

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.

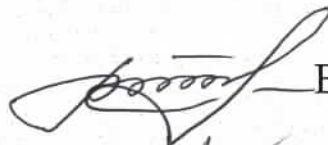
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОМАЗУТНОЇ СУМІШІ В ГОЛОВНОМУ СУДНОВОМУ ДВИГУНІ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

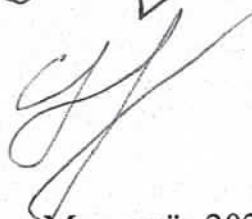
Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти



Артем СИЗОНЕНКО

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Сизоненко Артем Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ефективність використання водомазутної суміші в головному судновому двигуні

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Наливайко В. С.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – MAN 6S60MC-C; паливо – дизельне, водопаливна емульсія, потужність двигуна – 13500 кВт, частота обертання колінчастого валу – 105 хв⁻¹

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

Застосування двигуна MAN 6S60MC-C на балкері «Lady Giovi»; Сучасні напрямки використання палив у суднових двигунів; Модернізація двигуна MAN 6S60MC-C шляхом використання водомазутної суміші; Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд машинного відділення балкера «Lady Giovi»; Поперечний розріз двигуна MAN 6S60MC-C; Система приготування водомазутної суміші; Статичний кавітаційний пристрій; Гідродинамічний пристрій

7. Консультанти розділів роботи

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

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач освіти

Керівник роботи

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

Артем СИЗОНЕНКО

(прізвище та ініціали)

Василь НАЛИВАЙКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення показників роботи двигуна MAN 6S60MC-C шляхом використання водомазутної суміші. Розглянуто економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

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

Ключові слова: екологічність, важке паливо, кавітація, суміш.

The qualification work develops a set of measures to improve the performance of the MAN 6S60MS-C engine by using a water-oil mixture. The economic justification of the modernization implementation is considered. Measures to ensure labor protection are presented.

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

Key words: environmental performance, heavy fuel, cavitation, mixture.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна MAN 6S60MC-C на балкері «Lady Giovi».....	5
Розділ 2. Сучасні напрямки використання палив у суднових двигунів..	16
Розділ 3. Модернізація двигуна MAN 6S60MC-C шляхом використання водомазутної суміші.....	33
Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна.....	53
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	58
Висновки.....	65
Список використаної літератури.....	66
Додаток А. Загальний вигляд машинного відділення балкера «Lady Giovi».	67
Додаток Б. Поперечний розріз двигуна MAN 6S60MC-C.....	68
Додаток В. Система приготування водомазутної суміші.....	69
Додаток Г. Статичний кавітаційний пристрій.....	70
Додаток Д. Гідродинамічний пристрій.....	71

ВСТУП

Для зниження витрат палива та зменшення токсичних викидів із випускними газами дизельних двигунів почали впроваджувати суміші палива та води. Раніше вважалося, що наявність води в паливі становить корозійну загрозу, особливо для паливної апаратури. Це підтверджувалося практикою, зокрема під час роботи двигунів на сірчистому дизельному паливі, у складі якого містяться сполуки сірки, здатні викликати інтенсивну корозію прецизійних пар насосів і форсунок при потраплянні води в паливо. Вода, стикаючись із незахищеними металевими поверхнями, є активним корозійним агентом. Однак важкі види палива містять значну кількість асфальтосмолистих сполук, які утворюють захисний шар навколо водяних глобул, що унеможливорює прямий контакт води з металом. Дослідження показали, що введення води в циліндри дизельного двигуна позитивно впливає на процес згоряння, знижує токсичність вихлопних газів, максимальну температуру згоряння та теплове навантаження деталей циліндропоршневої групи.

Мета даної роботи – розробити умови щодо покращення параметрів головного двигуна шляхом використання водомазутної суміші.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості суднового двигуна MAN 6S60MC-C.
2. Модернізувати паливну систему.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – система подачі водомазутної суміші.

Предмет дослідження – параметри системи подачі водомазутної суміші.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА MAN 6S60MC-C НА БАЛКЕРІ «LADY GIOVI»

Mitsui Shipbuilding & Engineering – ще один японський будівельник, який визнав можливості, що виникають при модифікації існуючого балкера типу Panamax, збільшивши довжину між перпендикулярами приблизно на 2 м, при цьому зберігши максимальну довжину Панамського каналу – 225 м. Оскільки цей розмір також є максимальною довжиною причалу, доступною на більшості японських зернових терміналів, отримане судно тепер може доставляти майже 82000 тон ($97\,000\text{ м}^3$) зерна на внутрішній ринок, порівняно з 75000 тон, що перевозяться звичайним балкером типу «Панамакс» аналогічної загальної довжини [1]. Lady Giovi (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1), будівництво якого було завершено на верфі в Тамано наприкінці 2007 року, є першим прикладом нового дизайну, який компанія Mitsui назвала «Panamax».

Як і у випадку з проектом Oshima «Japanamax», збільшення довжини між перпендикулярами було досягнуто в основному за рахунок модифікації ліній носової частини і введення дуже повної форми корпусу, що закінчується вертикальною форштевнем. Незважаючи на «крутість» носової частини, Lady Giovi демонструє хороші пропульсивні характеристики, чому сприяє установка MIPB-Wing (Mitsui Integrated Propeller Boss with Wings - інтегрований гребний гвинт з крилами). Руль типу Mariner встановлений на відкритій воді в кормовій частині корми, позаду гребного гвинта з фіксованим кроком.

Головний двигун – Mitsui-MAN B&W 6S60MC-C, що розвиває 13500 кВт при 104 об/хв, забезпечуючи робочу швидкість 15 вузлів, що дозволяє судну мати більш гнучкий діапазон експлуатації.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Балкер Lady Giovi

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

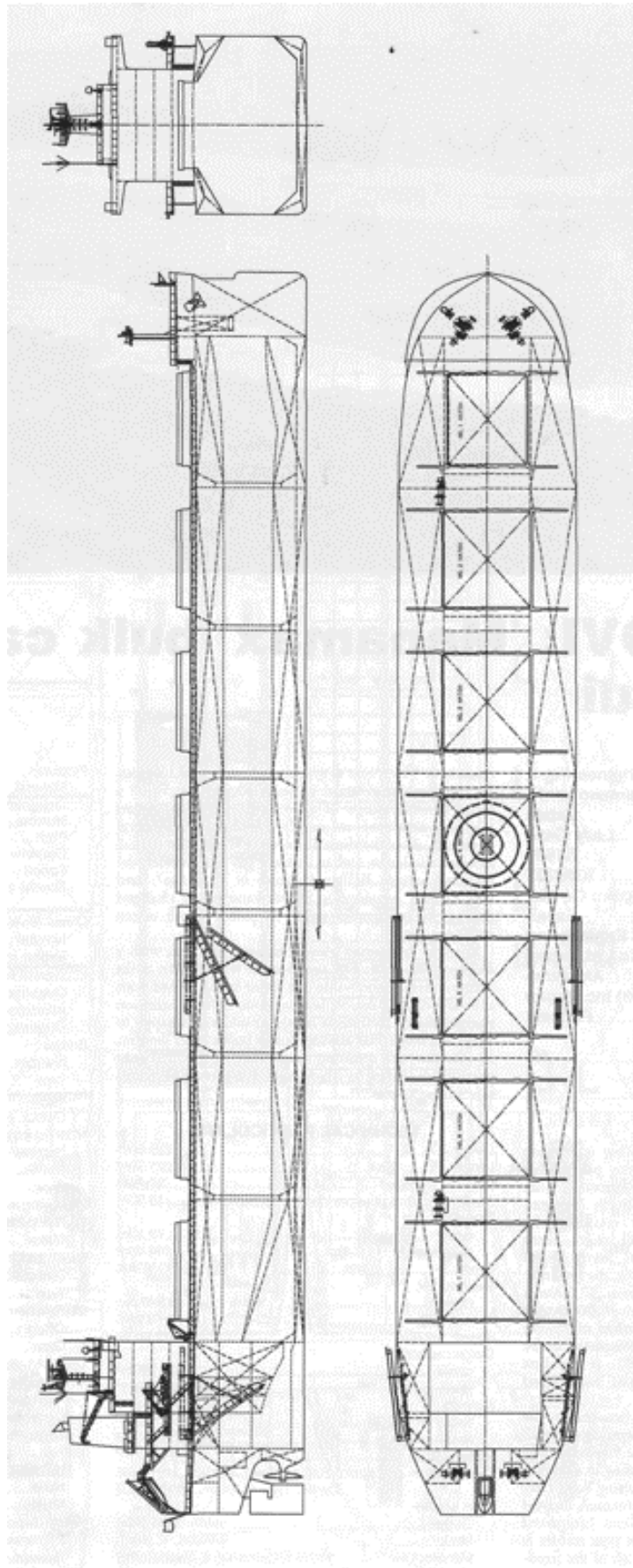


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд балкера Thalassini Axia

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

Дизельні двигуни Daihatsu, скомпоновані відповідно до екологічних стандартів ІМО, приводять в дію три генератори змінного струму Таіуо потужністю 450 кВт, а комбінований котел і блок вихлопних газів забезпечують необхідну пару.

Ємність баласту становить 37258 м³, а також передбачені засоби для заміни води під час навігації з метою збереження океанічного середовища.

Проект Mitsui «Manamax» – однопалубний, з форштевнем. У трюмах передбачені баластні цистерни для верхнього і нижнього крила, причому останні з'єднані з центрально розділеними цистернами з подвійним дном, утворюючи загальні відсіки. Mitsui - ще один будівельник, який все ще із задоволенням приймає концепцію однокорпусного судна для своїх балкерів, в цьому випадку вантажний простір розділений на сім трюмів, закритих однопанельними, одношаровими, бічними рухомими кришками Макгрегора-Каяби.

Судно ходить під прапором Маршалових островів. Позивний судна – V7A4734. ІМО – 9389227. ММСІ – 538009434.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	225,00
Довжина між перпендикулярами, м	221,50
Висота до палуби, м	19,90
Ширина найбільша, м	32,25
Проектна осадка, м	12,20
Максимальна осадка, м	14,35
Дедвейт, т	81791
Швидкість судна, вуз	15,0
Об'єм баластних цистерн, м ³	37258
Об'єм цистерн важкого палива, м ³	3012

Опис двигуна MAN 6S60MC-C

Двигун MAN 6S60MC-C [2] є реверсивним малообертовим двотактним крейцкопфний двигном внутрішнього згоряння з газотурбінним наддувом; рідним розташуванням циліндрів, з правим обертанням. Повздовжній розріз зображений на рис. 1.3.

