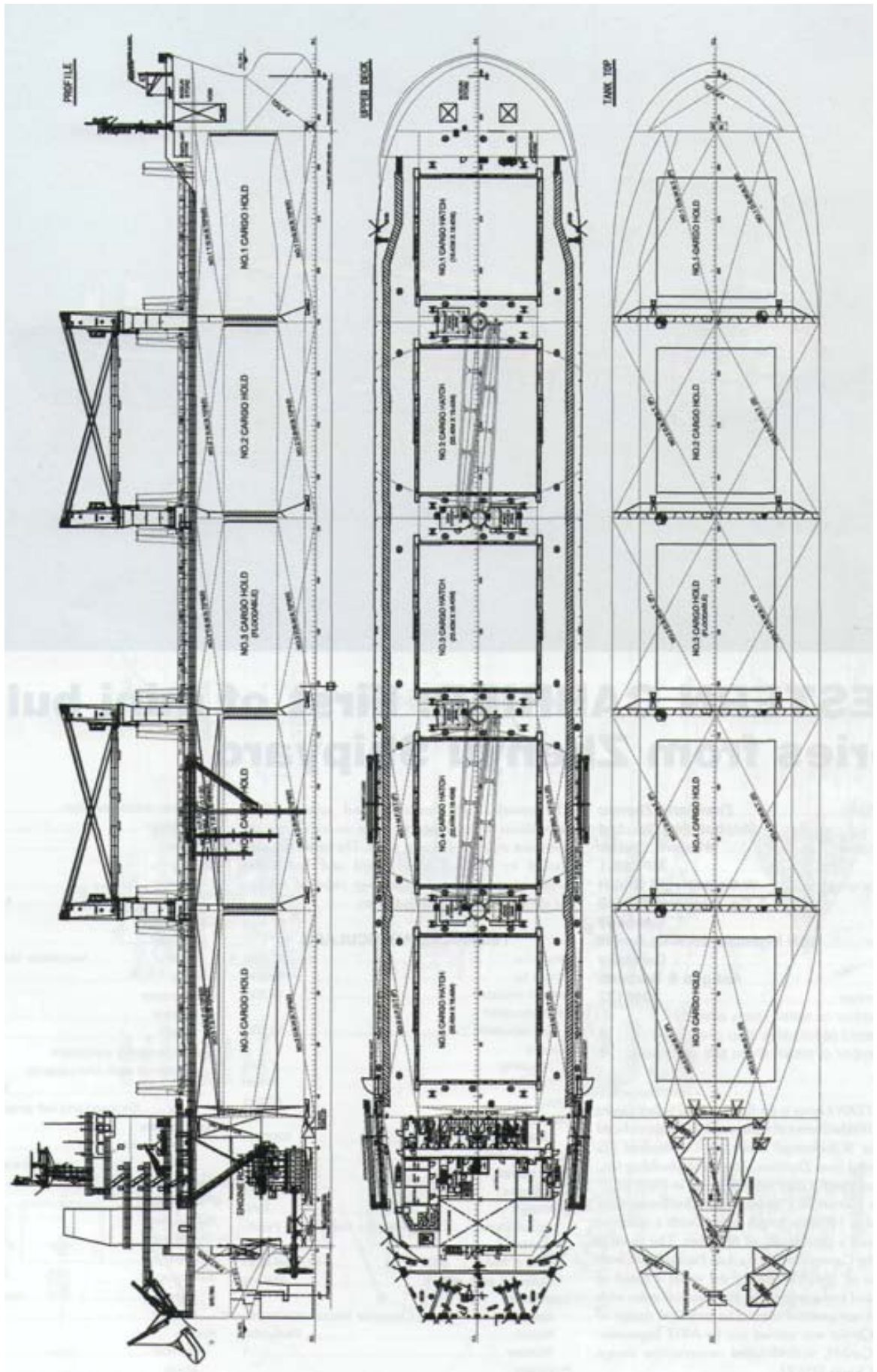


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд балкера Thalassini Axia

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.24.03.00.ПЗ

Аркуш

7

Судно ходить під прапором Мальти. Позивний судна – 9HA2318. ІМО – 9452490. MMSI – 248326000.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	196,00
Довжина між перпендикулярами, м	189,00
Висота до палуби, м	18,60
Ширина найбільша, м	32,26
Проектна осадка, м	11,10
Максимальна осадка, м	13,00
Дедвейт, т	47493
Швидкість судна, вуз	14,6
Об'єм баластних цистерн, м ³	16045
Об'єм цистерн важкого палива, м ³	2198
Об'єм цистерн дизельного палива, м ³	145,8
Повна водотоннажність судна, т	69919
Водотоннажність судна порожнем, т	11311
Classification society and notations: ABS +A1, Bulk Carrier, BC-A, +AMS, +ACCU, CSR, AB-CM, ESP, GRAB[20], TCM	

Опис енергетичної установки

Головна енергетична установка містить один головний малооборотний двигун MAN 6S50MC-C [2]. Він розвиває потужність 10000 кВт, і приводить у рух гребний гвинт SILLA METAL, діаметром 5,9 м. Також судно забезпечено трьома дизель-генераторами потужністю 600 кВА, де в якості двигунів використовуються Yanmar Diesel 6N21L-UV потужністю 660 кВт кожний. Також встановлений один котел SPP Machine Tech Co., продуктивністю 1200 кг/год при 0,7 МПа.

					<i>KPM.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Опис двигуна MAN 6S50MC-C

Двигун MAN 6S50MC-C – реверсивний малообертовий двотактний довгоходовий крейцкопфний дизельного типу; простої дії, з газотурбінним наддуванням; розташування циліндрів рядне, вертикальне; правого обертання. Повздовжній зображений на рис.1.1.

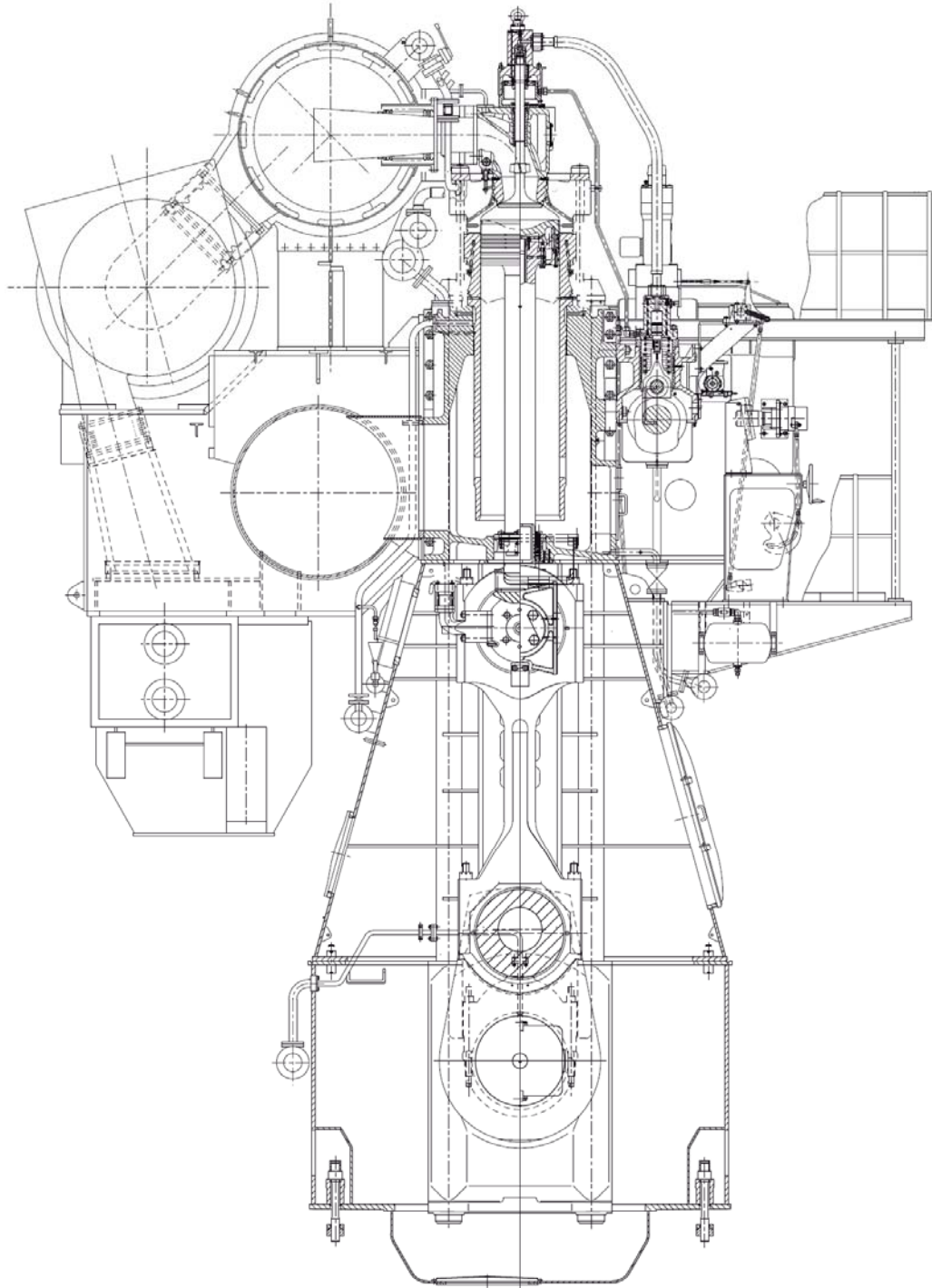


Рисунок 1.3 – Повздовжній розріз двигуна MAN 6S50MC-C

									Аркуш
									9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ				

Фундаментна рама двигуна має спрощену коробчасту форму і виготовлена зі сталевих суцільнозварних елементів. Вона закріплюється до фундаменту суднового корпусу за допомогою болтів, встановлених на сталевих клинах. Поперечні опори виконані зі сталевого литва і мають отвори для проходу анкерних зв'язків. Вкладиші рамових підшипників виготовлені з тонкостінної сталі та покриті шаром білого металу (бабіту).

У кормовій частині піддона фундаментної рами розташований отвір із сітчастим покриттям для зливу мастила з картера в циркуляційну масляну цистерну, що знаходиться під двигуном у подвійному дні корпусу судна. У кормовій частині двигуна розташований відсік приводів із вбудованим упорним підшипником.

Картер виконана як суцільнозварна сталева конструкція з дверима для доступу до кожного відсіку циліндрів та відсіку приводів з боку управління (рис. 1.4). Відсік приводів також має двері з протилежного боку. Запобіжні клапани картера розташовані у верхній частині станини з боку газовідведення та носового торця. Кожен циліндр оснащений сталевими направляючими крейцкопфа, які приварені до конструкції станини.

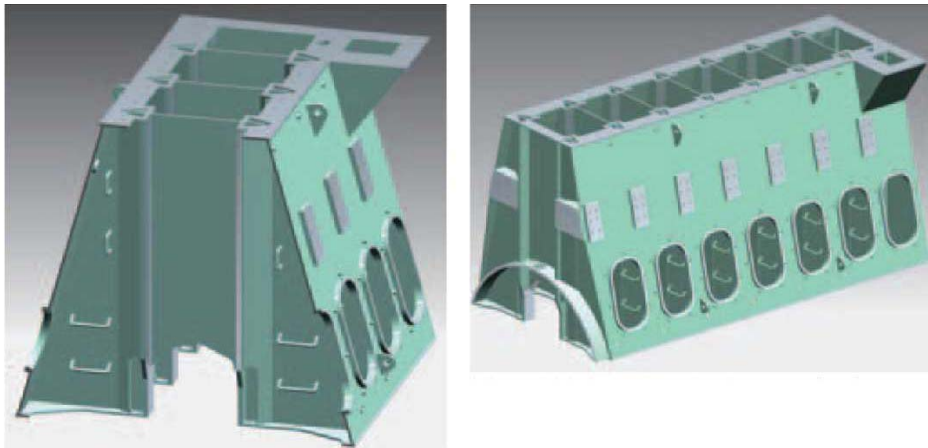


Рисунок 1.4 – Картер

Блок циліндрів складається з окремих литих чавунних блоків, які зібрані в єдиний моноблок за допомогою призонних болтів. У кожен блок встановлено запресовану циліндрову втулку. У верхній частині нижнього бурта втулки є

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

отвори для встановлення восьми штуцерів, призначених для подачі циліндрового мастила. Зовнішня верхня частина втулки закрита порожнистою чавунною сорочкою охолодження, яка забезпечує відведення тепла.