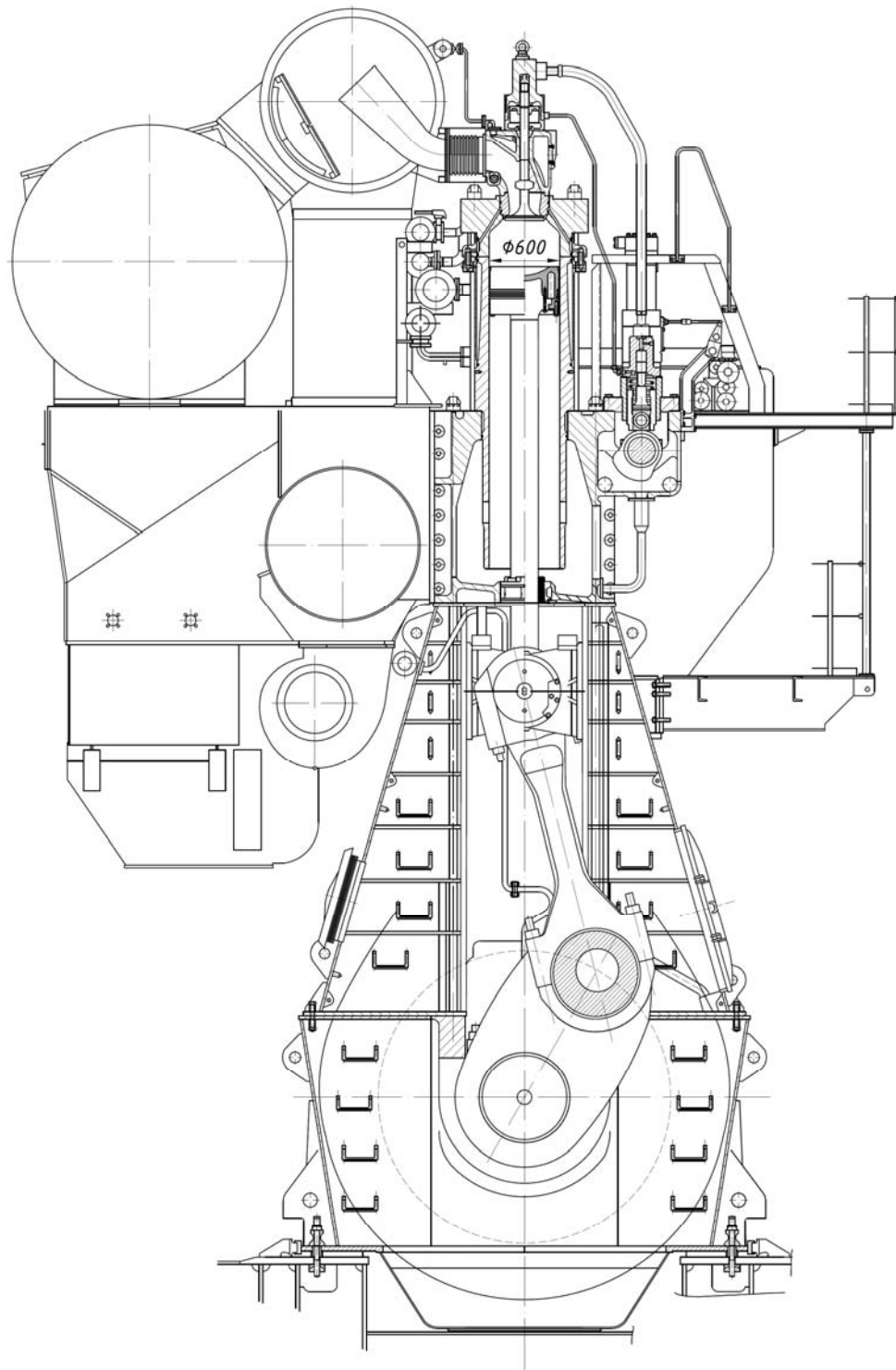


Рисунок 1.3 – Повздовжній розріз двигуна MAN 6S50MC-C

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

Фундаментна рама (рис. 1.4) є одним із ключових елементів конструкції двигунів серії MAN 6S60MC, забезпечуючи надійну основу для роботи двигуна та передачу його навантажень на суднову основу. Її конструкція відзначається високою міцністю, стійкістю до навантажень і довговічністю, що є критично важливим для суднових двигунів, які працюють у важких умовах.

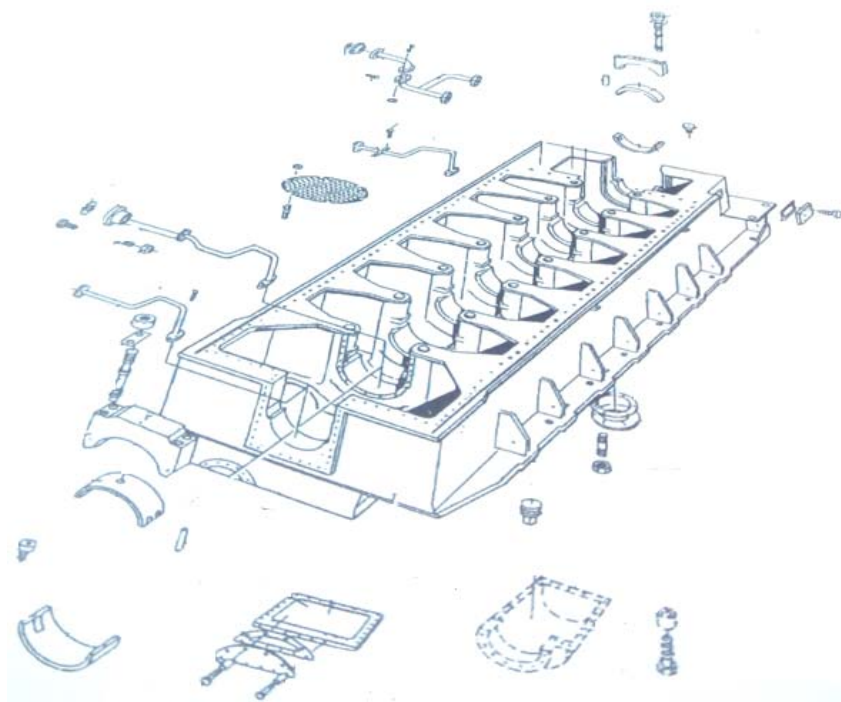


Рисунок 1.4 – Фундаментна рама

Картер виготовляється зі спеціальних високоміцних чавунів, що забезпечує його стійкість до великих механічних навантажень, корозії та впливу високих температур. Картер є коробчастою конструкцією, яка виконує функцію корпусу для колінчастого валу, опорних підшипників і мастильної системи. Він оснащений ребрами жорсткості, які зменшують деформацію та сприяють рівномірному розподілу навантажень.

Втулка циліндрів (рис. 1.5) має систему каналів для циркуляції охолоджувальної рідини, що сприяє ефективному відведенню тепла від зони згоряння. Це забезпечує стабільну роботу двигуна при високих навантаженнях. Завдяки спеціальній обробці та використанню міцних

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

матеріалів втулка має високу стійкість до механічного та термічного зношування, що забезпечує її тривалий термін служби.

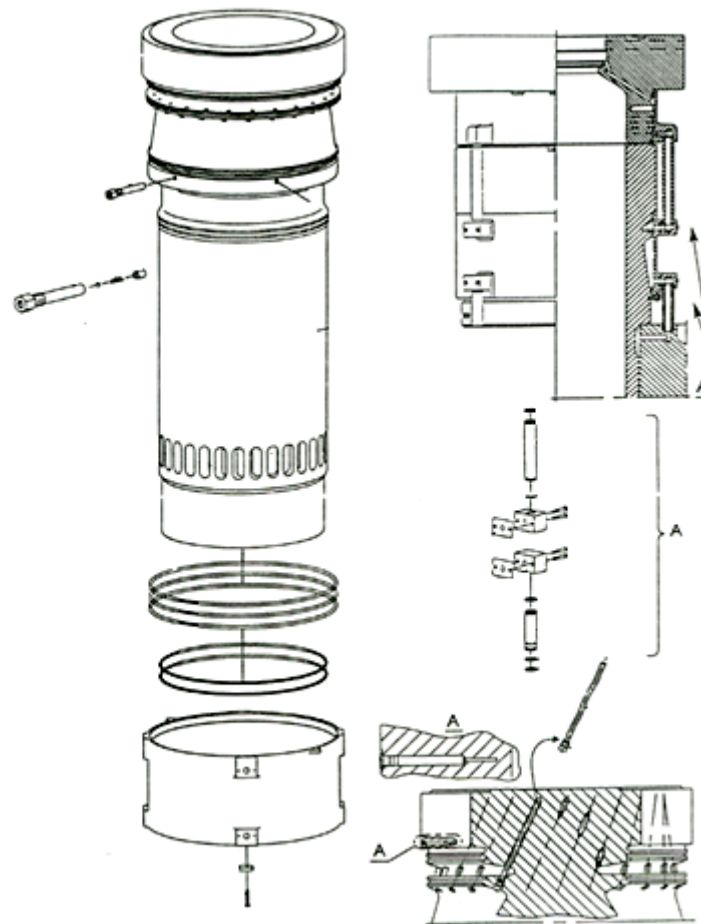


Рисунок 1.5 – Втулка циліндра

Кришка циліндра (рис. 1.6) двигунів MAN 6S60MC є важливим елементом конструкції, що забезпечує ефективну та надійну роботу двигуна. Її продумана конструкція, висока міцність і здатність витримувати екстремальні навантаження сприяють довговічності та ефективності двигуна навіть у найскладніших умовах експлуатації. Кришка оснащена внутрішніми каналами для циркуляції охолоджувальної рідини. Це дозволяє ефективно відводити тепло від камери згоряння, знижуючи теплове навантаження на матеріал. У конструкції використовуються високоякісні прокладки та ущільнювальні кільця, які забезпечують надійну герметичність і запобігають витоку газів або охолоджувальної рідини.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

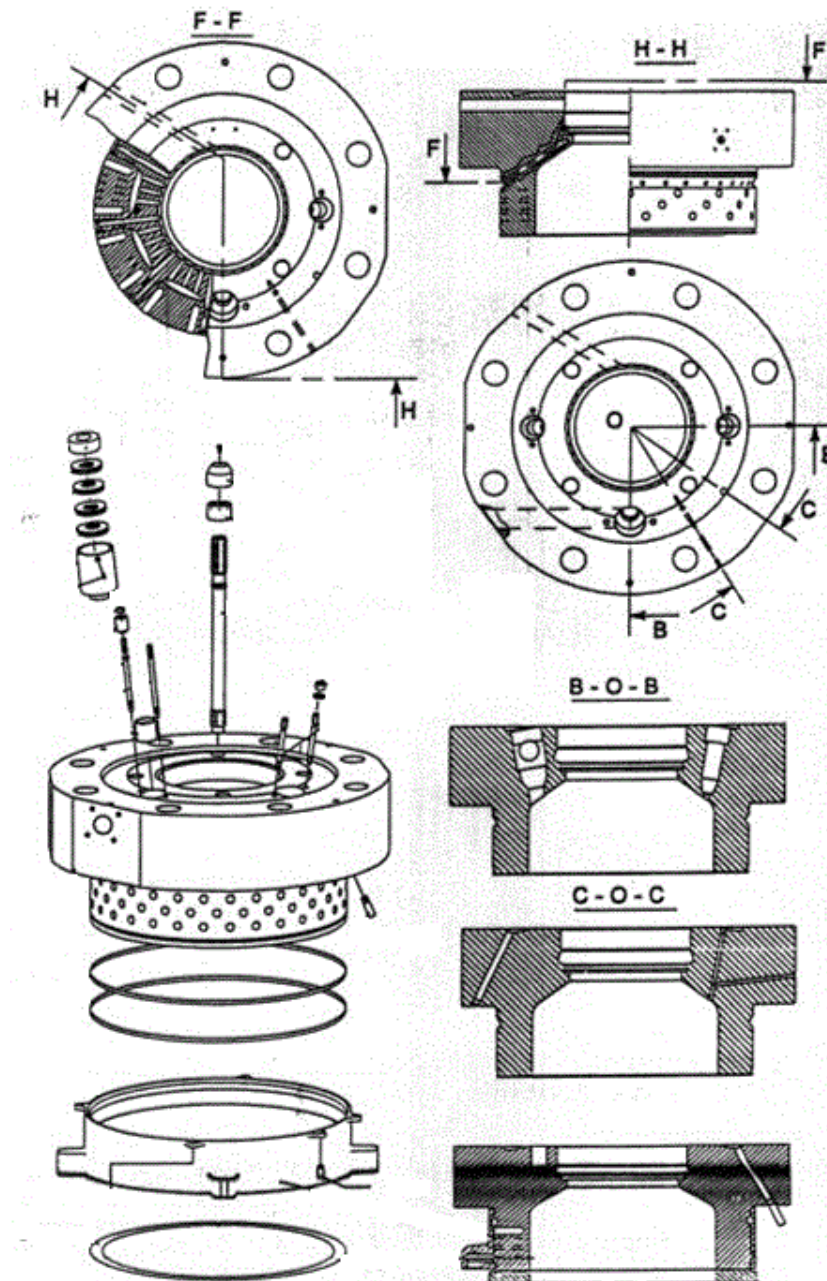


Рисунок 1.6 – Кришка циліндра

Поршень (рис. 1.7) малообертового двигуна MAN B&W є високотехнологічним елементом, розробленим для роботи в екстремальних умовах. Його конструкція та матеріали відповідають найвищим стандартам надійності та ефективності, що робить його незамінним компонентом для забезпечення безперебійної роботи двигуна навіть у найскладніших умовах експлуатації.

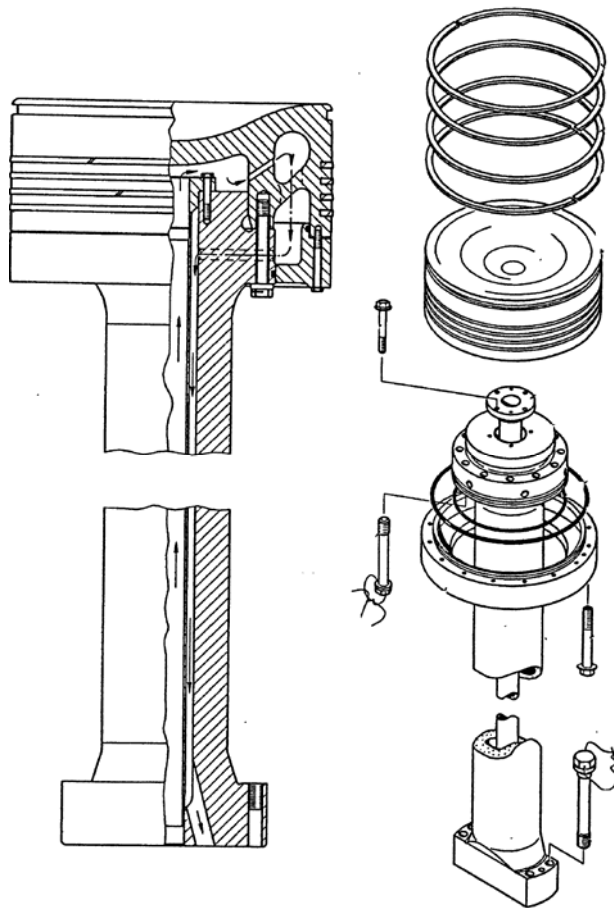


Рисунок 1.7 – Поршень

Колінчастий вал виготовляється з високоякісної сталі з легуючими елементами, такими як хром, молібден і нікель, що забезпечує високу міцність, зносостійкість і стійкість до втомних навантажень.

Поверхня підшипникових шийок і кривошипів піддається загартуванню для збільшення терміну служби.

Шатун (рис. 1.8) виготовляється з високоміцної сталі або чавуну із спеціальними легуючими добавками (нікель, хром, молібден), що забезпечують стійкість до втомних навантажень і корозії.

Нижня головка шатуна має роз'ємну конструкцію, що дозволяє проводити монтаж і демонтаж без повного розбирання двигуна. Шатун розроблений таким чином, щоб мати мінімальну вагу без втрати міцності. Це сприяє зменшенню навантаження на колінчастий вал і підшипники.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

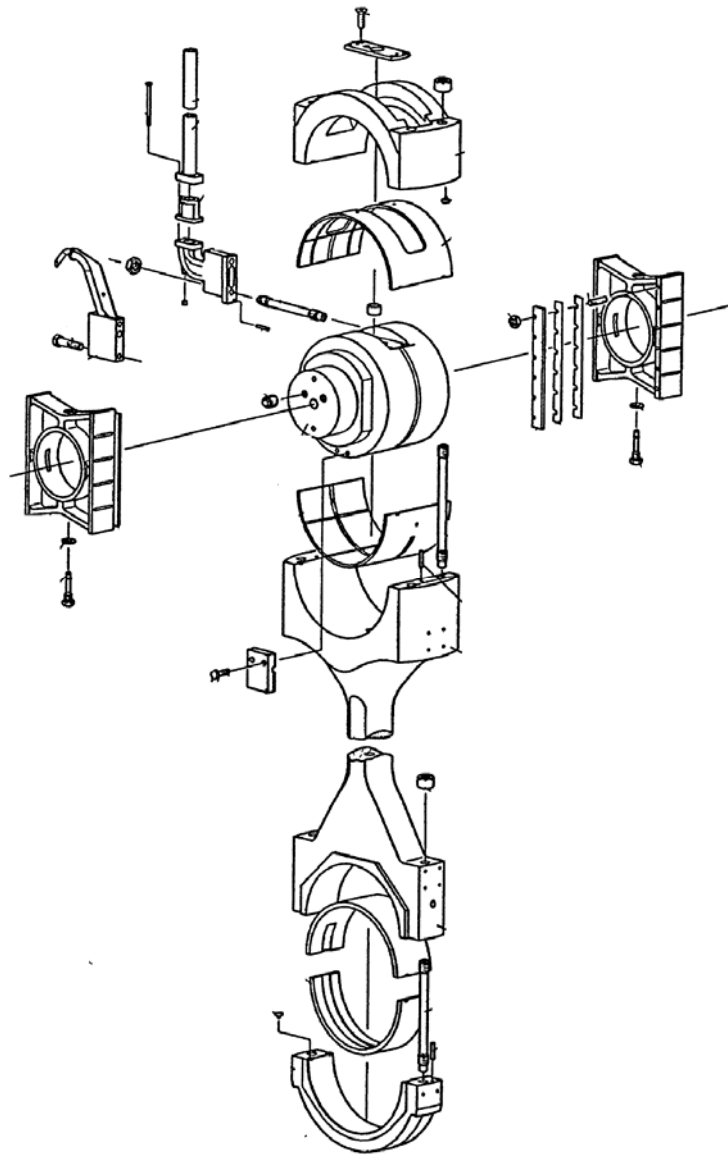


Рисунок 1.8 – Шатун

Розподільний вал (рис. 1.9) працює в умовах низьких обертів, що характерно для малообертових двигунів, і синхронізується з колінчастим валом у співвідношенні 2:1.

Через великі розміри двигуна і значні механічні навантаження розподільний вал має збільшений діаметр і масу, що забезпечує його жорсткість і міцність.

В сучасних двигунах MAN B&W розподільний вал часто виконується секційним, що спрощує транспортування, монтаж і ремонт.

Вбудовані канали для подачі мастила забезпечують зниження тертя між кулачками, штовхачами та клапанами, що сприяє довговічності вала та зменшенню зношування.

Геометрія кулачків розроблена для забезпечення оптимального відкриття клапанів, що враховує індивідуальні характеристики кожного типу двигуна.

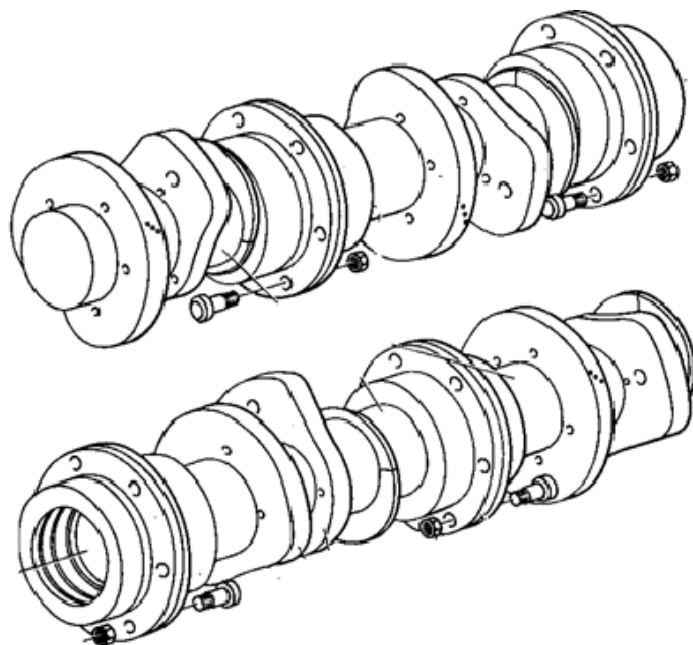


Рисунок 1.9 – Розподільний вал

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВ У СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

З розвитком технологій і посиленням екологічних стандартів у судноплавстві змінюються підходи до використання палива для суднових двигунів. Сучасні напрями зосереджені на підвищенні енергоефективності, зниженні викидів шкідливих речовин і впровадженні альтернативних видів палива.

1. Використання малосірчистого палива

Згідно з вимогами Міжнародної морської організації (ІМО), у зоні дії регламенту ІМО 2020 забороняється використання палива з вмістом сірки понад 0,5%. Це призвело до масового переходу на малосірчисті види палива, які зменшують викиди оксидів сірки (SO_x).

2. Перехід на скраплений природний газ (LNG)

Скраплений природний газ стає популярним альтернативним паливом для суднових двигунів завдяки низьким викидам шкідливих речовин:

Зниження викидів CO₂ до 25%.

Майже повне виключення оксидів сірки та твердих частинок.

Економічна ефективність у порівнянні з традиційним паливом.

Все більше суден обладнуються двигунами, які можуть працювати на LNG.

3. Використання біопалива

Біопаливо, виготовлене з відновлюваних джерел (рослинні олії, відходи біомаси), є ще одним екологічно чистим варіантом. Воно може бути використане як добавка до традиційного палива або як основний вид палива:

Знижує вуглецевий слід судноплавства.

Сумісне з більшістю сучасних суднових двигунів.

4. Водопаливні емульсії

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Водопаливні емульсії — суміш дизельного палива та води — забезпечують:

Зменшення температури згоряння та викидів оксидів азоту (NO_x).

Підвищення ефективності згоряння палива.

Зменшення викидів сажі.

5. Метанол і аміак як перспективне паливо

Метанол і аміак розглядаються як майбутні альтернативи для морських двигунів:

Метанол: Екологічне паливо з низькими викидами CO₂, що може вироблятися з біомаси або синтетичних джерел.

Аміак: Не містить вуглецю, що дозволяє значно знизити викиди парникових газів. Використання аміаку вимагає спеціальних технологій для запобігання викидам оксидів азоту.

6. Гібридні енергетичні системи

Все частіше на судах використовуються гібридні системи, які комбінують традиційні двигуни з електричними установками:

Електродвигуни можуть працювати на відновлюваних джерелах енергії (сонячна, вітрова).

Гібридні системи знижують витрати пального та викиди шкідливих речовин.

7. Впровадження водню

Водень розглядається як довгострокове паливо для судноплавства завдяки його екологічній чистоті:

При згорянні водню утворюється лише вода, що повністю виключає викиди CO₂.

Використання водню вимагає розробки спеціальних двигунів і систем зберігання.

8. Синтетичне паливо

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Синтетичне паливо, створене з використанням відновлюваної енергії, набуває популярності:

Забезпечує низький вуглецевий слід.

Є сумісним із традиційними двигунами, що спрощує його впровадження.

Переваги сучасних підходів до палива

Зменшення екологічного впливу судноплавства.

Відповідність міжнародним екологічним стандартам.

Підвищення енергоефективності двигунів.

Зменшення залежності від традиційних видів палива.

Особливості використання важкого палива на судах

Важке паливо, або мазут, є одним із найпоширеніших видів пального, що використовується на судах із великою потужністю, зокрема на танкерах, контейнеровозах та вантажних судах. Це залишковий продукт нафтопереробки, що відрізняється високою щільністю, в'язкістю і низькою вартістю порівняно з іншими видами пального. Однак використання важкого палива вимагає врахування його специфічних особливостей та впровадження відповідних технологій для ефективної експлуатації [3].

Характеристики важкого палива

1. Фізичні властивості

Висока в'язкість і щільність, що ускладнюють транспортування та подачу палива.

Наявність механічних домішок і значного вмісту сірки.

2. Енергетична цінність

Важке паливо має високий рівень теплоти згоряння, що забезпечує ефективність роботи двигуна.

3. Економічна ефективність

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Низька вартість робить його привабливим для використання на великих судах із високим енергоспоживанням.

Особливості використання важкого палива

1. Підготовка палива до використання

Важке паливо (мазут) є економічно вигідним, але вимагає спеціальної підготовки перед подачею до судових двигунів через свої фізико-хімічні властивості: високу в'язкість, щільність і наявність механічних домішок. Підготовка палива забезпечує оптимальні умови для його ефективного згоряння, захищає паливну систему від пошкоджень і знижує ризик виникнення несправностей.

Основні етапи підготовки важкого палива

1. Зберігання та нагрівання

Після завантаження на судно важке паливо зберігається у паливних танках. Через високу в'язкість його потрібно підігрівати до температури 50–70 °С, щоб забезпечити текучість і можливість перекачування.

Для цього танки обладнуються паровими або електричними нагрівачами.

2. Підготовка у відстійних танках

Перед подачею в паливну систему паливо переміщується до відстійних танків, де протягом кількох годин домішки та вода відділяються під дією гравітації.

Процес відстоювання дозволяє значно зменшити кількість твердих часток і вологи у паливі.

3. Сепарація води та домішок

Для ефективного очищення використовуються центрифуги-сепаратори, які видаляють воду, тверді частинки (пісок, іржа) і асфальтосмолисті сполуки.

Це забезпечує захист паливних насосів, форсунок і камери згоряння від зношування та забруднення.

4. Фільтрація

					<i>КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Після сепарації паливо проходить через фільтри грубого та тонкого очищення:

Фільтри грубого очищення: Видаляють великі частинки.

Фільтри тонкого очищення: Забезпечують видалення дрібних домішок розміром до кількох мікронів.

5. Підігрів перед подачею

Перед подачею до паливного насоса паливо підігрівається до 100–150 °С, щоб досягти оптимальної в'язкості для подачі та розпилення в камері згоряння.

Нагрівання відбувається за допомогою парових нагрівачів або теплообмінників, що використовують тепло від системи охолодження двигуна.

6. Контроль в'язкості та температури

Сучасні судна оснащуються автоматизованими системами контролю, які підтримують в'язкість палива на рівні, рекомендованому виробником двигуна.

Це дозволяє досягти оптимального згоряння та зменшити утворення відкладень у двигуні.

Переваги правильної підготовки важкого палива

1. Захист паливної системи

Видалення домішок і води запобігає корозії, зношуванню та засміченню насосів, форсунок і клапанів.

2. Оптимізація роботи двигуна

Забезпечення оптимальних параметрів палива сприяє рівномірному згорянню, підвищенню ефективності роботи та зниженню витрат пального.