В районі камери згоряння втулка має косі отвори для проходу охолоджувальної води. Ущільнення втулки забезпечується гумовими кільцями: чотирма в нижній частині та двома в районі сорочки охолодження (по одному зверху і знизу сорочки). Посадкове місце між втулкою і блоком ущільнюється шляхом притирання, без використання прокладок. Ущільнення між втулкою і кришкою циліндра забезпечується м'яким залізним кільцем.

Перепуск охолоджувальної води здійснюється через чотири патрубки, які з'єднують блок з сорочкою охолодження, а також через аналогічні трубки між сорочкою і кришкою циліндра.

Циліндрова втулка виготовлена з модифікованого чавуну як суцільнолита конструкція (рис. 1.5). У нижній частині втулки розташовано 30 продувних вікон. Як і в попередніх моделях двигунів компанії, масивний бурт у верхній частині втулки має отвори для циркуляції охолоджувальної води з зарубашкового простору в кришку циліндра.

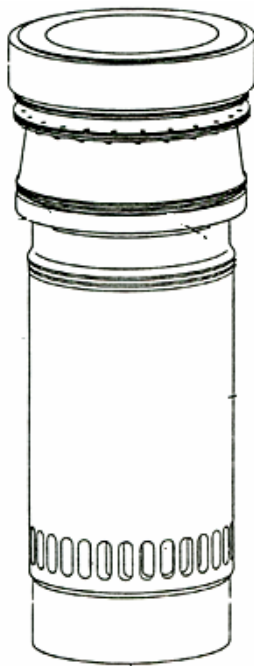


Рисунок 1.5 – Втулка циліндра

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Мастило втулки забезпечується через два ряди отворів для подачі циліндрового мастила у верхній частині втулки. З боку дзеркала втулки кожен отвір оснащений розподільчими канавками для рівномірного розподілу мастила.

Кришка циліндра виготовлена зі сталі методом лиття і має колпачкову конструкцію. Вона оснащена свердліннями для проходу охолоджувальної води, що забезпечує ефективне тепловідведення (рис. 1.6). У конструкції кришки передбачено розміщення двох форсунок, випускного клапана, індикаторного крана та запобіжного клапана. Кришка закріплюється до блоку циліндра за допомогою гідравлічного кільця і 16 шпильок, які проходять крізь порожнисту сорочку охолодження у верхній частині втулки. Це забезпечує надійність кріплення та герметичність з'єднання.

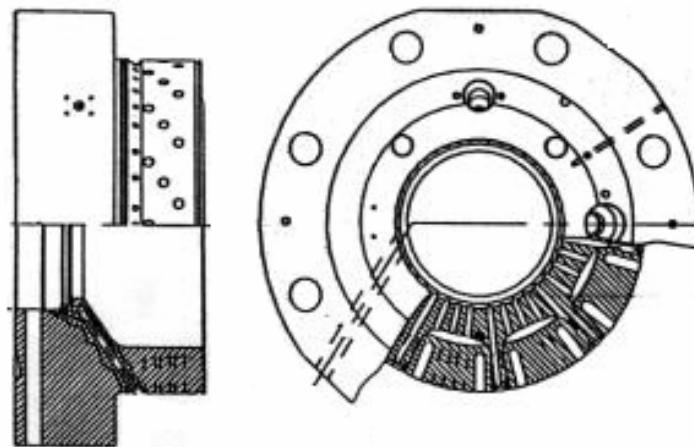


Рисунок 1.6 – Кришка циліндра

Поршень двигуна має сталеву головку та укорочену чавунну спідницю (рис. 1.7). У поршні розташовано чотири компресійних кільця, а на спідниці передбачено два красномідних прирабочних паски. Для охолодження поршня використовується масло, яке подається та відводиться через свердління в поперечині крейцкопфа та сталеву трубку всередині штока. Матеріал поршня – хромо-молібденова сталь, яка забезпечує високу міцність і зносостійкість.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

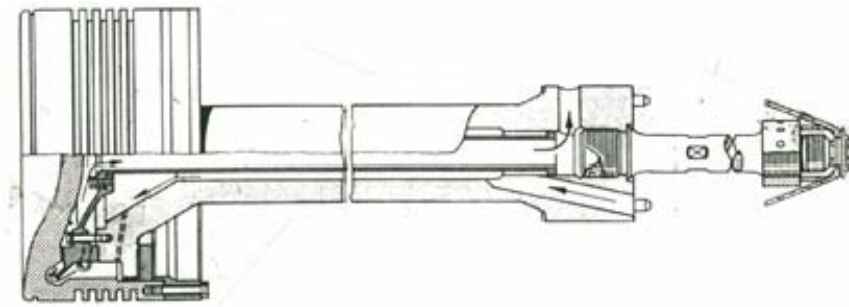


Рисунок 1.7 – Поршень

Шатун виготовляється зі сталі методом лиття з подальшим куванням і механічною обробкою. Верхня головка виконана у вилчастому варіанті, а верхня і нижня головки є невід'ємними. Вкладиші головного і мотильового підшипників мають тонкостінну сталеву основу, залиту білим металом. Усередині шатуна передбачені свердління для проходу мастила від головного підшипника до мотильового. Короткий стрижень шатуна сприяє зменшенню загальної висоти двигуна, що є конструктивною перевагою для компактних установок.

Колінчастий вал виготовлений із сталі, має полузіставну конструкцію. Кривошипи є литими, а рамові шийки запресовані в конструкцію вала. На передній частині вала (носовій частині двигуна) встановлено поршень демпфера осьових коливань (рис. 1.8). Тут також розташована однорядна зірочка для приводу допоміжних валів із балансуєчими елементами. З задньої частини двигуна до колінчастого вала кріпиться дворядна зірочка для приводу розподільного вала.



Рисунок 1.8 – Колінчастий вал

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

Розподільний вал приводиться в рух дворядним 4-дюймовим ланцюгом (рис. 1.9). Для забезпечення рівномірного балансу моментів від сил інерції другого порядку використовуються дві проміжні зірочки, на яких розташовані балансири аналогічні тим, що встановлені на носовій частині двигуна. Від розподільного валу також приводяться в рух валик лубрикаторів для циліндричного мастила і регулятор частоти обертання.

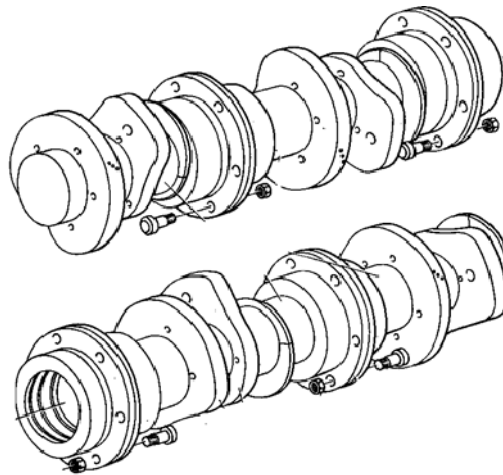


Рисунок 1.9 – Розподільний вал

Випускний клапан має корпус із чавунного литва та шпindel з імPELLером, який забезпечує його обертання під дією газового потоку. Сідло клапана охолоджується (рис. 1.10). Охолоджувальна вода проходить через свердління в кришці циліндра та сідлі клапана, циркулюючи поблизу посадкового пояса. Після цього вона прямує в порожнину охолодження корпусу клапана і виводиться через верхню точку корпусу у відливну трубу. Посадочні пояски шпindеля і сідла випускного клапана наплавлені стеллітом, що забезпечує високу зносостійкість і довговічність у складних умовах експлуатації. Відкриття клапана здійснюється за допомогою гідравлічного поршня, а закриття – пневматичного поршня. Випускний клапан закріплюється до кришки циліндра за допомогою чотирьох шпильок. Кожен циліндр оснащений випускним клапаном, який розташований у центрі кришки. Кріплення клапана здійснюється чотирма шпильками з гайками типу

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

"поворот і затиск", монтаж і затяжка яких виконуються гідравлічним гайковертом із заданим зусиллям для забезпечення надійності з'єднання.

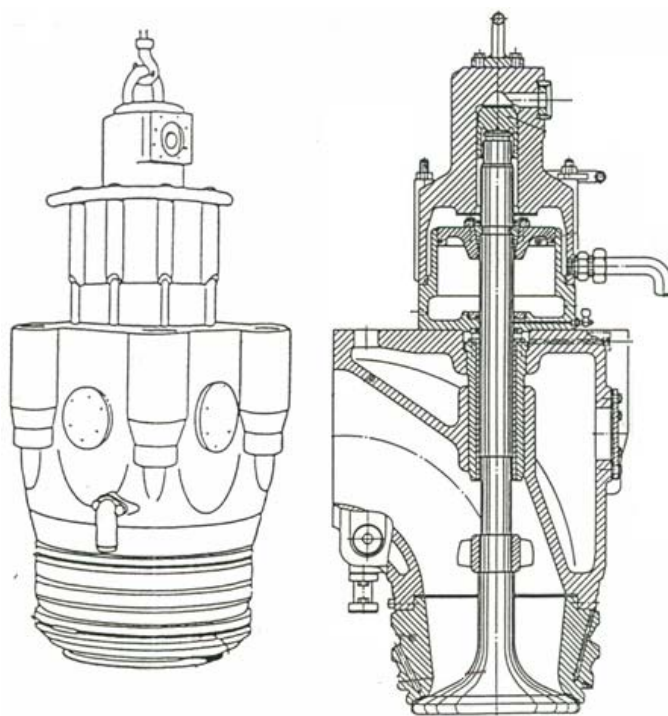


Рисунок 1.10 – Випускний клапан

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Суднові двигуни є основою морського транспорту, забезпечуючи рух і функціонування суден. У сучасних умовах, з урахуванням зростання вимог до економічності, екологічності та надійності, вдосконалення суднових двигунів набуло стратегічного значення. Основні напрями покращення їх характеристик можна поділити на кілька ключових аспектів:

1. Підвищення паливної економічності

Оптимізація процесу згорання: Використання багатоступінчастого впорскування палива і вдосконалених форсунок для створення однорідної паливно-повітряної суміші.

Використання низькоякісного палива: Розробка систем попередньої обробки палива для забезпечення його стабільності та покращення займистості.

Застосування технологій рекуперації енергії: Використання систем відбору тепла з вихлопних газів (термокомпресори, парові турбіни) для підвищення загального ККД.

2. Зниження шкідливих викидів

Системи очищення вихлопних газів: Установлення скрубєрів для зниження викидів оксидів сірки (SOx) і селективного каталітичного відновлення (SCR) для зменшення оксидів азоту (NOx).

Застосування альтернативних палив: Перехід на екологічно чисті види палива, такі як зріджений природний газ (LNG), метанол або біопаливо.

Використання електричних гібридних систем: Поєднання двигунів внутрішнього згорання з електричними системами для зменшення викидів і підвищення енергоефективності.