3. Зменшення викидів шкідливих речовин

Завдяки правильному очищенню і підготовці знижується кількість твердих частинок і сажі у вихлопних газах.

4. Зниження експлуатаційних витрат

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Регулярна підготовка палива зменшує зношування компонентів паливної системи, що скорочує витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Сучасні технології підготовки важкого палива

- Автоматизовані системи підготовки: Сучасні судна оснащені автоматичними установками, які поєднують процеси нагрівання, сепарації, фільтрації та контролю параметрів палива.
- Емульсійні системи: Використання водопаливних емульсій для підвищення ефективності згоряння та зменшення шкідливих викидів.
- Екологічні рішення: Установки для зниження вмісту сірки та шкідливих домішок у паливі.

Підготовка важкого палива до використання є невід'ємною частиною експлуатації судових двигунів. Вона забезпечує ефективну, безпечну та екологічну роботу судна, мінімізуючи негативний вплив пального на обладнання та довкілля. Впровадження сучасних технологій у системи підготовки дозволяє значно підвищити ефективність морських перевезень і відповідати жорстким екологічним стандартам.

2. Система подачі палива

Система подачі важкого палива в судових двигунах забезпечує транспортування, очищення, нагрівання та подачу палива до циліндрів у належному стані для ефективного згоряння. Враховуючи фізико-хімічні властивості важкого палива, такі як висока в'язкість, щільність і наявність домішок, ця система має низку конструктивних і функціональних особливостей.

Основні елементи системи подачі важкого палива

1. Паливні танки

Зберігання палива: Важке паливо зберігається в основних танках судна. Танки оснащені підігрівальними системами (паровими або електричними), що підтримують температуру для забезпечення текучості палива.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Відстійні танки: Паливо переміщується до відстійних танків для природного осадження домішок і води.

2. Підігрівальні системи

Підігрівачі встановлюються на всіх етапах транспортування палива: у трубопроводах, танках і перед форсунками. Температура палива може досягати 150 °С для досягнення оптимальної в'язкості.

3. Сепаратори та фільтри

Сепаратори видаляють воду, механічні домішки та асфальтосмолисті сполуки.

Фільтри грубого та тонкого очищення забезпечують додаткове видалення дрібних частинок.

4. Паливні насоси

Паливо транспортується за допомогою насосів високої потужності, які здатні працювати з в'язкими рідинами.

Регульовальні насоси підтримують постійний тиск і обсяг подачі палива до двигуна.

5. Контрольні системи

Автоматичні датчики контролюють в'язкість, температуру та тиск палива, забезпечуючи відповідність параметрів вимогам двигуна.

Особливості системи подачі важкого палива

1. Нагрівання палива

Висока в'язкість важкого палива потребує постійного підігрівання на всіх етапах транспортування. Це забезпечує легке перекачування та рівномірну подачу палива до форсунок.

2. Ефективне очищення

Важке паливо містить значну кількість домішок, які можуть пошкодити паливну систему. Використання сепараторів і фільтрів дозволяє видалити більшість шкідливих елементів.

3. Точний контроль параметрів

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Автоматизовані системи забезпечують постійний моніторинг і регулювання температури, тиску та в'язкості палива для досягнення оптимальних умов згоряння.

4. Високий тиск подачі

Система подачі створює високий тиск, необхідний для подачі палива через форсунки в камеру згоряння, що забезпечує його ефективне розпилення і згоряння.

5. Гнучкість роботи

Система може працювати з кількома типами палива (важке, легке паливо, водопаливні емульсії), перемикаючись між ними залежно від умов експлуатації та екологічних вимог.

Екологічні аспекти системи подачі важкого палива

- Використання малосірчистого важкого палива або очищення вихлопних Ефективна подача палива сприяє повному згорянню, зменшуючи викиди сажі та твердих частинок.
- газів за допомогою скрубберів знижує рівень викидів SOx.

Переваги сучасних систем подачі важкого палива

Економічність: Забезпечення ефективного використання дешевого важкого палива.

Надійність: Система захищає двигун від пошкоджень через домішки та некоректну подачу палива.

Гнучкість: Можливість адаптації до різних типів палива та умов експлуатації.

Екологічність: Зменшення впливу на навколишнє середовище завдяки сучасним технологіям очищення та моніторингу.

Система подачі важкого палива в судових двигунах – це високотехнологічна і складна структура, що забезпечує ефективне транспортування, очищення та підготовку палива для роботи двигуна. Завдяки сучасним рішенням вона дозволяє знизити витрати на паливо,

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

забезпечити довговічність обладнання та відповідати жорстким екологічним стандартам морської галузі.

Особливості роботи двигуна

Згоряння важкого палива в суднових двигунах є складним процесом, що залежить від фізико-хімічних властивостей палива, конструкції двигуна та умов експлуатації. Важке паливо (мазут) характеризується високою в'язкістю, щільністю та наявністю домішок, що вимагає спеціальних умов для забезпечення ефективного та екологічного згоряння.

Характеристики важкого палива, що впливають на процес згоряння

- Висока в'язкість: Ускладнює розпилення палива у форсунках і його змішування з повітрям.
- Наявність сірки: Призводить до утворення оксидів сірки (SO_x) при згорянні.
- Механічні домішки: Можуть залишатися у вигляді твердих частинок після згоряння.
- Низька леткість: Ускладнює випаровування палива та уповільнює згоряння.

Особливості згоряння важкого палива в суднових двигунах

1. Попередня підготовка палива

- Підігрів: Для зниження в'язкості паливо нагрівається до температури 100–150 °C перед подачею в камеру згоряння. Це забезпечує краще розпилення та рівномірне згоряння.
- Очищення: Видалення води та домішок запобігає утворенню відкладень у камері згоряння та на форсунках.

2. Розпилення та випаровування

- Форсунки розпилюють паливо на дрібні частинки, сприяючи утворенню гомогенної паливоповітряної суміші.
- Низька леткість важкого палива уповільнює випаровування, що впливає на швидкість згоряння.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Змішування з повітрям

- Процес згоряння залежить від рівномірності змішування палива з повітрям.
- Уповільнене змішування через властивості палива може призводити до неповного згоряння.

4. Температура згоряння

- Висока температура в камері згоряння необхідна для забезпечення повного згоряння палива та зменшення кількості залишків.
- Підтримка оптимальної температури зменшує утворення сажі та викидів оксидів азоту (NO_x).

5. Утворення відкладень

- Неповне згоряння важкого палива може спричиняти утворення відкладень на стінках циліндра, клапанах та форсунках, що знижує ефективність роботи двигуна.
- Сірка в паливі утворює сірчані сполуки, які можуть викликати корозію.

Ефективність згоряння та вплив на роботу двигуна

1. Економічність

- Правильна організація процесу згоряння забезпечує максимальне використання енергетичного потенціалу палива.
- Низька ефективність згоряння призводить до підвищеного споживання палива.

2. Знос деталей двигуна

- Відкладення сажі та сірчаних сполук прискорюють зношування поршневих кілець, форсунок і клапанів.
- Висока температура згоряння може підвищувати термічне навантаження на циліндропоршкову групу.

3. Викиди шкідливих речовин

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Важке паливо характеризується високими викидами оксидів сірки (SOx), азоту (NOx) та твердих частинок.
- Використання технологій очищення вихлопних газів (скрубєрів) зменшує вплив на довкілля.

Технології для покращення процесу згоряння

1. Водопаливні емульсії

Додавання води до палива знижує температуру згоряння та зменшує викиди NOx і сажі.

2. Сучасні форсунки

Використання високотехнологічних форсунок забезпечує рівномірне розпилення палива та покращує його змішування з повітрям.

3. Оптимізація температурного режиму

Контроль температури палива та камери згоряння дозволяє забезпечити повніше згоряння.

4. Очищення вихлопних газів

Скрубєри, каталітичні нейтралізатори та інші системи знижують викиди шкідливих речовин.

Вплив екологічних стандартів

- Відповідно до вимог ІМО 2020, зменшується вміст сірки в паливі, що знижує утворення оксидів сірки.
- Впроваджуються альтернативи важкому паливу, такі як скраплений природний газ (LNG) і біопаливо, для зменшення викидів.

Процес згоряння важкого палива в суднових двигунах є складним і вимагає ретельної підготовки палива, оптимізації роботи двигуна та застосування сучасних технологій. Правильна організація згоряння забезпечує економічну, ефективну та екологічну роботу двигуна, відповідаючи сучасним вимогам судноплавної галузі.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Екологічні аспекти

Важке паливо, або мазут, є основним видом палива для суднових двигунів завдяки його низькій вартості та високій енергетичній ефективності. Однак використання цього пального створює значний вплив на навколишнє середовище через високий вміст сірки, домішок та інших шкідливих речовин. У сучасному судноплавстві особливу увагу приділяють екологічним аспектам використання важкого палива, спрямовуючи зусилля на мінімізацію негативного впливу [4].

Основні екологічні виклики використання важкого палива

1. Викиди оксидів сірки (SO_x)

Сірка, що міститься у важкому паливі, під час згоряння утворює оксиди сірки, які спричиняють кислотні дощі, негативно впливають на екосистеми та здоров'я людей.

2. Викиди оксидів азоту (NO_x)

У процесі згоряння важкого палива при високих температурах утворюються оксиди азоту, що сприяють утворенню смогу та парникового ефекту.

3. Викиди твердих частинок і сажі

Неповне згоряння палива призводить до утворення сажі та твердих частинок, які осідають у повітрі та водних об'єктах, погіршуючи якість довкілля.

4. Викиди вуглекислого газу (CO₂)

Як продукт викопного палива, важке паливо сприяє викидам CO₂, основного чинника глобального потепління.

5. Ризик забруднення води

Важке паливо має високий потенціал забруднення морських вод у разі аварій або витоків, завдаючи серйозної шкоди морській флорі й фауні.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Міжнародні екологічні стандарти

1. ІМО 2020

Згідно з вимогами Міжнародної морської організації (ІМО), з 2020 року обмежено вміст сірки в судновому паливі до 0,5% (0,1% у зонах контролю викидів – ЕСА). Це змусило судновласників використовувати або малосірчисте паливо, або впроваджувати технології очищення викидів.

2. Зони контролю викидів (ЕСА)

У таких регіонах, як Балтійське море, Північне море та узбережжя США, діють суворі обмеження на викиди SO_x, NO_x і твердих частинок.

Технології зменшення екологічного впливу важкого палива

1. Скрубери

Встановлення систем очищення вихлопних газів (скрубери) дозволяє знизити викиди SO_x, перетворюючи їх на менш шкідливі сполуки.

2. Водопаливні емульсії

Змішування палива з водою сприяє зменшенню температури згоряння, що знижує утворення NO_x і твердих частинок.

3. Системи селективного каталітичного відновлення (SCR)

Використовуються для зниження викидів NO_x шляхом додавання реагентів (наприклад, аміаку) у вихлопні гази.

4. Перехід на альтернативні види палива

Судновласники все частіше використовують скраплений природний газ (LNG), біопаливо чи метанол як екологічно чистіші альтернативи важкому паливу.

Ефективне управління використанням важкого палива

1. Очищення та підготовка палива

Видалення домішок і води з палива перед подачею в двигун знижує утворення шкідливих викидів.

2. Оптимізація роботи двигунів

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підтримка оптимальних умов згоряння (температура, тиск, в'язкість палива) сприяє зменшенню викидів і покращенню ефективності використання палива.

3. Контроль і моніторинг викидів

Сучасні системи моніторингу допомагають контролювати рівень викидів і вчасно реагувати на відхилення від норм.

Екологічні переваги впровадження нових технологій

- Зниження викидів SO_x та NO_x завдяки очищенню вихлопних газів.
- Зменшення утворення сажі та твердих частинок через оптимізацію процесу згоряння.
- Покращення якості повітря та води в регіонах із інтенсивним судноплавством.
- Стабілізація клімату завдяки зниженню викидів CO₂ через ефективніше використання палива або перехід на альтернативні джерела енергії.

Використання важкого палива в судових двигунах має значний вплив на довкілля, проте завдяки впровадженню сучасних екологічних стандартів і технологій зменшення шкідливих викидів цей вплив можна мінімізувати. Перехід на чистіші види палива, застосування скрубєрів та оптимізація роботи двигунів сприяють не лише покращенню екологічної ситуації, а й забезпечують відповідність судноплавства вимогам сталого розвитку [5].

Вимоги до обслуговування

Робота судових двигунів на важкому паливі вимагає дотримання спеціальних вимог до обслуговування через специфічні фізико-хімічні властивості цього пального, такі як висока в'язкість, щільність і вміст домішок. Належне обслуговування забезпечує ефективну, надійну та безпечну

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

роботу двигуна, знижуючи ризик поломок і підвищуючи довговічність його компонентів.