3. Вдосконалення конструктивних рішень

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

Зменшення маси двигуна: Використання нових матеріалів, таких як легкі сплави, і оптимізація конструкції для зниження маси та покращення економічності.

Модернізація систем мастила та охолодження: Використання адаптивних систем з автоматичним регулюванням для підтримки оптимальних умов роботи двигуна.

Застосування цифрових технологій: Впровадження систем моніторингу стану двигуна на основі сенсорів і IoT для прогнозування несправностей і підвищення надійності.

4. Інтеграція електронних систем керування

Автоматизація процесів: Використання електронних систем управління паливоподачею, регулюванням обертів і навантаження для оптимізації роботи двигуна.

Аналіз і оптимізація в реальному часі: Використання штучного інтелекту та машинного навчання для адаптації двигуна до змінних умов експлуатації.

Покращення безпеки: Інтеграція аварійних систем, які забезпечують миттєве відключення або зміну режиму роботи двигуна у разі виникнення критичних ситуацій.

5. Підвищення надійності та зменшення витрат на обслуговування

Сучасні матеріали: Використання зносостійких покриттів і сплавів для підвищення довговічності ключових компонентів двигуна.

Модульна конструкція: Полегшення ремонту і технічного обслуговування завдяки використанню змінних модулів.

Системи самоочищення: Зменшення утворення відкладень і спрощення обслуговування за допомогою автоматизованих систем очищення форсунок, камер згоряння та вихлопних колекторів.

6. Використання альтернативних джерел енергії

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>17</i>

Електрифікація суден: Використання електродвигунів у гібридних або повністю електричних суднових установках.

Використання енергії вітру та сонця: Інтеграція допоміжних джерел енергії, таких як вітрові турбіни або сонячні панелі, для зниження споживання палива.

7. Екологічна відповідність і інновації

Відповідність міжнародним стандартам: Розробка двигунів, що відповідають сучасним вимогам ІМО щодо скорочення викидів SO_x, NO_x і CO₂.

Інвестиції в дослідження: Постійна робота над інноваційними технологіями для створення більш екологічних і економічних двигунів.

Вплив властивостей водопаливної емульсії на екологічні показники суднових дизелів

Одним із ефективних, маловитратних та простих способів зменшення викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами суднових дизелів є використання водно-паливної емульсії як присадки.

Температура відпрацьованих газів знижується на 2...3% завдяки покращенню процесу сумішоутворення, оптимізації тепловиділення під час робочого циклу та підвищенню повноти згоряння палива. Частина тепла, що виділяється при згорянні, витрачається на нагрівання та випаровування води, яка міститься в емульсії. У результаті максимальна температура циклу знижується на 150...200 К, а локальні температури в окремих зонах камери згоряння – на 400...500 К.

Оскільки окислення азоту відбувається лише при температурах понад 1500 К, зниження температури в камері згоряння призводить до зменшення концентрації оксидів азоту у вихлопних газах. При вмісті води в емульсії в межах 5...40% димність відпрацьованих газів зменшується у 2...4 рази, а концентрація оксидів азоту – на 30...50%.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

Розмір включень води в емульсії також впливає на ефективність її застосування. Менші краплі води сприяють зниженню концентрації оксидів азоту, але водночас збільшують питому витрату палива. Оптимальна дисперсність водної фази становить 2...15 мкм, при якій досягається найменша витрата палива. Занадто малі або надто великі розміри крапель призводять до збільшення витрат.

На рисунку 2.1 наведено навантажувальні характеристики чотиритактного дизеля потужністю 73,6 кВт при частоті обертання колінчастого вала 1200 об/хв. Дані свідчать, що зі зменшенням розмірів включень води у водно-паливній емульсії концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах знижується, але водночас зростає питома ефективна витрата палива.

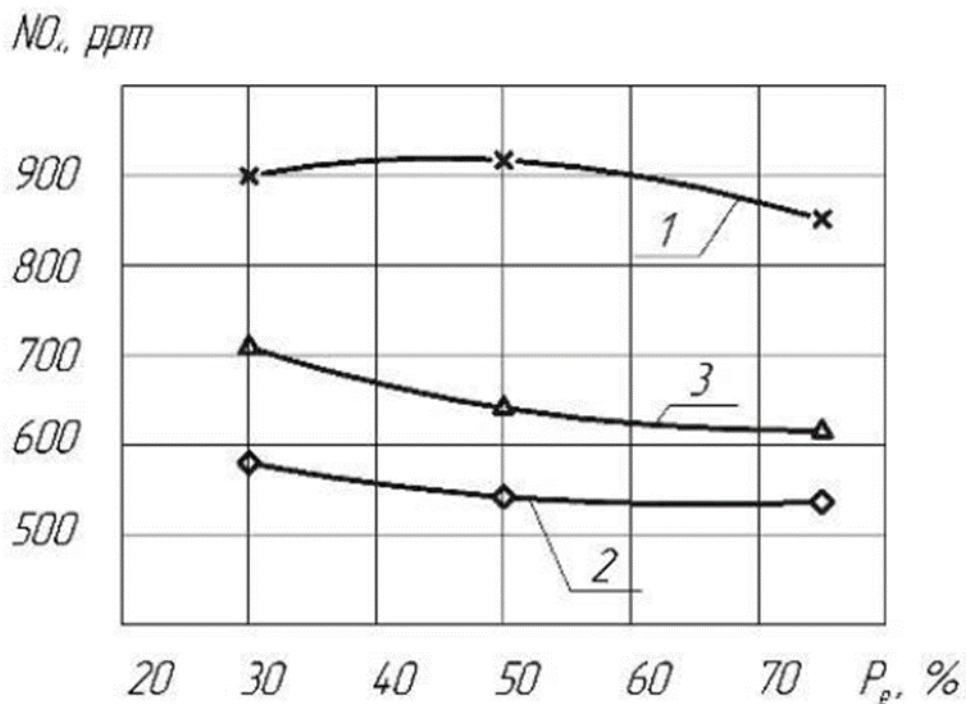


Рисунок 2.1 – Залежність концентрації оксиду азоту, що міститься у відпрацьованих газах від дисперсності ВПЕ дизельного палива: 1 - дизельне паливо; 2 - $d_w = 0,20$ мкм; 3 - $d_w = 0,45$ мкм

Однак при повному навантаженні спостерігається зворотний ефект. Використання дрібнодисперсної емульсії з розміром частинок 0,20 мкм, у порівнянні з безводним паливом, демонструє підвищення ефективного ККД на всіх режимах навантаження, що свідчить про зниження питомої ефективної витрати палива.

Воднопаливна емульсія є дієвим засобом для зниження викидів оксидів азоту з вихлопними газами дизельних двигунів. Зменшення розмірів включень води в емульсії здебільшого сприяє подальшому зниженню концентрації NOx. Проте, такий підхід до покращення екологічних показників може мати негативний вплив на економічність двигуна [3].

Вплив водопаливної емульсії на робочий процес двигунів

Струмінь впорскуваного палива складається з безлічі крапель розміром 5...30 мкм. Емульговане паливо характеризується більшою густиною, підвищеною в'язкістю та збільшеним поверхневим натягом. Це сприяє зменшенню витоків палива у плунжерних парах паливних насосів, підвищенню тиску в трубопроводі, що, своєю чергою, призводить до зростання швидкості витікання палива з форсунки, покращення дисперсності розпилювання, збільшення довжини факела, кута конуса струменя та зміни розподілу палива в об'ємі струменя.

При впорскуванні безводного палива, у міру його випаровування, загальна поверхня крапель зменшується. Натомість у емульгованому паливі, завдяки мікрровибухам, поверхня крапель значно збільшується. Розрив крапель спричиняє їхнє подрібнення та більш інтенсивне перемішування парів палива з повітрям. Факел палива займає більший об'єм, але, попри велику густину емульсії, дальність струменя не збільшується, а натомість відбувається розширення факела всередині камери згоряння. Вода, що входить до складу емульгованого палива, впливає на всі етапи процесу горіння.

Крапля емульсії, що впорскується, під час затримки самозаймання нагрівається і вибухає. Подрібнені краплі швидко випаровуються, інтенсивно

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

перемішуються з повітрям і вступають у реакцію з киснем. Процес випаровування крапель води, що містяться в емульсії, забезпечує додаткове охолодження робочого середовища. Це може призводити до зменшення швидкості хімічних реакцій та збільшення тривалості періоду затримки samozаймання. Однак тривалість цього періоду залежить від температури і тиску в камері згорання, і її можна скоротити за рахунок більш раннього впорскування водно-паливної емульсії (ВПЕ), підвищення ступеня стиснення тощо.

Період швидкого початкового горіння охоплює від моменту займання палива до досягнення максимального тиску в циліндрі. Він характеризується інтенсивним збільшенням швидкості згорання, тиску та температури в циліндрі. Основним фактором, що впливає на цей процес, є кількість палива, накопиченого під час затримки samozаймання.

При спалюванні водно-паливної емульсії процес накопичення палива відбувається повільніше, ніж при використанні звичайного палива, оскільки частину впорснутого об'єму займає вода, що входить до складу емульсії. Однак горіння емульгованого палива проходить швидше, ніж безводного. Наприклад, мазут у вигляді емульсії згорає на 25...30% швидше, ніж звичайний мазут.

Період основного горіння починається з моменту досягнення максимального тиску в циліндрі і триває до точки, де показник політропи розширення дорівнює адіабаті ($n_2 = k$). У цей період спостерігається швидке зменшення кількості проміжних продуктів реакції та інтенсивне утворення кінцевих продуктів. Тривалість цього періоду залежить від ефективності підведення повітря до палива та продуктів його проміжного окислення. Ключове значення має інтенсивність перемішування реагуючих компонентів.

При використанні водно-паливної емульсії під час основного періоду горіння впорскується більша кількість палива. Завдяки більш тривалому впорскуванню та мікробухам забезпечується додаткове перемішування

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

парів палива, повітря та кінцевих продуктів реакції. Це сприяє покращенню регулювання процесу згоряння.

Проте надмірне збільшення тривалості горіння є небажаним, оскільки занадто тривалий період впорскування може значно знизити досягнутий ефект, погіршуючи загальну ефективність процесу згоряння.

У заключному періоді горіння підвищена концентрація водяної пари в зоні займання та згоряння має значний вплив на швидкість процесів окислення та згоряння палива при максимальних температурах циклу.

Цей етап характеризується поступовим зниженням температури робочого середовища [4] та зменшенням концентрації вихідних компонентів, таких як паливо і кисень. Тривалість періоду визначається ступенем турбулентності суміші. Високий вміст вологи у високотемпературній газовій суміші сприяє активному процесу газифікації сажистих залишків палива, що підтверджується зменшенням коксо- і нагароутворення при введенні води в циліндр дизельного двигуна. Скорочення подачі водно-паливної емульсії на цьому етапі (з урахуванням її збільшеної подачі на попередньому етапі) може сприяти підвищенню економічності циклу.

Дослідження впливу водно-паливних емульсій на процес згоряння палива в двигунах внутрішнього згоряння показали, що додавання води до палива дозволяє якісно регулювати окремі етапи згоряння.

Багато вчених, як вітчизняних, так і зарубіжних, оцінювали вплив емульгованого палива на робочий процес дизельного двигуна. Процеси, що відбуваються в камері згоряння, можна уявити як сукупність фізичних і хімічних явищ, які взаємодіють і доповнюють одне одного:

Фізичний вплив на макро- і мікросумішоутворення: Забезпечує більш тонке розпилювання та вторинне дроблення крапель водно-паливної емульсії внаслідок мікровибухів.

Хімічна та каталітична дія води: Вода впливає на перебіг хімічних реакцій у процесі горіння палива.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

Емульсія – це суміш двох нерозчинних рідин, одна з яких диспергована в іншій у вигляді частинок розміром 0,1...100 мкм.

Мікрогетерогенні емульсії включають частинки води розміром від 1 до 10 мкм. Частинки, які неможливо побачити за допомогою оптичного мікроскопа, називають колоїдними, їх розмір коливається в межах 1...400 нм. Для дослідження таких частинок застосовують електронні мікроскопи.

Фізичні властивості водно-паливної емульсії (в'язкість, густина, температура спалаху, температура застигання тощо) визначаються тими самими параметрами, що й властивості звичайного палива. Однак емульсії мають специфічні характеристики, які не притаманні безводному паливу. До них належать дисперсність, гетерогенність, концентрація дисперсної фази та стійкість.

Дисперсність – це величина, обернено пропорційна середньому діаметру крапель води, яка характеризує ступінь подрібнення приготованої емульсії. Зі збільшенням дисперсності зростає загальна поверхня контакту води з паливом, що підсилює вплив механізмів взаємодії на межі незмішуваних рідин. Якщо дисперсна фаза є рухомою, така система називається вільнодисперсною.

Кількість води в емульсії впливає на економічні, екологічні та експлуатаційні показники дизеля. Оптимальний вміст води залежить від типу палива, конструктивних особливостей двигуна і його режиму роботи. Визначення оптимальної концентрації здійснюється на основі випробувань конкретного двигуна і є компромісним рішенням. У суднових дизелях зазвичай застосовуються концентровані водно-паливні емульсії з вмістом води в межах 5...25%.

Стійкість емульсії – це здатність зберігати дисперсність і рівномірність розподілу водної фази у всьому об'ємі з часом. Ця характеристика є критично важливою, оскільки значною мірою визначає надійність і безвідмовність роботи двигуна.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

Емульсії, приготовлені на основі дистильованого дизельного палива і води, є нестійкими. Вони починають розшаровуватися на водну та паливну фази одразу після приготування. Основними причинами втрати стійкості емульсій є процеси седиментації та коалесценції.

Седиментація – це процес розшарування компонентів емульсії під дією сили тяжіння, коли нерозчинні рідини розділяються: легші частинки спливають, а важчі осідають. Цьому явищу сприяють процеси флокуляції та коалесценції.

Флокуляція – процес злипання окремих крапель без їх злиття у більші. Утворені таким чином флокульовані краплі осідають швидше, ніж окремі. Швидкість седиментації зростає зі збільшенням різниці в густині рідин і розмірів водяних включень.

Коалесценція – процес злиття дрібних крапель у більші. Це призводить до зниження ступеня дисперсності емульсії та переходу системи зі стану метастабільності в термодинамічно стійкий стан. У крайніх випадках коалесценція може призвести до повного розшарування емульсії на воду та паливо.

Фізичні впливи води на процеси сумішоутворення і згоряння

Вода в складі водно-паливної емульсії чинить фізичний, хімічний і каталітичний вплив на процеси сумішоутворення і горіння. Серед фізичних явищ, що покращують якість сумішоутворення і згоряння, особливу роль відіграють мікробибухи парів води у краплях палива.

Мікробибухи сприяють інтенсивнішому розпилюванню палива, знижують локальні температури в камері згоряння і зменшують концентрацію оксидів азоту у вихлопних газах.

Оцінка впливу мікробибухів на робочий процес дизеля залишається дискусійною: одні дослідники вважають, що вони суттєво покращують сумішоутворення і згоряння, інші – що їхній вплив незначний.

Хімічний і каталітичний вплив води на процес горіння

					КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Згідно з теорією каталітичного впливу води, підвищена концентрація водяної пари в горючій суміші і продуктах згоряння позитивно впливає на процес займання і горіння палива. Вода виступає каталізатором, який полегшує реакції окислення, сприяє більш рівномірному згорянню і зменшенню утворення шкідливих викидів.

Таким чином, використання водно-паливних емульсій забезпечує комплексний вплив на робочий процес дизеля, який включає фізичні, хімічні та каталітичні явища, що підвищують ефективність і екологічність двигуна.

У безводній горючій суміші окис вуглецю практично не згорає. Однак навіть незначне підвищення вологості на 1% сприяє майже повному вигорянню окису вуглецю. Це явище пояснюється каталітичною дією водяної пари, яка в полум'ї частково розкладається на водень, кисень і гідроксильні групи, виступаючи каталізатором процесу окислення.

Механізм каталітичної дії води

Каталітична дія водяної пари обумовлена кількома факторами:

Резонансні частоти коливань: Молекули води і кисню мають подібні резонансні частоти, що полегшує передачу енергії між ними.

Полярність молекул води: Вода поляризує середовище горіння, що сприяє прискоренню хімічних реакцій.

Найбільш детально каталітичний вплив водяної пари на горіння пояснюється теорією ланцюгових реакцій. Відповідно до неї, перетворення вихідних речовин у кінцеві продукти відбувається через утворення ряду проміжних хімічних сполук.

На початковій стадії окислення швидкість ланцюгової реакції визначається концентрацією атомарного водню. Зі зростанням температури реакція набуває значного самоприскорення, переходячи в екзотермічну фазу. Для інтенсифікації цього процесу в дизельних двигунах можна збільшувати початкову концентрацію атомарного водню шляхом додавання води до палива.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Дослідження впливу води на горіння

Перші експерименти з вивчення впливу води на згорання вуглеводневих палив проводилися шляхом додавання важкої води, яка містить ізотопи кисню, у камеру згорання разом із паливом. Аналіз складу відпрацьованих газів показав, що у вуглекислому газі містилося близько 45% ізотопів кисню, що підтверджує участь води в реакціях окислення.

Термічна дисоціація води

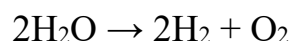
При високих температурах у камері згорання відбувається термічна дисоціація молекул води на атоми водню і кисню, а також на водень і гідроксильні групи. Наявність у полум'ї великої кількості активних центрів, таких як гідроксильні групи і атомарний водень, значно прискорює процес горіння вуглеводневих палив.

Процес термічної дисоціації води відбувається наступним чином:

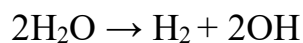
Під дією високої температури молекули водяної пари розпадаються на атоми водню і кисню.

Утворені активні компоненти вступають у реакції з іншими частинками, сприяючи швидкому окисленню і згоранню палива.

Таким чином, вода не лише фізично впливає на процес горіння, але й виступає активним каталізатором, що забезпечує більш повне і швидке згорання вуглеводневих палив, зменшуючи викиди шкідливих речовин.



Потім відбувається дисоціація води на водень і гідроксил



Кисень, водень і гідроксильні групи, що утворюються під час розпаду молекул води, активно залучаються до процесу горіння вуглеводневого палива. Додавання води як присадки до палива або повітря сприяє підвищенню концентрації активних центрів у камері згорання.

Оскільки швидкість ланцюгових хімічних реакцій прямо пропорційна концентрації активних центрів, присутність парів води в камері згорання

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

дизельного двигуна значно прискорює перебіг хімічних реакцій у процесі горіння палива.

Воднопаливні емульсії (ВПЕ) є складними системами [5], що складаються з двох рідин, одна з яких (вода) диспергована в іншій (паливі) у вигляді дрібних крапель. Завдяки своїй структурі та взаємодії компонентів ВПЕ мають унікальні фізико-хімічні властивості, які суттєво впливають на процеси сумішоутворення та згоряння.

1. Фізичні властивості ВПЕ

1.1. В'язкість і густина

В'язкість і густина ВПЕ залежать від концентрації води та розміру її включень. У порівнянні з традиційним паливом, емульсії мають підвищену в'язкість і густину, що впливає на параметри подачі палива, розпилювання та горіння. Збільшення в'язкості може позитивно впливати на зменшення витоків у паливних системах.

1.2. Температура спалаху і застигання

Температура спалаху ВПЕ, як правило, нижча, ніж у безводного палива, що зумовлено присутністю води. Температура застигання також залежить від властивостей базового палива та концентрації води в емульсії.

1.3. Дисперсність

Дисперсність ВПЕ визначається розміром крапель води. Висока дисперсність сприяє кращому перемішуванню компонентів і забезпечує збільшення поверхні контакту води з паливом, що позитивно впливає на якість сумішоутворення.

1.4. Стійкість

Стійкість ВПЕ характеризує здатність емульсії зберігати однорідність та дисперсність протягом тривалого часу. Нестійкі емульсії схильні до розшарування через процеси седиментації (осідання водних частинок) та коалесценції (злиття дрібних крапель води у більші).

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

2. Хімічні властивості ВПЕ

2.1. Каталітичний вплив води

Вода у складі емульсії виступає каталізатором у хімічних реакціях горіння. Під час розпаду води на водень, кисень і гідроксильні групи утворюються активні центри, які сприяють прискоренню окислення вуглеводнів та окису вуглецю. Це призводить до підвищення повноти згоряння палива.

2.2. Вплив на утворення NOx

Наявність води в паливі знижує локальні температури в камері згоряння за рахунок мікробухів, що виникають під час випаровування води. Це зменшує кількість оксидів азоту у вихлопних газах, оскільки реакції утворення NOx найбільш інтенсивні при високих температурах.

2.3. Вплив на утворення сажі

Вода сприяє активному газифікаційному процесу сажистих залишків, що зменшує утворення коксу та нагару в камері згоряння і вихлопній системі.

2.4. Енергетичні властивості

Енергетичний вміст ВПЕ трохи нижчий, ніж у традиційного палива, через присутність води. Однак цей недолік компенсується покращенням процесу горіння та зниженням викидів шкідливих речовин.

3. Взаємозв'язок фізико-хімічних властивостей і роботи двигуна

Фізико-хімічні властивості ВПЕ безпосередньо впливають на роботу двигуна:

Збільшення дисперсності забезпечує краще сумішоутворення і згоряння.

Підвищена стійкість емульсії зменшує ризик розшарування та забезпечує стабільність роботи паливної системи.

Каталітична дія води підвищує швидкість хімічних реакцій і зменшує викиди шкідливих речовин.

Наявність мікробухів сприяє більш рівномірному розподілу тепла в камері згоряння.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

Фізико-хімічні властивості водно-паливних емульсій роблять їх перспективним рішенням для підвищення ефективності та екологічності дизельних двигунів. Завдяки своїй структурі, ВПЕ забезпечують покращене сумішоутворення, повніше згоряння палива, зниження викидів шкідливих речовин і зменшення утворення нагару, що сприяє підвищенню ресурсу двигуна та відповідності сучасним екологічним стандартам.

Пристрої для отримання водно-паливної емульсії

Водно-паливна емульсія (ВПЕ) є перспективним типом палива, що використовується для підвищення ефективності та екологічності дизельних двигунів. Для її отримання застосовуються спеціальні пристрої – емульгатори, які забезпечують змішування води і палива з утворенням однорідної емульсії з заданими характеристиками.

1. Вимоги до пристроїв для отримання ВПЕ

Пристрої для виробництва водно-паливної емульсії повинні відповідати низці вимог:

Стабільність емульсії: Забезпечення рівномірного розподілу води в паливі без розшарування.

Регульована дисперсність: Можливість отримання крапель води певного розміру (1–10 мкм) для досягнення оптимальної дисперсності емульсії.

Продуктивність: Висока швидкість приготування емульсії для забезпечення потреб двигунів у реальному часі.

Автоматизація: Здатність працювати в автономному режимі без постійного втручання оператора.

Надійність: Стійкість до агресивного середовища і здатність працювати в умовах вібрацій та високих температур.

2. Типи пристроїв для отримання ВПЕ

2.1. Механічні емульгатори

Механічні емульгатори використовують роторно-статорну систему для змішування води і палива:

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

Принцип роботи: Рідини подаються в камеру, де ротор створює високошвидкісне турбулентне змішування, забезпечуючи диспергування води у паливі.