Основні напрямки обслуговування

1. Підготовка палива

- Регулярна перевірка та обслуговування системи підігріву палива, що забезпечує зниження в'язкості до оптимальних показників (100–150 °C).
- Очищення сепараторів і заміна фільтрів для видалення механічних домішок, води та асфальтосмолистих сполук.
- Контроль і корекція параметрів палива (в'язкість, температура) відповідно до рекомендацій виробника двигуна.

2. Система подачі палива

- Регулярна перевірка стану паливних насосів, трубопроводів і клапанів для запобігання засміченню та зношуванню.
- Перевірка ущільнень та прокладок для попередження витоків.
- Заміна зношених деталей, таких як ущільнювальні кільця, клапани та поршні насосів.

3. Система згоряння

- Чищення форсунок для забезпечення рівномірного розпилення палива в камері згоряння.
- Перевірка стану клапанів, поршнів і стінок циліндрів для виявлення нагару або корозії, викликаних високим вмістом сірки та домішок у паливі.
- Регулярне регулювання клапанів і форсунок для забезпечення точного процесу згоряння.

4. Система охолодження

- Перевірка ефективності роботи системи охолодження, оскільки перегрів може призводити до утворення відкладень і пошкоджень компонентів двигуна.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Очищення охолоджувальних каналів для запобігання засміченню, що знижує тепловідведення.

5. Система мастила

- Контроль чистоти мастила, яке може забруднюватися продуктами згоряння та домішками з важкого палива.
- Заміна мастила згідно з регламентом і перевірка стану фільтрів мастильної системи.

Частота обслуговування

- Щоденні перевірки: Оцінка роботи паливної системи, температури та тиску палива, стану фільтрів.
- Технічний огляд кожні 500–1000 годин роботи: Заміна фільтрів, перевірка форсунок і клапанів, очищення системи подачі палива.
- Капітальний ремонт: Проводиться згідно з рекомендаціями виробника двигуна (після 10 000–20 000 годин роботи), включає перевірку всіх компонентів двигуна, заміну зношених деталей і відновлення геометрії циліндрів.

Використання спеціального обладнання

- Сепаратори та фільтри: Регулярна перевірка ефективності роботи обладнання для очищення палива.
- Системи моніторингу: Використання автоматичних систем для контролю температури, в'язкості, тиску палива і стану двигуна.
- Аналіз палива та мастила: Проводиться для оцінки якості палива та виявлення домішок, що можуть пошкодити двигун.

Ризики недотримання вимог обслуговування

Відкладення нагару та сажі

Призводять до зниження ефективності двигуна, перегріву та пошкодження поршнів, клапанів і форсунок.

Корозія

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Високий вміст сірки в паливі сприяє утворенню кислот, які викликають корозію внутрішніх компонентів двигуна.

Поломка паливної системи

Засмічення фільтрів і насосів через домішки у паливі може зупинити роботу двигуна.

Підвищений знос деталей

Неправильне обслуговування системи подачі та згоряння палива призводить до прискореного зношування компонентів двигуна.

Екологічні аспекти обслуговування

- Своєчасне обслуговування знижує викиди шкідливих речовин (SO_x, NO_x, сажі), що дозволяє відповідати міжнародним екологічним стандартам (ІМО 2020).
- Утилізація відходів (старе мастило, фільтри, продукти згоряння) має відповідати вимогам охорони довкілля.

Належне обслуговування суднових двигунів при роботі на важкому паливі є запорукою їхньої ефективної, довговічної та екологічної роботи. Регулярна перевірка та очищення системи подачі, згоряння та охолодження палива допомагає знизити ризик поломок, продовжити термін служби компонентів і зменшити шкідливий вплив на довкілля. Використання сучасного обладнання та дотримання рекомендацій виробників двигунів є ключовими для досягнення цих цілей [6].

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

В роботі буде розглянута можливість роботи головного двигуна на суміші води та важкого палива (мазуту) у співвідношенні 15% води та 85% мазуту при номінальному навантаженні.

					<i>KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДВИГУНА MAN 6S60MC-C ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОМАЗУТНОЇ СУМІШІ

Тепловий розрахунок головного двигуна MAN 6S60MC-C при роботі на важкому паливі

Методика теплового розрахунку робочого циклу двигуна, розроблена В. І. Гріневецьким та вдосконалена Є. К. Мазінгом, є однією з фундаментальних у двигунобудуванні. Вона дозволяє моделювати основні процеси, що відбуваються в двигуні внутрішнього згоряння, і визначати його характеристики, такі як тиск, температура, обсяг робочого тіла в кожній фазі циклу, ефективність і потужність.

Основи методики Гріневецького

1. Математичне моделювання термодинамічних процесів

- Методика базується на аналізі теоретичного циклу, доповненого врахуванням реальних втрат тепла та нерівномірностей згоряння.
- Визначаються основні параметри: тиск, температура, обсяг газу в різних фазах циклу (впуск, стиснення, згоряння, розширення, випуск).

2. Аналіз втрат тепла

- Розглядається вплив теплопередачі через стінки циліндра, неповного згоряння палива та інших факторів, що впливають на енергетичну ефективність.

3. Використання ідеалізованого циклу Карно

- Для попереднього аналізу приймається ідеалізований цикл, на основі якого визначаються основні параметри двигуна.

Вдосконалення методики Є. К. Мазінгом

Є. К. Мазінг впровадив численні вдосконалення, які зробили методику більш універсальною та точнішою:

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1. Облік хімічних процесів згоряння

- Розроблена детальніша модель згоряння палива, що враховує швидкість реакцій і склад пального.

- Моделюється поширення фронту полум'я в камері згоряння.

2. Динамічний підхід до теплових процесів

- Методика враховує вплив змінних параметрів (тиску, температури, складу газів) у реальному часі, що підвищує точність розрахунків.

3. Уточнення теплових втрат

- Окремо розглядається вплив охолоджувальної системи та теплопередачі через стінки циліндра.

4. Реальні властивості робочого тіла

- Урахування змін теплоємності, щільності та інших властивостей робочого тіла залежно від температури та тиску.

5. Моделювання робочої діаграми

- Методика дозволяє побудувати розрахункову індикаторну діаграму двигуна, яка слугує основою для подальшого аналізу динаміки й міцності.

Основні етапи розрахунку

1. Визначення початкових умов

- Обчислення параметрів впуску, таких як температура, тиск і обсяг робочого тіла на початку циклу.

2. Аналіз процесу стиснення

- Розрахунок зміни параметрів газу під час стиснення із врахуванням втрат тепла.

3. Моделювання процесу згоряння

- Визначення тепловиділення, тиску та температури в камері згоряння на основі моделі поширення полум'я.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4. Процес розширення

- Розрахунок перетворення теплової енергії в механічну роботу.

5. Фаза випуску

- Аналіз видалення відпрацьованих газів і впливу залишкових втрат.

6. Розрахунок ефективності циклу

- Визначення корисної роботи, механічних втрат і теплового ККД двигуна.

Застосування методики

Методика Гріневецького-Мазінга використовується для:

- Проектування двигунів: Оптимізація параметрів для досягнення максимальної потужності та економічності.
- Аналізу роботи існуючих двигунів: Виявлення недоліків і шляхів їх усунення.
- Розробки нових конструкцій: Оцінка впливу змін у конструкції циліндрів, камер згоряння, клапанів тощо.
- Екологічного аналізу: Розрахунок шкідливих викидів та пошук шляхів їх зниження.

Переваги методики

- Висока точність розрахунків завдяки врахуванню реальних властивостей газів і теплових втрат.
- Універсальність: застосовується до різних типів двигунів (бензинових, дизельних, газових).
- Можливість побудови розрахункової індикаторної діаграми для подальшого аналізу.

Методика розрахунку робочого циклу двигуна Гріневецького-Мазінга є ефективним інструментом для аналізу термодинамічних процесів у двигунах. Вона дозволяє точно оцінити параметри циклу, оптимізувати конструкцію та підвищити ефективність роботи двигунів. Завдяки вдосконаленням Є. К. Мазінга методика стала незамінною у сучасному двигунобудуванні [7].

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

Коефіцієнт надлишку повітря α . Цей коефіцієнт також залежить від розмірів циліндра і способу сумішоутворення. Цей параметр при підвищенні зменшує питому витрату пального, водночас зменшуючи середній ефективний тиск та потужність. Відповідно його слід підбирати з кількох спроб розрахунку з урахуванням одночасного досягнення заданої потужності і найкращої можливої економічності. Вибір остаточного значення α робиться з вибором оптимального значення Π_k з урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha = 2,71$.

Показник адіабати повітря $k_e = 1,4$.

Механічний ККД турбіни $\eta_{cm} = 0,93$.

Адiabатний ККД турбіни $\eta_{mad} = 0,8$.

Коефіцієнт залишкових газів γ_x . Вплив на значення цього коефіцієнту завдають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. Приймаємо $\gamma_x = 0,02$.

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 призначати після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектного.

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

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Приймаємо $\lambda = 1,12$.

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

					KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

Приймаємо $\Delta T_a = 10$ К.

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

Приймаємо $\zeta = 0,99$.

Механічний ККД двигуна η_m .

Приймаємо $\eta_m = 0,94$.

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

Температура залишкових газів T_g .

Приймаємо $T_g = 700$ К [8].

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

Коефіцієнт тактності Z – являє собою кількість робочих ходів поршня, що припадають на один оберт колінчастого вала, тоді для 2-тактних двигунів $Z = 1$.

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

Ступінь підвищення тиску в компресорі P_k . Для даного типу компресора приймаємо $P_k = 3,75$.

Частка ходу поршня втраченого на продувку ϕ_p . Для 2-тактних двигунів $\phi_p = 0,08$.

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

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,375}{0,103} \right)^{0,286} - 1}{0,8} \right] = 440,8$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 440,8 - 0,85 \times (440,8 - 293) = 315,1$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{315,1 + 10 + 0,02 \times 700}{1 + 0,02} = 332,5$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,375 - 0,005 = 0,37$$

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,97 \times 0,37 = 0,359$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) =$$

$$= \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,359}{0,37} \times \frac{315,1}{332,5} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0,08) = 0,888$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_I = 1,364$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_I} = 0,359 \times 15^{1,364} = 14,425$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_I - 1} = 332,5 \times 15^{1,364 - 1} = 890,9$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,71}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,13}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,34$$

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,13 + 0,004}{32 \times 1,34} = 1,0236$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0236 + 0,02}{1 + 0,02} = 1,0231$$

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

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0236 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,968 = 1,022$$

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

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

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

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

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

$$T_z = 1694 \text{ K}$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,12 \times 14,425 = 16,156$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,022}{1,12} \times \frac{1761}{890,9} = 1,712$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,712} = 8,76$$

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$n_2 = 1,294$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1694 \times \frac{1}{8,76^{1,294-1}} = 883$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{16,156}{8,76^{1,294}} = 0,974$$

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{15,511}{15 - 1} \times \left[1,12 \times (1,712 - 1) + \frac{1,12 \times 1,712}{1,294 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{8,76^{1,294-1}} \right) - \frac{1}{1,364 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,364-1}} \right) \right] = 2,218$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,218 \times 0,99 \times (1 - 0,08) = 2,02$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,37 \times 0,888}{2,715 \times 0,495 \times 315,1 \times 2,02} = 0,167$$

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

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,02 \times 0,94 = 1,899$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,506 \times 0,94 = 0,475$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,167}{0,94} = 0,178$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,6^2 \times 2,4 \times 1 \times 1,899 \times 105 \times 6 = 13538,6$$

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{13538,6 - 13530}{13538,6} \times 100\% = 0,063\%$$

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

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

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,6^2}{4} \right) \times 2,4 \times \left(\frac{0,37 \times 10^6}{287 \times 315,1} \right) \times 0,971 \times 6 \times 1 \times \left(\frac{105}{60} \right) \times 1,05 = 27,19$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 27,19 + 0,178 \times \frac{13538,6}{3600} = 27,857$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,852 \times 0,375 = 0,32$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 883 \times \left(\frac{0,32}{0,974} \right)^{\frac{1,294-1}{1,294}} = 685,4$$

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

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,715 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,715 \times 0,495) = 1,373$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,373 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,373 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,715 - 1) \times 0,495}{1,373 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,715 \times 0,495}{1,373 \times 296,8}} = 287,548$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 685,4) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 685,4} = 1,383$$

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,383}{1,383 - 1} \right) \times 287,548 \times 685,4 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,356}{0,101} \right)^{\frac{1,384 - 1}{1,384}}} \right] \times 0,93 \times 0,8 \times 27,857}{27,19 \times 287 \times 293 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,9}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,684$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 3,684 \times 0,1013 = 0,3732$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,3732 - 0,375}{0,375} = -0,486\%$$