Особливості: Простота конструкції, висока продуктивність, регульована дисперсність.

Недоліки: Можливе утворення великих крапель при зниженні обертів ротора.

2.2. Ультразвукові емульгатори

Ультразвукові пристрої використовують високочастотні звукові хвилі для створення емульсії:

Принцип роботи: Ультразвукові хвилі викликають кавітаційні ефекти, які сприяють подрібненню водяних крапель до мікроскопічних розмірів.

Особливості: Висока дисперсність, можливість отримання стабільної емульсії.

Недоліки: Складність обслуговування і висока вартість обладнання.

2.3. Струминні емульгатори

Ці пристрої створюють емульсію шляхом зіткнення двох потоків рідин під високим тиском:

Принцип роботи: Вода і паливо подаються під тиском у змішувальну камеру, де відбувається їх взаємодія на високій швидкості.

Особливості: Простота конструкції, відсутність рухомих частин.

Недоліки: Обмежена можливість регулювання дисперсності.

2.4. Електромагнітні емульгатори

Ці пристрої створюють емульсію під дією електромагнітного поля:

Принцип роботи: Електромагнітне поле впливає на молекули рідин, сприяючи їх рівномірному змішуванню.

Особливості: Висока енергоефективність і тривала стабільність емульсії.

Недоліки: Висока вартість і складність налаштування.

3. Інтеграція пристроїв для отримання ВПЕ на судах

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

Пристрої для отримання водно-паливної емульсії можуть бути інтегровані в суднові системи паливопостачання:

Модульні системи: Компактні емульгатори, встановлені в ланцюг паливоподачі.

Автоматичний контроль: Датчики, що контролюють співвідношення води і палива, забезпечують оптимальні параметри емульсії.

Сумісність: Пристрої можуть бути адаптовані для роботи з різними типами палива, включаючи важкі сорти.

4. Переваги використання пристроїв для ВПЕ [6]

Економія палива: Зниження витрат на паливо за рахунок підвищення ефективності згоряння.

Екологічність: Зменшення викидів оксидів азоту і сажі у вихлопних газах.

Покращення ресурсу двигуна: Зниження утворення нагару і зносу компонентів.

Пристрої для отримання водно-паливної емульсії є важливим компонентом у системах паливоподачі сучасних суден. Вибір типу емульгатора залежить від вимог до продуктивності, стабільності емульсії та умов експлуатації. Їх використання сприяє підвищенню ефективності роботи двигунів, зниженню шкідливих викидів і забезпечує відповідність екологічним стандартам.

В результаті зробленого аналізу можна зробити висновок, що використання водопаливних емульсій є ефективним засобом покращення економічних та екологічних показників роботи дизельних двигунів.

В даній роботі буде розглянута можливість роботи головного двигуна на суміші води та важкого палива у співвідношенні 5 % води та 95 % важкого парилва при номінальному навантаженні.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ ДВИГУНА MAN 6S50MC-C ШЛЯХОМ
ВИКОРИСТАННЯ ВОДОПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

Розрахунок робочого циклу двигуна MAN 6S50MC-C на важкому паливі

Вихідні данні для розрахунку

№	Опис	Символ	Значення
1	Ефективна потужність N_e , кВт	N_e	10000
2	Частота обертання, мин-1	n	124
3	Тиск навколишнього середовища, МПа	P_o	0,1013
4	Температура навколишнього середовища, К	T_o	298
5	Тиск повітря за компресором, МПа	P_k	0,4
6	Коефіцієнт продувки	ϕ_a	1,1
7	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,04
8	Коефіцієнт використання теплоти в точці z	ξ_z	0,9
9	Коефіцієнт використання теплоти в точці b	ξ_b	0,95
10	Ступінь стиснення	ϵ	15
11	Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ	1,1
12	Підігрів заряду від стінок циліндра, К	ΔT_a	15
13	Доля ходу поршня ,що затрачена на газообмін	ϕ_n	0,08
14	Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми	ζ	0,99
15	Механічний ККД двигуна	η_m	0,94
16	Адіабатний ККД компресора турбокомпресора	$\eta_{k.ad}$	0,8
17	Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	ΔP_{ox}	0,005
18	ККД повітроохолоджувача	η_o	0,9
19	Температура залишкових газів, К	T_r	600
20	Масовий склад палива (кг/кг)	C	0,87
		H	0,126
		S	0
		O	0,004
21	Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	Q_H	42700
22	Кількість циліндрів	i	6
23	Діаметр циліндра, м	D_c	0,5
24	Хід поршня, м	S_c	0,205
25	Коефіцієнт тактності	z	1
26	Коефіцієнт надлишку повітря	a	2,6
27	Показник адіабати повітря	k_v	1,4
28	Механічний ККД Турбокомпресору	$\eta_{t.m}$	0,98
29	Внутрішній ККД турбіни турбокомпресору	$\eta_{t.ad}$	0,84
30	Коефіцієнт втрати на впуску	ξ_a	0,97
31	Відношення тиску перед турбіною до тиску за компресором	ψ_t	0,865

Результати розрахунку робочого циклу двигуна MAN 6S50MC-C на важкому паливі

№	Опис	Символ	Значення
Розрахунок процесу наповнення			
1	Температура повітря за компресором, К	T_k	477.21
2	Температура повітря в ресивері, К	T_s	315.921
3	Температура повітря в кінці наповнення, К	T_a	341.27
4	Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	0.395
5	Тиск в кінці наповнення, МПа	P_a	0.383
6	Коефіцієнт наповнення	η_n	0.851
Розрахунок процесу стиснення			
7	Регресійне рівняння для розрахунку середньої ізохорної мольної питомої теплоємності повітря, кДж/(кмоль*К)	нет	$C_{v1} < 19.26+0.0025*T$
8	Регресійне рівняння для розрахунку середньої ізохорної мольної питомої теплоємності газів, що відходять, кДж/(кмоль*К)	нет	$C_{v2} < 20.47+0.0036*T$
9	Визначення коефіцієнтів рівняння регресії для теплоємності суміші газів в циліндрі в кінці процесу стиснення	b_c	0.002516
		a_{vc}	19.278
10	Показник політропи стиснення	n_1	1.362
11	Тиск в кінці стиснення, МПа	P_c	15.338
12	Температура в кінці стиснення, К	T_c	910.785
Розрахунок процесу згоряння			
13	Кількість повітря, що надходить у циліндр кмоль/кг	L	1.286
14	Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0	1.0246
15	Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β	1.0236
16	Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z	0.947
17	Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	β_z	1.022
18	Питома ізохорна середня теплоємність в точці z, кДж/(кмоль*К)	ΔM	0.0316
		m	1.064
		a_{vz}	19.71865
		b_z	0.00292
19	Визначення коефіцієнтів рівняння регресії для теплоємності робочого тіла в точці b кДж/(кмоль*К)	a_{vb}	19.74257
		b_b	0.002939
20	Визначення температури в точці z, К	T_z	$1.684*10^3$
21	Максимальний тиск в циліндрі, МПа	P_z	16.872
Розрахунок процесу розширення			
22	Ступінь попереднього розширення	ρ	1.719
23	Ступінь подальшого розширення	δ	8.727
24	Визначення показника політропи розширення та температури робочого тіла в точці b, К.	n_2	1.284
		T_b	910.129
25	Тиск в кінці процесу розширення, МПа	P_b	1.045
Визначення індикаторних показників циклу			
26	Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	P_i	2.328
27	Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	P_i	2.12

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

KPM.142.6221м.24.03.00.ПЗ

Аркуш

33

28	Питома індикаторна витрата палива кг/(кВт ч)	g_i	0.169
29	Індикаторний ККД	η_i	0.499
Визначення ефективних показників			
30	Середній ефективний тиск, МПа	P_e	1.993
31	Ефективний ККД	η_e	0.469
32	Питома ефективна витрата палива кг/(кВт ч)	g_e	0.1797
33	Ефективна потужність двигуна	N_e	$9.954 \cdot 10^3$
34	Похибка визначення ефективної потужності	ΔN	-0.064 %
Розрахунок балансу потужності турбіни і компресора			
35	Визначення витрати повітря двигуном, кг/ч	G	20.357
36	Витрата газів через турбіну, кг/ч	G_t	20.853
37	Тиск газів перед турбіною, МПа	P_t	0.346
38	Температура газів, К	T_t	712.715
39	Кількість робочого тіла, кмоль/кг	M_s	1.319
40	Газова стала для газів, що відходять,	R_t	287.522
41	Показник адиабати для газів, що відходять	k_t	1.381
42	Ступінь підвищення тиску повітря в компресорі	Π_k	3.95
43	Розрахунковий тиск наддуву, МПа	P_{kd}	0.4001
44	Похибка визначення тиску наддуву	ΔP_k	0.025%

Розрахунок робочого циклу двигуна MAN 6S50MC-C на водопаливній емульсії

Після розрахунку циклу на номінальному режимі з додаванням 5% води ми отримали майже не змінні результати, як після розрахунку циклу на номінальному режимі без додавання води. Різниця в масовому елементарному складі палива та відбулося зменшення питомої витрати палива з $g_e=0,1797$ кг/(кВт*ч) до $g_e = 0.1824 \cdot 0,95=0,1733$ кг/(кВт*ч), що складає зменшення витрати палива на 3,5%

Параметр		Одиниці виміру	Масовий елементарний склад палива, (кг/кг)	
			Дизельне паливо	Дизельне паливо +5% води
Компоненти	С	(кг/кг)	0,87	0.8265
	Н	(кг/кг)	0,126	0.125
	О	(кг/кг)	0,004	0,048
Питома нижча теплота згоряння		кДж/кг	42700	40565

Розробка системи приготування водопаливних емульсій

Існують два принципових підходи. Перший підхід передбачає приготування ВПЕ без зв'язку з роботою двигуна, причому емульгування здійснюється в системі паливопідготовки з накопиченням готової ВПЕ в проміжних ємностях для відносно тривалого зберігання [7].

Компоненти ВПЕ зберігаються окремо і окремо проходять стадії попередньої обробки, емульгування палива виконується в однорежимних (по продуктивності, вмісту води і її дисперсності) диспергаторів. Для зберігання запасу ВПЕ передбачаються спеціальні ємності. Фільтрація ВПЕ здійснюється перед ПНВТ. Регулювання складу ВПЕ за вмістом води відсутня.

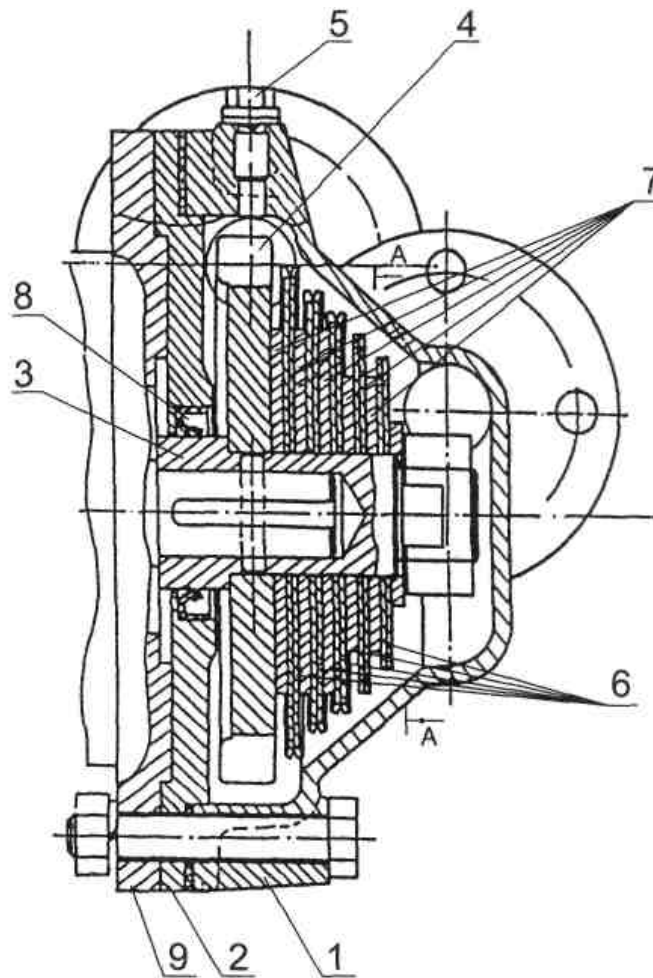


Рисунок 3.1 – Змішувач-диспергатор DRS 10:

1 – корпус; 2 – диск проміжний; 3 – вал; 4 – крильчатка; 5 – пробка; 6 – диски
робітники; 7 – шайби проміжні; 8 – манжета; 9 – електродвигун

					КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

У таких установках можливе використання відносно простих по конструкції диспергируючих пристроїв з малою інтенсивністю масообміну (мішалок, дроселюючих пристроїв).