Тепловий розрахунок головного двигуна на водомазутній суміші

Для розрахунку робочого процесу двигуна на водомазутній суміші приймаємо за основу ті ж допущення і вихідні дані що і для попередніх розрахунків. Розрахунок проводиться для двигуна, який працює за дизельним циклом. Згідно з літературних джерел наявність води у суміші значно покращує процес згоряння палива, що в розрахунках виражається збільшенням коефіцієнтів використання теплоти в точці z та в точці b до 0,94 та 0,98.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок нижчої теплоти згоряння та масового елементарного складу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Властивості суміші палив

Параметр		Одиниці виміру	Масовий елементарний склад палива, %		Суміш (ВП – 85%, H ₂ O – 15%)
			Важке паливо	Вода	
Компоненти	С	%	0,87	0	0,73
	Н	%	0,126	0,111111	0,124
	О	%	0,004	0,888889	0,136
Питома нижча теплота згоряння		кДж/кг	42700	0	36295

Результати розрахунків наводяться в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати теплового розрахунку двигуна на водо-мазутній суміші

Параметр	Значення
Температура повітря за компресором, $T_{\text{к}}$ (К)	440,8
Температура повітря перед двигуном, $T_{\text{д}}$ (К)	315,2
Температура заряду к кінцю наповнення, $T_{\text{а}}$ (К)	332,5
Тиск повітря перед двигуном, $P_{\text{д}}$ (МПа)	0,37
Тиск заряду к кінцю наповнення, $P_{\text{а}}$ (МПа)	0,359
Коефіцієнт наповнення, $\eta_{\text{н}}$	0,888
Середній показник політропи стиску, n_1	1,364

Тиск в кінці процесу стиску, P_c (МПа)	14,425
Температура в кінці процесу стиску, T_c (К)	890,5
Ступінь підвищення тиску при згорянні, λ_a	1,12
Максимальна температура згоряння, T_z (К)	1644
Максимальний тиск згоряння, P_z (МПа)	16,2
Ступінь попереднього розширення, ρ_0	1,7
Ступінь наступного розширення, δ	8,81
Середній показник політропи розширення, n_2	1,286
Температура в кінці процесу розширення, T_b (К)	882
Тиск в кінці процесу розширення, P_b (МПа)	0,983
Теоретичний середній індикаторний тиск, P_{ti} (МПа)	2,218
Дійсний середній індикаторний тиск, P_i (МПа)	2,02
Індикаторна питома витрата суміші, g_i (кг/кВт×год)	0,191
Індикаторний ККД, η_i	0,52
Середній ефективний тиск, P_e (МПа)	1,9
Ефективна витрата важкого палива, g_e (кг/кВт×год)	0,172
Ефективна витрата води, g_e (кг/кВт×год)	0,03
Ефективний ККД, η_e	0,489
Ефективна потужність, N_e (кВт)	13539

Таким чином, згідно з розрахунків при використанні водомазутної суміші у двигуні при номінальному навантаженні зменшилась питома ефективна витрата важкого палива з 177 до 172 г/кВт×год (2 %). Також знизилась максимальна температура циклу на 50 °С (з 1694 до 1644 К), що в свою чергу зменшить викиди NO_x на 30 %.

Розробка системи отримання водомазутної суміші

На рис. 3.1 показана технологічна схема процесу приготування водопаливної емульсії на основі кавітаційного способу [8].

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

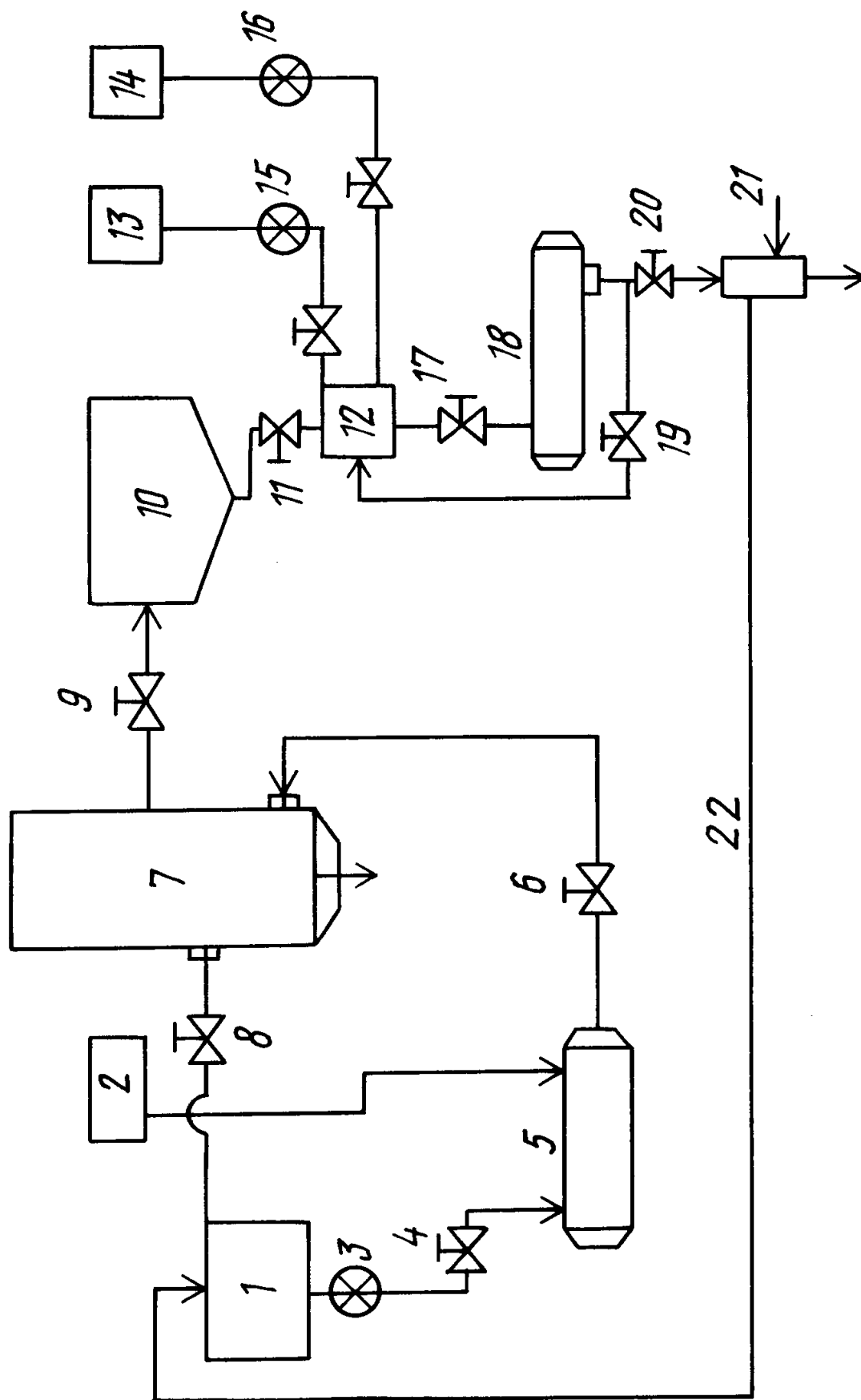


Рисунок 3.1 – Технологічна схема процесу приготування водопаливної емульсії:

1 – ємність для рідкого палива; 2 – ємність для додаткової рідини; 3 – насос-дозатор; 4, 6, 8, 9, 11, 17, 19, 20 – кран;
5 – статичний кавітаційний пристрій; 7, 13, 14 – ємність; 10 – відцентровий сепаратор; 12 – змішувач; 15, 16 – дозатор;
18 – кавітаційний пристрій; 21 – теплообмінник; 22 – трубопровід

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ

Аркуш

45

Отримання водомазутної суміші здійснюється за допомогою спеціальної установки, яка складається з ємності для рідкого палива (ємність 1) і ємності для води (ємність 2). Забруднене паливо з ємності 1 за допомогою насоса-дозатора 3 і крана 4 подається до статичного кавітаційного пристрою 5. До цього ж пристрою з іншого входу надходить додаткова рідина або вода з ємності 2. У пристрої 5 компоненти змішуються та піддаються початковій кавітаційній обробці, формуючи емульсію.

Отримана емульсія через кран 6 надходить до циркуляційної ємності 7, де відбувається розділення потоку. Очищена емульсія піднімається до верхньої частини ємності та через кран 9 спрямовується до відцентрового сепаратора 10 для остаточного видалення домішок. Неочищена частина емульсії осідає і через кран 8 повертається до ємності 1 для повторної обробки.

Очищена емульсія з сепаратора через кран 11 надходить у змішувач 12, де до неї додаються стабілізатори, антифризи та інші необхідні присадки з ємностей 13 і 14 за допомогою дозаторів 15 і 16. Після цього проміжна емульсія надходить через кран 17 до гідродинамічного багатосекційного кавітаційного пристрою 18, де здійснюється остаточне змішування, активація, нагрівання до 50–60 °С, диспергування, усереднення компонентів та гомогенізація.

Для досягнення потрібної ступені гомогенізації емульсія може рециркулювати через змішувач 12 за допомогою крана 19. Готова суміш надходить через кран 20 і теплообмінник 21 або безпосередньо до споживача, або до накопичувальної ємності. У разі необхідності вихідна сировина може подаватися до ємності 1 через теплообмінник 21 (для попереднього підігріву) по лінії 22.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

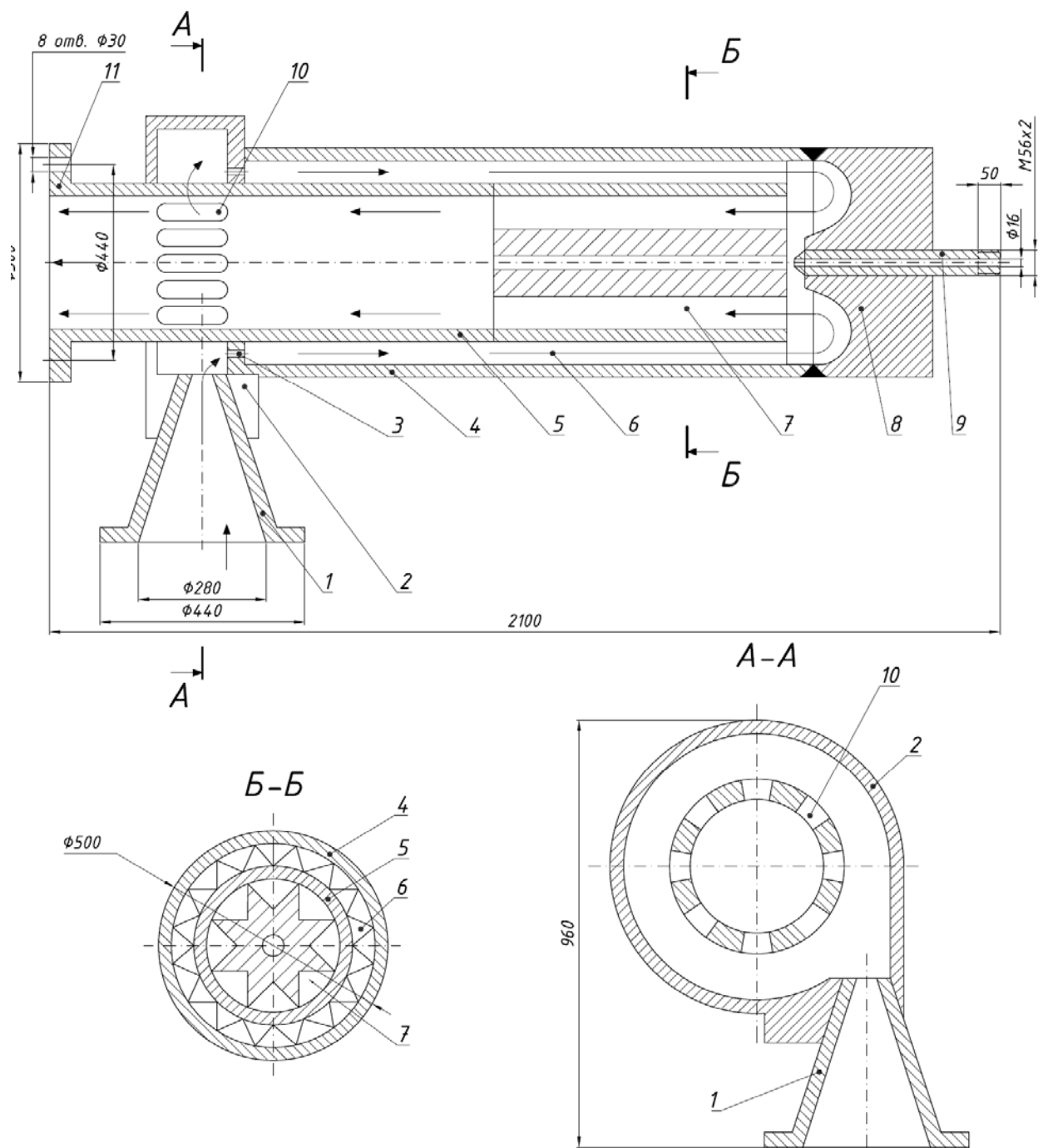


Рисунок 3.2 – Статичний кавітаційний пристрій:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – циліндричний корпус; 3 – кільцевий проріз;
 4 – корпус; 5 – циліндрична перегородка; 6 – зовнішній кавітатор;
 7 – внутрішній кавітатор; 8 – відбивач потоку; 9 – ввідний патрубок;
 10 – циркуляційні отвори; 11 – вихідний патрубок

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

Статичний кавітаційний пристрій (рис. 3.2) складається з таких основних елементів:

Вхідний патрубок (1): Служить для подачі рідкого палива в пристрій.

Циліндричний корпус вихрової камери (2): Розташований у зоні введення вхідного патрубку, на одній із торцевих стінок якого є кільцевий проріз (3).

Корпус пристрою (4): Виконаний у вигляді труби, до торця якої кріпиться корпус вихрової камери (2).

Циліндрична перегородка (5): Розташована співвісно всередині корпусу пристрою (4).

Зовнішній кавітатор (6): Утворений з пластин, закріплених зіркоподібно, і розташований між корпусом пристрою (4) та циліндричною перегородкою (5), утворюючи канали для руху рідкої суміші в одному напрямку.

Внутрішній кавітатор (7): Також виконаний із зіркоподібно закріплених пластин, встановлений на внутрішній стінці циліндричної перегородки (5), утворюючи канали для руху рідкої суміші в протилежному напрямку.

Відбивач потоку (8): Має конусоподібний виступ і розташований на торці корпусу пристрою (4) навпроти кавітаторів.

Ввідний патрубок (9): Установлений по осі відбивача потоку (8) і слугує для введення додаткової рідини або води, яка змішується з паливом і проходить спільну кавітаційну обробку.

Циркуляційні отвори (10): Розташовані на циліндричній перегородці (5) в зоні вихрової камери та забезпечують з'єднання внутрішнього простору перегородки з вихровою камерою.

Вихідний патрубок (11): Виступає назовні з корпусу вихрової камери та є частиною циліндричної перегородки (5).

Рух потоків рідкої суміші через пристрій здійснюється відповідно до напрямків, вказаних стрілками.

Статичний кавітаційний пристрій функціонує наступним чином. Рідке паливо під тиском приблизно 0,05 МПа, створеним насосом (не показаний),

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

подається у вхідний патрубок (1). У цьому місці тиск перетворюється на збільшення швидкості потоку, після чого паливо надходить у корпус вихрової камери (2), який має трохи більший діаметр, ніж корпус пристрою (4). У вихровій камері рідина набуває обертового руху і через кільцевий проріз (3) в торцевій стінці корпусу (2) потрапляє у простір між корпусом (4) і циліндричною перегородкою (5), проходячи через канали зовнішнього кавітатора (6).

На виході із зовнішнього кавітатора потік спрямовується на відбивач (8) із вигнутою поверхнею та конусоподібним центральним виступом. У центральній частині відбивача, завдяки вихровому потоку, створюється розрідження, яке забезпечує подачу додаткової рідини або води через вхідний патрубок (9). Відбивач (8) спрямовує суміш компонентів до внутрішнього кавітатора (7).

Пройшовши через канали зіркоподібних пластин внутрішнього кавітатора, суміш рідини піддається змішуванню, диспергуванню та емульгуванню, після чого виходить через вихідний патрубок (11), яким є виступаюча з корпусу (2) частина циліндричної перегородки (5).

Під час руху до виходу частина рідини перетікає через циркуляційні отвори (10) назад у корпус вихрової камери (2), що дозволяє здійснювати повторну обробку для більш ретельного диспергування.

Пристрій для гомогенізації емульсії (рис. 3.3) складається з корпусу (1), який має торцеві кришки (2) і зовнішні елементи (4) секцій, з'єднаних між собою за допомогою болтів (23). У корпусі передбачено два вхідних патрубки (12 і 22), розташованих з обох сторін. Патрубок (22) з'єднаний з вільною порожниною, що виконує роль вхідної камери (3), а патрубок (12) з'єднується з вхідною камерою (11).

Багатосекційний корпус поміщений у кожух (5), всередині якого секції розташовані попарно, спрямовані назустріч одна одній до центральної секції. Кількість таких пар може бути кілька. Секції включають зовнішні елементи

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

(4), на яких закріплені статори (20) з одного боку пристрою та статори (14) з іншого боку. Статори встановлені з можливістю радіального зміщення для забезпечення самоцентрування відносно роторів.

Всередині статорів (20) однієї сторони пристрою розташовані ротори (6), що обертаються на валу (8). У статорах (14) іншої сторони знаходяться ротори (10). Статори (20) і (14) мають конфузори (13), тоді як ротори (6) і (10) обладнані дифузорами (7), причому кількість дифузорів відповідає кількості конфузорів.

Центральна секція містить статор (18) із конфузором (17) і ротор (15) з двостороннім входом, обладнаний дифузором (16). Через отвір у корпусі (1) і кожуху (5) з центральної секції виходить бічний вихідний патрубок (9), який слугує виходом пристрою для гомогенізації.

Вхідні патрубки (12 і 22) з'єднані трубопроводом (21), на якому встановлений регулювальний кран (19).

Принцип роботи гідродинамічного пристрою для гомогенізації емульсії

Оброблювана емульсія подається в один із вхідних патрубків (12 або 22) і надходить у вхідні камери (3 і 11) з обох сторін пристрою. У вхідних камерах емульсія отримує обертальний рух і засмоктується роторами (6 і 10), що діють як відцентрові колеса. Рідина прискорюється та піддається кавітаційній обробці в системах дифузорів (7) роторів і конфузорів (13) статорів, які розташовані в зустрічно-спрямованих секціях.

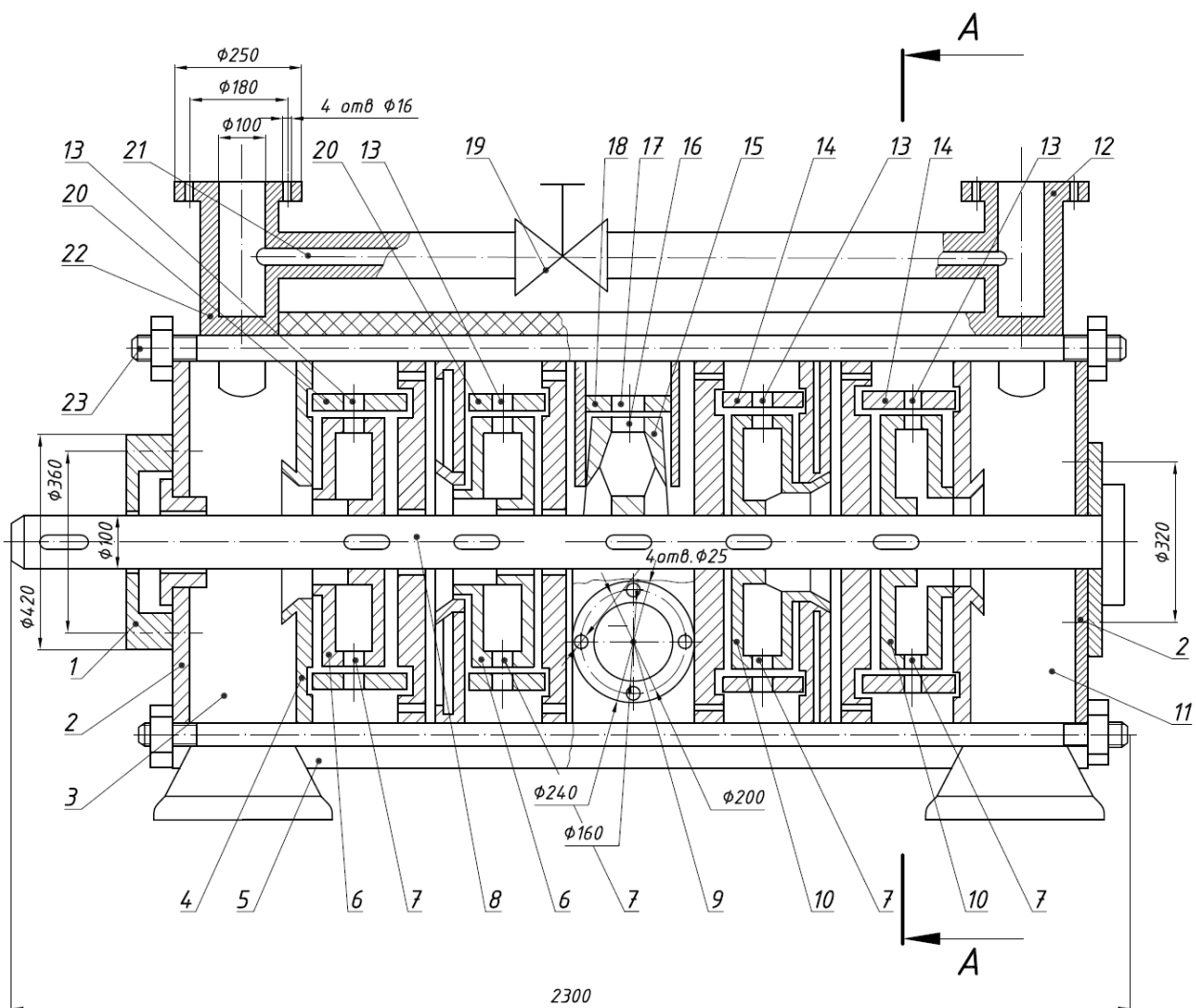
Після обробки в цих секціях емульсія подається до центрального ротора (15) з двох боків. У центральній секції емульсія знову прискорюється, проходить через дифузор (16) і конфузор (17), після чого спрямовується до бічного вихідного патрубка (9).

Кавітаційна обробка, що здійснюється в одній або кількох парах зустрічно-спрямованих секцій і в центральній секції, забезпечує:

Тонке гомогенізування паливної емульсії.

Нагрівання до температури 50–60 °С.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



A-A
(1:2)

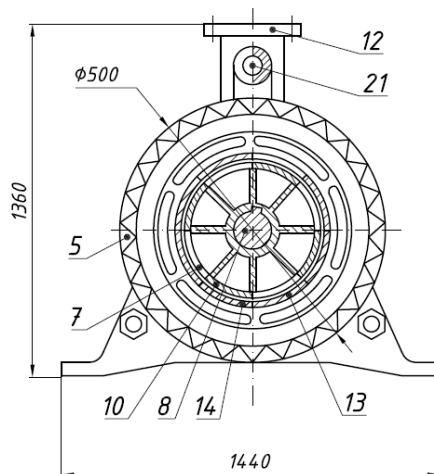


Рисунок 3.3 – Гідродинамічний пристрій

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ

Аркуш

51

Активацію компонентів емульсії, що запобігає її розшаруванню під час тривалого зберігання.

Особливості конструкції та роботи:

Інтенсивна обробка:

Велика кількість дифузорів роторів і конфузорів статорів у кожній секції значно підвищує ефективність обробки емульсії. Рівність кількості дифузорів і конфузорів створює потужні гідродинамічні імпульси з високим градієнтом.

Зустрічно-спрямовані секції:

Забезпечують посилене змішування завдяки зустрічно-спрямованому руху потоків у центральній секції.

Компенсують осьові сили, виключаючи осьовий зсув валу, що підвищує надійність роботи пристрою.

Таким чином, пристрій для гомогенізації забезпечує ефективну обробку паливної емульсії, її рівномірність, тривалу стабільність і підготовку до подальшого використання.

					<i>КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ДВИГУНА

У роботі модернізації піддалася паливна система двигуна, а саме організовано можливість роботи двигуна на суміші палив.

Для розрахунку головними вихідними даними є:

- двигун марки MAN B&W 6S60MC-C вартістю \$ 9,2 млн.;
- питома витрата палива при роботі двигуна на важкому паливі – 177 г/(кВт×год), та питома витрата важкого палива при роботі на водомазутній суміші 172 г/(кВт×год) (розділ 3).

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

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

$$C_n = C_0 - \sum_{i=1}^m C_{0i} + \sum_{j=1}^n C_{nj},$$

де C_0 , C_n – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) \$;

C_{0i} – сумарна ціна агрегатів що підлягають заміні ($C_{0i} = 0$ \$);

C_{nj} – сумарна ціна нових агрегатів та вузлів ($C_{nj} = 300000$ \$);

m – кількість агрегатів СЕУ, що модернізуються (у нашому випадку $m=1,0$);

n – кількість нових агрегатів СЕУ (у нашому випадку $n=1,0$).