До недоліків цієї системи належить неможливість оптимізації змісту води по навантаженню двигуна, складність реалізації його роботи на важких паливах, необхідність застосування емульгаторів, складність фільтрації ВПЕ, переведення дизеля для роботи на чистому паливі і видалення ВПЕ з системи паливопідготовки при зупинці двигуна.

Інший підхід до реалізації системи приготування ВПЕ передбачає диспергування палива безпосередньо перед ПНВТ. При цьому компоненти ВПЕ зберігаються окремо і стадії первинної обробки (фільтрація, підігрів) також виконуються окремо. Такий підхід дозволяє оптимізувати вміст води та інших компонентів в ВПЕ в залежності від типу двигуна, режимів його роботи, сорту палива і пріоритету мети - економія палива, переведення двигуна на більш важке паливо, форсування по потужності, зниження димності і токсичності.

До позитивних якостей такої системи відносяться простота очищення вихідних продуктів ВПЕ, можливість роботи на важких паливах, що вимагають підігріву перед ПНВТ, і простий перехід дизеля з чистого палива на ВПЕ і назад. Дана система не вимагає додаткових витрат на підтримку стабільності емульсії, так як ВПЕ витрачається відразу після її отримання.

Однак цей варіант вимагає установки диспергатора, що забезпечує отримання ВПЕ необхідної якості при одноразовій обробці.

Порівнюючи два підходи до реалізації систем приготування ВПЕ, можна зробити висновок, що система приготування емульсії безпосередньо перед ПНВТ є найбільш вигідною в експлуатації. Вона дає можливість оптимізувати вміст води в ВПЕ при зміні режиму роботи двигуна, виключає застосування дорогих емульгаторів для підтримки стабільності емульсії, є менш енергоємною.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

Існує думка, що поліпшення процесу сумішоутворення пояснюється також викидом парів води і осколків палива у вигляді нестационарних мікроструй з краплі палива при згорянні її в циліндрі двигуна. Утворені мікроструї створюють реактивну силу, яка викликає коливання краплі в потоці, підвищує коефіцієнт дифузії і веде до турбулентного перемішування частинок в струмені розпорошеного палива.

При використанні водопаливної суміші особливо важливе значення має попереднє сильне диспергування води. При цьому збільшується абсолютна величина водяній поверхні і зменшується товщина шарів вуглеводнів, що покривають поверхню води. Збільшення абсолютної поверхні рідкого палива веде до сильного збільшення швидкості його випаровування і згорання. Завдяки наявності парів води повинно мати місце інтенсивне утворення вільних радикалів Н-і-ОН і, отже, зародження ланцюгової реакції крекінгу та окислення.

В результаті цих реакцій температура навколишнього середовища падає і в якійсь мірі збільшується теплотворна здатність палива, що веде до підвищення економічності роботи дизеля [8].

Інтенсивність процесів сумішоутворення, згорання і в цілому економічність дизеля при роботі на ВТЕ визначаються в основному двома чинниками - збільшенням поверхні випаровування паливних факелів і тривалістю уприскування палива. Зміна фізичних характеристик різних палив визначає лише конкретну величину сумарного ефекту від згаданих факторів. Вода уповільнює процес згорання паливного компонента в емульсії.

Система підготовки та подачі водо-паливної емульсії для двигуна внутрішнього згорання, містить паливну 1 і водяну 2 магістралі (рис. 3.2).

Паливна магістраль 1 з'єднує паливну цистерну 3 з двигуном через встановлені на ній диспергатор 4 (рис. 3.7), для підведення води і попереднього її диспергування в потоці палива, насос, що підкачує 5, що виконує вторинне диспергування води, підігрівач 6 з терморегулятором 7,

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

фільтри 8 тонкої очищення, паливні насоси 9 високого тиску з трубками 10 високого тиску. Для повернення отсечного палива є трубопровід 11 з безповоротним клапаном 12 і трубопроводи 13 і 14. Водяна магістраль 2 через встановлений на ній модуль управління і автоматичного дозування 15 і електромагнітний клапан 16 управління з'єднує водяну ємність 17 з гідродинамічним диспергаторів 4. Модуль 15 управління і автоматичного дозування містить регулюючий мембраною диференційний голчастий клапан 18 для автоматичного дозування води в паливо і управління диспергаторів 4 через електромагнітний клапан 16, забезпечений електрокабелем 19, електроживлення до регулюючого клапану 18 підводиться по кабелю 20. Для автоматичного управління регулюючим клапаном 18 від джерела наддувочного повітря встановлений пневмопровід 21. для стабілізації тиску води, що надходить до регулюючого клапану 18, встановлений редукційний клапан 22. Крім цього, в модуль включені фільтр 23 води і ротаметр 24 для контролю кількості води, що поступає в паливо.

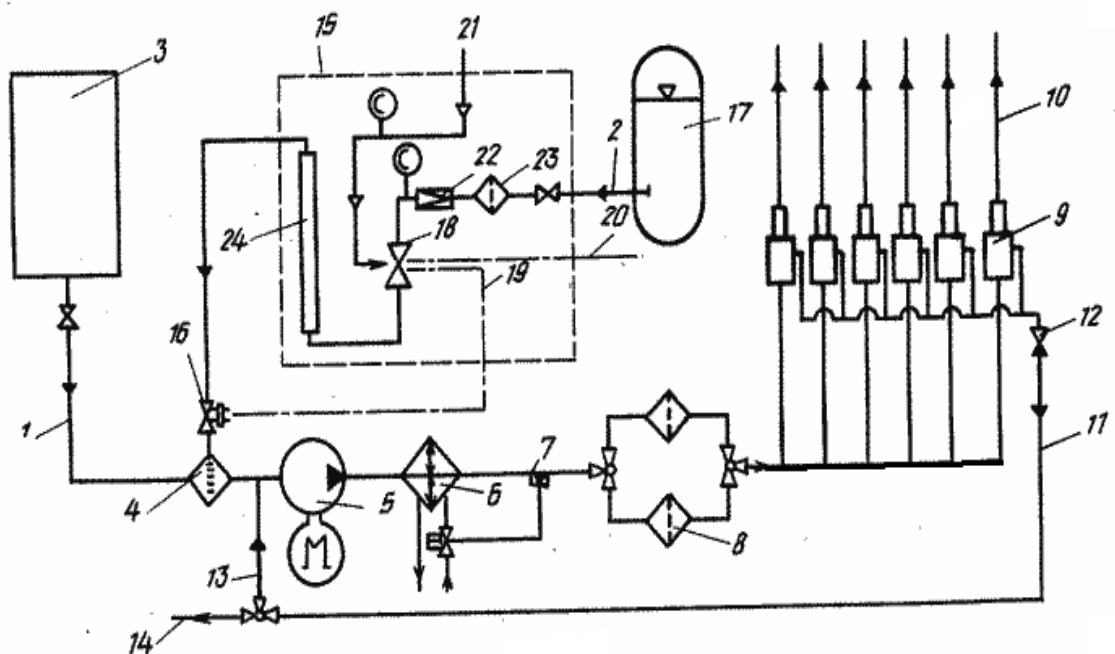


Рисунок 3.2 – Система підготовки та подачі водопаливної емульсії в двигун

Регулюючий мембранно-диференційний клапан 18 складається з водяної 25 і повітряної 26 порожнин, розділених мембраною 27. Для дозування води, що надходить по магістралі 2, встановлена дозирующая шайба 28 і регулююча частина у вигляді голки 29, голчастого клапана 18, для управління якої встановлена мембрана 30 і регульована пружина 31. Підведення повітря в порожнину 26 здійснено за пневмопроводу 21. Управління електромагнітним клапаном 16 здійснено мікрорелем 32 по засобам пристрої 33, встановленого на торцевій частині 34 регулюючого голчастого клапана 18.

Розробка форсунки для подачі водопаливної емульсії

Вихідні дані розрахунку

Параметр	Позначення	Значення
Ефективна потужність двигуна, кВт	N_e	10000
Частота обертання, хв ⁻¹	n	124
Число циліндрів, шт	z	6
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	g_e	0,182
Максимальний тиск, МПа	P_{max}	16,872
Тиск стискання, МПа	P_c	15,338
Кількість соплових отворів, шт	i	1
Коефіцієнт подачі палива	K	1,25
Густина палива, кг/м ³	ρ_f	668
Середній тиск упорскування палива, МПа	P_{mf}	60
Тривалість подачі палива, °п.к.в	$\varphi_{к.в}$	25
Коефіцієнт витрати палива	μ_c	0,75
Тиск початку впорскування, МПа	P_e	21
Діаметр направляючої частини голки, мм	d_1	10

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

Параметр	Параметр	Параметр
Величина відносної диференціальної площадки голки	δ	0,5
Підйом голки, мм	h_z	0,5
Діаметр проволочки пружини, мм	d	6
Середній діаметр пружини, мм	D_{cp}	15
Число робочих витків, шт	n_p	9
Модуль зсуву, МПа	G	80000
Допустиме напруження в пружині, МПа	$[\tau]$	650
Коефіцієнт приведення циклу для вуглецевих та легованих сталей	τ_m	0,1
Допустимий запас міцності	$[n_\tau]$	2
Мінімальний діаметр стрижня, мм	d_{min}	7
Допустима напруга стискання, МПа	$[\sigma_{ст}]$	120
Довжина стрижня, мм	$l_{ст}$	200
Допустимий запас стійкості на згинання стрижня	$[n_y]$	2,5

Циклова подача палива, г/цикл:

$$B_{ц} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot 10^6}{60 \cdot z \cdot n} = \frac{0,182 \times 10000 \times 10^6}{60 \times 6 \times 124} = 40,608$$

Максимальна циклова подача палива, г/цикл:

$$B_{ц}^{max} = K \times B_{ц} = 1,25 \times 40,608 = 50,759$$

Об'ємна циклова подача палива, мм³/цикл:

$$V_{ц} = \frac{B_{ц}^{max} \times 10^3}{\rho_f} = \frac{50,759 \times 10^3}{668} = 75,987$$

Середній тиск газів в циліндрі двигуна в період впорскування, МПа:

$$p_{мц} = \frac{P_c + P_{max}}{2} = \frac{15,338 + 16,872}{2} = 16,105$$

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

Швидкість витікання палива через соплові отвори, м/с:

$$V_{m\phi} = \sqrt{\frac{2 \times (p_{m\phi} - p_{m\psi}) \times 10^6}{\rho_f}} = \sqrt{\frac{2 \times (60 - 16,105) \times 10^6}{668}} = 362,5$$

Час витікання палива, с:

$$t_b = \frac{\varphi_{к.е}}{6 \times n} = \frac{25}{6 \times 124} = 0,034$$

Сумарна площа соплових отворів, мм²:

$$A_c = \frac{V_{\text{пл}}}{\mu_c \times V_{m\phi} \times t_b \times 10^3} = \frac{75,987}{0,75 \times 362,5 \times 0,034 \times 10^3} = 8,317$$

Діаметр соплових отворів d_c , мм:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \times A_c}{\pi \times i}} = \sqrt{\frac{4 \times 8,317}{3,14 \times 1}} = 3,255$$

Діаметр соплових отворів d_c виготовляють через 0,5 мм для форсунок МОД, приймаємо $d_c = 3,5$ мм.

Вибір матеріалу та розрахунок пружини форсунки

Пружина форсунки є однією з основних її деталей, від працездатності якої сильно залежить надійність та строк служби форсунки. Пружина сприймає великі періодичні навантаження динамічного характеру при високій швидкості їх прикладення.

Для відповідальних пружин вибирають проволочку із хромо-ванадієвої сталі 50ХФА.

Хімічний склад сталі 50ХФА:

C = 0,47 - 0,54%; Si = 0,17 - 0,37%; Mn = 0,5 - 0,8%.

Cr = 0,8 - 1,10%; Ni = 0,20%;

Механічні властивості сталі 50ХФА:

$\sigma_B = 1275$ МПа – границя міцності;

$\sigma_T = 1079$ МПа – границя текучості;

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

$\delta = 8\%$ – відносне подовження;

$\psi = 35\%$ – відносне звужування.

Діаметр запираючої частини голки, мм:

$$d_2 = d_1 \times \sqrt{1 - \delta} = 10 \times \sqrt{1 - 0,08} = 7,071$$

Зусилля, що піднімає голку (сила попереднього запасу пружини), Н:

$$F_1 = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{4} \times P_e = \frac{3,14 \times (10^2 - 7,071^2)}{4} \times 21 = 824,25$$

Коефіцієнт пружини:

$$c = \frac{D_{cp}}{d} = \frac{15}{6} = 2,5$$

Індекс пружини:

$$K_2 = 1 + \frac{1}{2 \times c} - \frac{1}{2 \times c^2} = 1 + \frac{1}{2 \times 2,5} - \frac{1}{2 \times 2,5^2} = 1,12$$

Попередній прогин пружини, мм:

$$f_1 = \frac{8 \times F_1 \times n_p \times D_{cp}^3 \times K_2}{G \times d^4} = \frac{8 \times 824,25 \times 9 \times 15^3 \times 1,12}{80000 \times 6^4} = 2,164$$

Повний підйом голки, мм:

$$f_2 = f_1 + h_2 = 2,164 + 0,5 = 2,664$$

Максимальне зусилля пружини при піднятті голки, Н:

$$F_2 = F_1 \times \frac{f_2}{f_1} = 824,25 \times \frac{2,664}{2,164} = 1015$$

Поправочний коефіцієнт:

$$K_1 = \frac{4 \times c - 1}{4 \times c - 4} + \frac{0,615}{c} = \frac{4 \times 2,5 - 1}{4 \times 2,5 - 4} - \frac{0,615}{2,5} = 1,746$$

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Мінімальне напруження в пружині, МПа:

$$\tau_{\min} = \frac{2,55 \times D_{cp} \times K_1}{d^3} \times F_1 = \frac{2,55 \times 15 \times 1,746}{6^3} \times 824,25 = 254,8$$

Максимальне напруження в пружині, МПа:

$$\tau_{\max} = \tau_{\min} \times \frac{f_2}{f_1} = 254,8 \times \frac{2,664}{2,164} = 313,7$$

Умова:

$$\tau_{\max} \leq [\tau]$$

$$313,7 \leq 650$$

Умова виконується.

Середнє напруження та амплітуда циклу, МПа:

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2} = \frac{313,7 + 254,8}{2} = 284,3$$

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2} = \frac{313,7 - 254,8}{2} = 29,4$$

Границя втоми на кручення, МПа:

$$\tau_{-1} = 0,22 \times \sigma_B = 0,22 \times 1275 = 280,5$$

Запас міцності по границі втоми:

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a + \varphi_{\tau} \times \tau_m} = \frac{280,5}{29,4 + 0,1 \times 284,3} = 4,8$$

Умова:

$$n_{\tau} \geq [n_{\tau}]$$

$$4,8 \geq 2$$

Умова виконується.

Частота власних коливань, хв^{-1} :

$$n_c = 2,17 \times 10^7 \times \frac{d}{n_p \times D_{cp}^2} = 2,17 \times 10^7 \times \frac{6}{9 \times 15^2} = 64296,296$$

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

Перевірка на резонанс:

$$\frac{n_c}{n} = \frac{64296,296}{124} = 518,519 \neq \text{цілому числу}$$

Резонанс відсутній.

Вибір матеріалу та розрахунок на міцність стрижня штовхача

Стрижень штовхача сприймає великі навантаження від пружини та стиснутого палива. Торці стрижня підвергаються змяттю та інтенсивно зношуються. Стрижень штовхача працює на стискання та повздовжнє згинання. Через те, що стрижень штовхача є довга деталь при невеликому діаметрі, для якої короблення при гартуванні недопустимо, найбільш підходяща інструментальна легована сталь.

Вибираємо інструментальну леговану сталь ХВГ ГОСТ 5950-73.

Хімічний склад сталі ХВГ:

C = 0,9 - 1,05%; Si = 0,15 - 0,35%; Mn = 0,8 - 1,1%.

Cr = 0,9 - 1,2%; Ni = 1,2 - 1,6%;

Механічні властивості сталі ХВГ ГОСТ 5950-73:

стандартом не регламентуються.

Напруга стискання, МПа:

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \times F_2}{\pi \times d_{\min}^2} = \frac{4 \times 1015}{3,14 \times 7^2} = 26,4$$

Умова:

$$\sigma_{cm} \leq [\sigma_{cm}]$$

$$26,4 \leq 120$$

Умова виконується.

Момент інерції стрижня, мм⁴:

$$I = \frac{\pi \times d_{\min}^4}{64} = \frac{3,14 \times 7^4}{64} = 118$$

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

Запас стійкості на повздожнє згинання:

$$n_y = \frac{\pi^2 \times E \times I}{F_2 \times l_{cm}^2} = \frac{3,14^2 \times 200000 \times 118}{1015 \times 200^2} = 5,7$$

Умова:

$$n_y \geq [n_y]$$

$$5,7 \geq 2,5$$

Умова виконується.

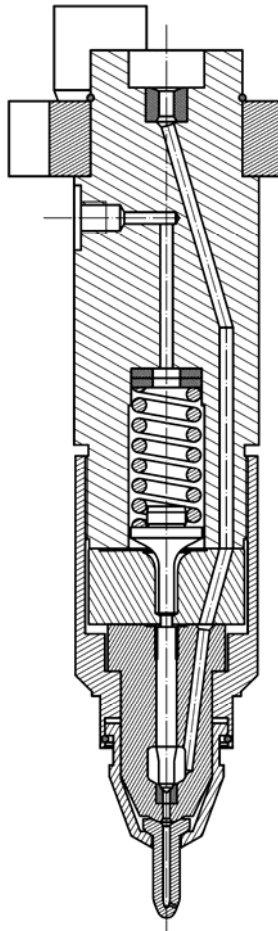


Рисунок 3.3 – Форсунка

					КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
МОДЕРНІЗОВАНОГО ДВИГУНА

Мета: аналітичне обґрунтування економічної ефективності впровадження в експлуатацію спроектованого двигуна в порівнянні з існуючим прототипом.

При визначенні економічного ефекту порівнюються параметри модернізованого двигуна та двигуна-прототипу.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники базового двигуна та спроектованого двигуна MAN 6S50MC-C.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигунів

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий	Спроектований
Потужність	N_e	кВт	9960	9960
Частота обертання	n	хв^{-1}	124	124
Діаметр циліндра, м	D	м	0,5	0,5
Хід поршня, м	S	м	0,205	0,205
Питома витрата рідкого палива	g_e	кг/кВт·год	0,1797	0,1733
Механічний ККД	η_m	-	0,94	0,94
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,022	0,022
Вага	G	кг	200000	200000
Ціна двигуна	C	грн	15000000	15100000
Ціна рідкого палива	C_p	грн/кг	14	9
Ціна масла	C_m	грн/кг	12,5	12,5
Час роботи за рік	t	год	5000	5000

Продовження таблиці 4.1.

Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	ε_{\min}	-	1,1	1,1
Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05
Коефіцієнт використання потужності	K_{Π}	-	0,95	0,95
Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{к.р.}$	-	0,3	0,3
Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{\text{пер}}$	год	30000	30000
Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{к.р.}$	год	200000	200000
Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності	E	-	0,15	0,15

Економічна ефективність від упровадження спроектованого двигуна визначається по методичній указівці.

Метод призначений для:

1. Техніко-економічне обґрунтування вибору найкращих варіантів виготовлення і впровадження нової техніки.
2. Відображення показників економічності й ефективності в нормах і нормативах.
3. Розрахунок фактичної ефективності впровадження нової техніки.

Розрахунок економічної ефективності

1) Річна продуктивність

$$N = Kn \cdot Ne \cdot t, \text{ кВт*г за рік}$$

2) Термін служби

$$T = \frac{t_{кр}}{t}, \text{ рік}$$

3) Річні поточні витрати на паливо

$$Z_n = N \cdot C_n \cdot g_e, \text{ грн}$$

4) Річні поточні витрати на масло

$$Z_m = g_m \cdot N \cdot C_m \cdot 10^{-3}, \text{ грн}$$

5) Річні витрати на поточний ремонт

$$Z_{n.p} = \frac{b \cdot t \cdot C}{t_{пер}}, \text{ грн}$$

6) Річні поточні витрати на капітальний ремонт

$$Z_{к.р} = \frac{K_{к.р} \cdot t \cdot C}{t_{к.р} \cdot \varepsilon_{\min}}, \text{ грн}$$

7) Річний економічний ефект у споживача

$$U_1 = Z_n + Z_m + Z_{к.р} + Z_{n.p}, \text{ грн}$$

8) Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна.

$$E_k = \left[C_{\delta} \cdot \frac{N_c}{N_{\delta}} \cdot \left(\frac{\frac{1}{T_{\delta}} + E_{\delta}}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right) + \frac{U_1^{\delta} - U_1^c}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right] - C_c, \text{ грн}$$

$$\text{де } U_1^{\delta} = \frac{N_c}{N_{\delta}} \cdot U_1^{\delta}$$

					<i>KPM.142.6221m.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

9) Час окупності модернізованого двигуна

$$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}, \text{ роки}$$

де ΔK – додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна,

ΔS – річна економія при експлуатації модернізованого двигуна

$$\Delta S = Z_n^b - Z_n^c + Z_m^b - Z_m^c + Z_{n.p}^b - Z_{n.p}^c + Z_{k.p}^b - Z_{k.p}^c, \text{ грн}$$

Результати розрахунку економічної ефективності представлені в табл.

4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку економічної ефективності спроектованого двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Річна продуктивність	N	кВт·год/рік	47310000	47310000
Термін служби	T	рік	40	40
Річні поточні витрати на паливо	$Z_{п}$	грн	120531978	116313358,77
Річні поточні витрати на масло	$Z_{м}$	грн	13010250	13010250
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{п.р}$	грн	125000	125000
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{к.р}$	грн	102272,7	102272,7
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	133769500,7	129550881,47
	U_1^{16}	грн	133769500,7	
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	E_k	грн	9006396	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію	ΔK	грн	100000	

двигуна			
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	4218620,23
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{\text{окуп}}$	рік	3,6

Висновок

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використанням ВПЕ визначений у розмірі 4218620,23 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 3,6 роки.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

Охорона праці на суднах є ключовим аспектом забезпечення безпечних умов роботи екіпажу та збереження технічної справності судна. Нормативно-правова та законодавча база в цій сфері регулює вимоги до організації праці, забезпечення безпеки під час виконання робіт, запобігання аваріям і надзвичайним ситуаціям, а також захисту здоров'я працівників.