Оптова ціна базового двигуна приймається за даними заводу-будівника. У нашому випадку $C_0 = 9200000$ \$;

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$C_n = 9200000 - 0 + 300000 = 9400000\$$$

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

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

$$K_{\partial n} = 300000 \times 1 - 0 \times 1 = 300000\$$$

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

Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції

Вид робіт	Тривалість, людино-години	Вартість нормо-год., \$	Вартість робіт (К _в), \$
Монтаж паливної системи	12	90	1080
Налаштування пристроїв	2	85	170
Випробування двигуна	12	100	1200
Регулювання елементів системи	16	100	1600
Всього	42	-	4050

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

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

$$K_{\partial} = 300000 + 4050 = 304050\$.$$

Витрати на амортизаційні відрахування $B_{ам}$ при порівняльній ефективності визначаються по нормах амортизації (H_A) і беруться в розмірі 20 % від величини додаткових інвестицій K_0 . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_0$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 304050 = 60810 \$.$$

Витрати на паливо-мастильні матеріали, так звані змінні, розраховуються з урахуванням витрат палива на ходу для головного двигуна при 100 % навантаженні. При роботі базового двигуна витрачається тільки важке паливо:

$$B_{нал(Б)} = N \times g_e \times T_e \times B_n$$

де N – потужність двигуна (для базового двигуна при 100% навантаженні – 13530 кВт) (розділ 3);

g_e – питома витрата важкого палива двигуна (для базового двигуна при 100% навантаженні – 0,177 кг/(кВт×год)) (розділ 3);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, год (для базового двигуна – 4000);

B_n – вартість 1 кг палива, \$, (1).

$$B_{нал(Б)} = 13530 \times 0,177 \times 4000 \times 1 = 9579240 \$.$$

При роботі модернізованого двигуна витрачається важке паливо для отримання водо-мазутної суміші:

$$B_{нал(М)} = N \times g_e^I \times T_e \times B_n$$

де g_e^I – питома витрата важкого палива при роботі на водо-мазутній суміші (для модернізованого двигуна при 100% навантаженні – 0,172 кг/(кВт×год)) (розділ 3);

$$B_{нал(М)} = 13530 \times 0,172 \times 4000 \times 1 = 9308640 \$$$

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Додатковий економічний ефект від зменшення витрат палива виникає в результаті економії витрат на його завантаження, контроль, зберігання та роботу паливних насосів для транспортування.

Витрати на мастильні матеріали, \$ рік:

$$B_{mm} = B_{нал} \times 0,2\%$$

$$B_{mm}(B) = B_{нал}(B) \times 0,2\% = 9579240,00 \times 0,2\% = 19158,48 \$$$

$$B_{mm}(M) = B_{нал}(M) \times 0,2\% = 9308640,00 \times 0,2\% = 18617,28 \$.$$

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	—	60810	60810
Витрати на паливо $B_{нал}$	9579240	9308640	270600
Витрати на мастило B_{mm}	19158	18617	541
Всього	9598398	9388067	210331

Загальний балансовий річний прибуток Π_6 розраховують за формулою:

$$E_p = \Delta B - E_n \times K_d$$

$$\Delta B = (B_{нал(B)} + B_{mm(B)}) - (B_{нал(M)} + B_{mm(M)})$$

$$E_p = ((9579240 + 19158) - (9308640 + 18617)) - 0,2 \times 304050 = 210331 \$$$

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

$$\Pi_ч = \Pi_6 - (0,18 \times \Pi_6) = 0,82 \times \Pi_6$$

$$\Pi_ч = 0,82 \times 210331 = 172471,4 \$$$

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

$$T_{OK} = K_{\partial} / \Pi_{\text{ч}}$$

$$T_{OK} = 304050 / 172471,4 = 1,76 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в проекті заходи дозволяють отримати близько 172,47 тис. \$ на рік чистого прибутку в основному, за рахунок економії важкого палива. Термін окупності запропонованих рішень становить 1,76 року або 643 доби.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

Охорона праці на суднах є невід'ємною складовою забезпечення безпеки праці морського персоналу. Нормативно-правова та законодавча база регулює права, обов'язки та відповідальність судновласників, екіпажу й інших зацікавлених сторін, забезпечуючи дотримання міжнародних та національних стандартів у сфері охорони праці [9].

Міжнародне регулювання

1. Конвенція про працю в морському судноплавстві (MLC, 2006)

- Визначає мінімальні стандарти умов праці на суднах.
- Регламентує права моряків на безпечні умови праці, соціальний захист, медичне забезпечення та відпочинок.
- Вимагає регулярного контролю суден щодо відповідності нормам охорони праці.

2. Міжнародна конвенція про охорону людського життя на морі (SOLAS)

- Забезпечує безпеку екіпажу через вимоги до обладнання, конструкції судна та процедур роботи.
- Регулює питання пожежної безпеки, аварійної евакуації та захисту від небезпечних факторів.

3. Міжнародний кодекс з управління безпекою (ISM Code)

- Встановлює вимоги до систем управління безпекою та охороною праці на суднах.
- Зобов'язує судновласників створювати систему управління ризиками, яка включає навчання персоналу та проведення аудитів.

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

					<i>KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Містить норми, що запобігають забрудненню навколишнього середовища, яке може впливати на умови праці моряків.

Національне законодавство

1. Кодекс законів про працю (КЗпП)

- Встановлює загальні вимоги щодо охорони праці працівників, зокрема моряків.

- Передбачає права працівників на безпечні умови праці, компенсації у разі нещасного випадку чи професійного захворювання.

2. Закон про охорону праці

- Регулює обов'язки роботодавців у створенні безпечних умов праці.

- Забезпечує право працівників на отримання інформації про небезпеки, інструктажі та засоби захисту.

3. Галузеві стандарти морського транспорту

- Конкретизують вимоги до суднових екіпажів, включаючи правила роботи з технічним обладнанням, використання засобів захисту, гігієнічні умови праці тощо.

4. Державний нагляд і контроль

- Регулюється через роботу державних органів, які забезпечують відповідність суден вимогам охорони праці, проводять перевірки та аудит судновласників.

Основні аспекти нормативного регулювання охорони праці на суднах

1. Забезпечення безпечних умов праці

- Забезпечення екіпажу відповідними засобами індивідуального захисту.

- Інструктажі та навчання з охорони праці, пожежної безпеки, евакуаційних процедур.

2. Контроль за станом обладнання

- Регулярна перевірка та технічне обслуговування суднових систем.

					<i>KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Встановлення та підтримка засобів колективного захисту.

3. Управління ризиками

- Ідентифікація потенційних небезпек на судні.
- Проведення оцінки ризиків і впровадження заходів для їх мінімізації.

4. Дотримання санітарно-гігієнічних норм

- Забезпечення належних умов проживання, харчування та медичного обслуговування екіпажу.
- Контроль за якістю повітря, води та умовами роботи в замкнених просторах.

5. Реагування на надзвичайні ситуації

- Розробка та тестування планів дій у разі аварій, пожеж, викидів небезпечних речовин.
- Навчання екіпажу швидкому реагуванню на небезпечні ситуації.

Відповідальність судновласників і екіпажу

1. Судновласник

- Несе відповідальність за створення безпечних умов праці, надання засобів захисту, забезпечення інструктажу та навчання.
- Зобов'язаний дотримуватися міжнародних і національних стандартів охорони праці.

2. Екіпаж

- Зобов'язаний виконувати інструкції з охорони праці, дотримуватися правил безпеки, використовувати засоби захисту.
- Повинен негайно повідомляти про виявлені порушення чи небезпечні умови роботи.

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах спрямована на забезпечення безпечних умов праці, зниження ризиків нещасних випадків і захист здоров'я моряків. Дотримання міжнародних стандартів, таких як MLC, SOLAS і ISM Code, у поєднанні з національним законодавством

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

гарантує, що судноплавна діяльність відповідає сучасним вимогам безпеки та охорони праці.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні паливної системи суднового двигуна

Паливна система суднового двигуна є складним технічним вузлом, робота з яким вимагає підвищеної уваги до безпеки. Експлуатація, ремонт і технічне обслуговування цієї системи можуть супроводжуватися впливом шкідливих і небезпечних факторів, які створюють ризики для здоров'я персоналу та загальну безпеку судна [10].

Основні шкідливі фактори

1. Хімічний вплив

- Вплив токсичних випарів і парів палива, зокрема важкого мазуту, які можуть спричиняти отруєння або подразнення дихальних шляхів, слизових оболонок та шкіри.

- Контакт із паливом або його компонентами може викликати алергічні реакції та хімічні опіки.

2. Тепловий вплив

- Підвищена температура палива, особливо в системах із попереднім підігрівом, може спричинити опіки при контакті.

3. Шум та вібрація

- Робота насосів і допоміжного обладнання створює значний шум і вібрацію, які негативно впливають на слух і нервову систему.

4. Висока напруга

- Робота з електричними насосами або іншим обладнанням створює ризик ураження електричним струмом.

5. Наявність шкідливих відкладень

					<i>KPM.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Відкладення на форсунках, клапанах і паливних трубопроводах можуть містити токсичні або корозійні речовини, небезпечні при їх очищенні.

Небезпечні фактори

1. Пожежна безпека

- Паливо є легкозаймистим, особливо за наявності витоків або несправностей у системі.

- Високі температури та тиск у системі створюють ризик загоряння, особливо при несправності паливних насосів чи форсунок.

2. Вибухонебезпека

- Утворення пароповітряної суміші у приміщенні машинного відділення або поблизу паливної системи може призвести до вибуху.

3. Механічні травми

- Ризик травм через неправильну експлуатацію обладнання, падіння важких деталей, заклинювання насосів або раптовий вихід палива під високим тиском.

4. Тиск у системі

- Високий тиск у паливній системі створює ризик гідравлічного удару, що може пошкодити обладнання та травмувати персонал.

5. Обмежений простір

- Технічне обслуговування часто проводиться у замкнених або погано вентильованих приміщеннях, що підвищує ризик отруєння та погіршує умови евакуації у разі аварії.

Заходи щодо мінімізації шкідливих та небезпечних факторів

1. Організаційні заходи

- Проведення регулярного інструктажу та навчання персоналу з питань охорони праці.

- Використання перевірених інструментів та обладнання, відповідних технічним стандартам.

- Розробка й тестування аварійних планів реагування.

					<i>КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. Технічні заходи

- Своєчасна перевірка і ремонт паливної системи для запобігання витокам і несправностям.
- Оснащення системи датчиками контролю температури, тиску та витоків палива.
- Забезпечення ефективної вентиляції у приміщеннях, де проводяться роботи.

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Використання респіраторів для захисту від токсичних парів.
- Застосування термостійких рукавичок, захисних окулярів і спеціального одягу.
- Використання засобів захисту слуху (навушників або вушних вставок) для роботи в умовах шуму.

4. Контроль навколишнього середовища

- Постійний моніторинг рівня кисню, парів палива та інших небезпечних газів у робочій зоні.
- Використання вибухозахищеного обладнання для роботи в пожежо- та вибухонебезпечних умовах.

Рекомендації з безпечної роботи

- Перед початком робіт обов'язково провести перевірку системи на герметичність і справність.
- Дотримуватися технологічних процедур при знятті тиску перед відкриттям будь-яких елементів системи.
- Заборонено використовувати відкритий вогонь поблизу паливної системи.
- У разі виникнення витоків оперативно ліквідувати несправність і забезпечити вентиляцію приміщення.

Робота з паливною системою суднового двигуна супроводжується численними шкідливими та небезпечними факторами. Для мінімізації ризиків

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

необхідно дотримуватися вимог техніки безпеки, використовувати засоби індивідуального захисту, проводити регулярний моніторинг стану системи й організовувати навчання персоналу. Такий підхід дозволить забезпечити безпечні умови праці та уникнути аварійних ситуацій.

					<i>КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної роботи було проаналізовано конструктивні особливості двотактного малообертового двигуна MAN B&W 6S60MC-C, проведено аналіз сучасних напрямків використання палив у суднових двигунів. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що одним з перспективних способів є використання водомазутної суміші. Це дозволяє покращити не тільки економічні, але і екологічні показники двигуна. Розрахунки робочого процесу двигуна підтвердили доцільність такої модернізації.

Також були розглянуті основні проблеми виготовлення на судні паливної суміші та заходи по забезпеченню безпеки. Була модернізована паливна система двигуна та запропонована технологічна схема виготовлення водомазутної суміші.

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

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження.

					КРМ.142.6222м.24.15.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2008. The Royal Institution of Naval Architects, 2008. pp. 65 - 66.
2. MAN 6S60MC-C. Project guide, 2015. 238 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.24.15.00.ПЗ</i>	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		