1. Міжнародна нормативно-правова база [9]

1.1. Конвенція про працю в морському судноплавстві (MLC 2006)

Регламентує умови праці моряків, включаючи вимоги до безпеки, охорони здоров'я, робочого часу, відпочинку та медичного обслуговування.

Визначає обов'язки судновласника щодо створення безпечних умов праці на судні.

1.2. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS)

Містить вимоги щодо обладнання суден засобами безпеки, евакуації, протипожежного захисту та попередження аварій.

Забезпечує регламент для створення умов безпечної роботи екіпажу.

1.3. Міжнародна конвенція з попередження забруднення з суден (MARPOL)

Включає положення, що стосуються безпечної роботи з паливом, хімічними речовинами та іншими потенційно небезпечними матеріалами, які можуть впливати на екологію та здоров'я працівників.

1.4. Кодекс міжнародного управління безпекою (ISM Code)

Забезпечує регламентацію процедур безпечної експлуатації судна, зокрема щодо охорони праці екіпажу.

Визначає відповідальність керівництва судновласника за дотримання вимог безпеки.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>51</i>

2. Національна законодавча база

2.1. Кодекс торговельного мореплавства

Регулює діяльність екіпажу та встановлює норми безпеки праці на судах, що плавають під прапором країни.

Охоплює питання медичного обслуговування, охорони здоров'я та надання допомоги під час надзвичайних ситуацій.

2.2. Законодавство з охорони праці

Закон про охорону праці встановлює загальні положення щодо безпечних умов роботи, включаючи морську галузь.

Передбачає регулярний інструктаж персоналу та контроль за дотриманням правил охорони праці.

2.3. Нормативно-правові акти про технічну безпеку

Регулюють питання використання засобів індивідуального захисту, роботи з небезпечними речовинами, забезпечення протипожежної безпеки.

3. Основні вимоги до охорони праці на судах

Організація робочих місць:

Забезпечення належного освітлення, вентиляції, доступу до аварійного обладнання.

Медичне забезпечення:

Наявність аптечок, інструкцій першої допомоги, медичного обладнання.

Протипожежний захист:

Використання вогнегасників, протипожежних систем і планів евакуації.

Робота з небезпечними вантажами:

Відповідність вимогам IMDG Code щодо транспортування небезпечних вантажів.

Навчання екіпажу:

Регулярні тренування з безпеки, евакуації, пожежогасіння та першої допомоги.

4. Контроль і відповідальність

					<i>KPM.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

Національні органи контролю:

Інспекції з охорони праці та морські адміністрації забезпечують перевірку дотримання нормативних вимог.

Відповідальність судновласника:

Забезпечення відповідності судна міжнародним і національним стандартам.

Екіпаж:

Відповідальність за виконання інструкцій з охорони праці, використання засобів індивідуального захисту.

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах створює основу для забезпечення безпечних умов роботи екіпажу. Дотримання міжнародних і національних норм є обов'язковим для всіх суден і гарантує не лише збереження життя та здоров'я моряків, але й безпечну експлуатацію судна.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні суднових механізмів

Робота з судновими механізмами, включаючи їх експлуатацію, ремонт та технічне обслуговування, пов'язана з впливом низки шкідливих і небезпечних факторів, які можуть становити загрозу для здоров'я та життя працівників, а також для безпечної експлуатації судна. Аналіз цих факторів дозволяє визначити потенційні ризики та розробити ефективні заходи з їх мінімізації.

1. Небезпечні фактори

1.1. Механічні небезпеки

Рухомі частини механізмів (колінчасті вали, турбокомпресори, насоси) можуть спричиняти травми під час контакту.

Робота з інструментами підвищує ризик порізів, ударів чи інших травм.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

Підйом і монтаж важких деталей (турбін, двигунів) може спричинити нещасні випадки, якщо використовуються несправні або ненадійні засоби підйому.

1.2. Електричні небезпеки

Робота з електрообладнанням може призвести до ураження струмом при контакті з відкритими або пошкодженими провідниками.

Несправності систем автоматизації та управління створюють додаткові ризики.

1.3. Пожежна безпека

Висока температура механізмів і наявність горючих матеріалів (паливо, мастила) створюють ризик займання.

Несправності паливних та мастильних систем можуть призвести до витоків, які підвищують ризик пожежі.

1.4. Небезпечні умови праці

Робота в обмежених просторах (машинне відділення, резервуари) підвищує ризик задухи, падінь і травм.

Високий рівень вібрацій та шуму може спричинити погіршення здоров'я екіпажу.

2. Шкідливі фактори

2.1. Хімічні фактори

Токсичні речовини: Вихлопні гази, випари мастил, палива та хімікатів впливають на дихальну систему та шкіру.

Робота з кислотами та лугами: Використовуються для очищення механізмів і можуть спричинити опіки.

2.2. Фізичні фактори

Шум і вібрація: Постійний вплив високих рівнів шуму (від двигунів, турбін) та вібрацій може викликати професійні захворювання, включаючи порушення слуху та проблеми з опорно-руховою системою.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

Теплове випромінювання: Робота поблизу нагрітих механізмів (двигуни, вихлопні колектори) може спричинити теплові опіки.

2.3. Біологічні фактори

Можливість зараження під час роботи з системами, що містять залишки органічних речовин (очисні установки, баластні води).

2.4. Психофізіологічні фактори

Постійна фізична та емоційна напруга через роботу в умовах підвищеної відповідальності.

Робота у змінному графіку та недосипання можуть призводити до втоми та зниження концентрації.

3. Ризики під час технічного обслуговування

Розгерметизація систем: Може спричинити викид токсичних речовин або високотемпературних рідин.

Помилки в діагностиці: Неправильне визначення стану обладнання може призвести до аварійних ситуацій.

Недотримання інструкцій: Використання несправного обладнання або нехтування регламентом обслуговування підвищує ризик нещасних випадків.

4. Заходи для мінімізації небезпечних та шкідливих факторів

4.1. Організаційні заходи

Розробка та впровадження планів безпеки для експлуатації, ремонту та обслуговування механізмів.

Проведення регулярних інструктажів та навчань з техніки безпеки.

4.2. Технічні заходи

Використання сучасного обладнання з автоматизованими системами захисту.

Оснащення робочих місць засобами індивідуального захисту (каски, рукавички, респіратори).

Регулярний контроль за станом електрообладнання та систем пожежогасіння.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

4.3. Медичне забезпечення

Наявність аптечок і доступ до медичної допомоги на судні.

Контроль за здоров'ям працівників, регулярні медогляди.

4.4. Контроль та аудит

Постійний моніторинг стану обладнання.

Періодичні перевірки відповідності умов праці нормативним вимогам.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з судновими механізмами дозволяє ідентифікувати потенційні ризики і розробити ефективні заходи з їх запобігання. Дотримання техніки безпеки, регулярне навчання персоналу та використання сучасного обладнання є ключовими складовими безпечної експлуатації судна.

Заходи безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті суднових технічних засобів

Технічне обслуговування та ремонт суднових технічних засобів є складними процесами, пов'язаними з ризиками для життя і здоров'я персоналу. Для запобігання аваріям і нещасним випадкам необхідно дотримуватися комплексу заходів безпеки, спрямованих на захист працівників і забезпечення безперебійної роботи обладнання [10].

1. Підготовчі заходи

1.1. Планування робіт

Провести попередній огляд технічного засобу та оцінити обсяг і характер робіт.

Розробити план дій, враховуючи специфіку обладнання, доступ до робочих зон і можливі ризики.

1.2. Інструктаж персоналу

Провести інструктаж з техніки безпеки перед початком робіт.

Нагадати працівникам про правила користування засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

1.3. Підготовка робочого місця

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

Забезпечити належне освітлення, вентиляцію та доступність аварійного обладнання.

Видалити з робочої зони всі непотрібні предмети, що можуть заважати або створювати небезпеку.

2. Організація безпечного виконання робіт

2.1. Відключення систем

Перед початком робіт відключити електроживлення, подачу палива, масла та інших рідин до технічного засобу.

Заблокувати механізми, що можуть випадково запуститися, за допомогою системи Lockout-Tagout.

2.2. Використання ЗІЗ

Обов'язково використовувати захисні каски, окуляри, рукавички, захисне взуття та респіратори, якщо це необхідно.

Перевірити справність ЗІЗ перед використанням.

2.3. Контроль роботи в небезпечних зонах

Забезпечити безпеку під час роботи в обмежених просторах (резервуари, машинні відділення) за допомогою постійного моніторингу та наявності засобів екстреного зв'язку.

Уникати відкритого вогню або іскр під час роботи з горючими речовинами.

2.4. Використання спеціального обладнання

Використовувати лише справні та сертифіковані інструменти і обладнання.

Під час підйому важких деталей застосовувати підйомні механізми із захисними пристроями.

3. Протипожежна безпека

3.1. Контроль за горючими речовинами

Уникати розливів палива, мастил або інших легкозаймистих матеріалів.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

Очищувати робочу зону від залишків горючих речовин перед проведенням робіт.

3.2. Використання протипожежного обладнання

Переконайтеся у справності вогнегасників, пожежних кранів та інших засобів гасіння.

Під час робіт, пов'язаних із ризиком займання, мати на готові протипожежне обладнання.

4. Заходи після завершення робіт

4.1. Перевірка стану обладнання

Після виконання робіт перевірити справність технічного засобу та його готовність до експлуатації.

Переконайтеся у відсутності витоків рідин, залишків інструментів або інших сторонніх предметів.

4.2. Очищення робочого місця

Видалити залишки матеріалів, очистити зону робіт і повернути інструменти на свої місця.

Провести контрольний огляд на предмет відповідності технічного стану обладнання вимогам безпеки.

5. Контроль і моніторинг

Забезпечити постійний нагляд за дотриманням техніки безпеки під час виконання робіт.

Вести журнал обліку виконаних робіт, зафіксувавши всі дії та виявлені недоліки.

Дотримання заходів безпеки під час технічного обслуговування і ремонту суднових технічних засобів є обов'язковою умовою для запобігання аварійним ситуаціям. Виконання робіт відповідно до регламенту, використання ЗІЗ, контроль стану обладнання та інструктаж персоналу значно підвищують рівень безпеки і знижують ризики, пов'язані з експлуатацією суднових механізмів.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної кваліфікаційної роботи було проаналізовано конструктивні особливості двотактного малообертового двигуна MAN 6S50MC-C, проведено аналіз сучасних напрямків покращення показників судових двигунів. Аналіз показав, що одним найперспективнішим способом є використання водопаливної емульсії. Це сприяє покращенню експлуатаційних показників двигуна.

Були проведені розрахунки робочого циклу та розроблена система підготовки та подачі водопаливної емульсії. Розрахунки показують, що при використанні водної емульсії у якості палива головного двигуна можливо зменшити витрату основного палива на 3,5 %.

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

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2010. The Royal Institution of Naval Architects, 2010. pp. 106 - 107.
2. MAN 6S50MC-C. Project guide, 2014. 117 p.
3. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. 914 p.
4. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
5. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. Target Global Energy Training. Onnen, The Netherlands. July 2008.
6. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
7. Latarche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Tenth edition. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
8. Woodyard D. Marine diesel engines and gas turbines. 9th ed. Oxford, 2009. 896 p.
9. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					<i>КРМ.142.6221м.24.03.00.ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60