

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

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

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


« ____ » _____ 2024 р.

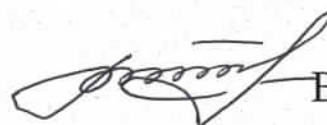
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФОРСУНОК ГОЛОВНОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти



Андрій ЮРКОВСЬКИЙ

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

Юрковський Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення конструкції форсунок головного малообертового двигуна

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – Wärtsilä 6RT-flex50; паливо – дизельне;
потужність двигуна – 9960 кВт, частота обертання колінчастого валу – 124 хв⁻¹

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

Застосування двигуна Wärtsilä 6RT-flex50 на танкері "DUBAI STAR"; Визначення напрямків вдосконалення паливних форсунок малообертових двигунів; Вдосконалення паливної форсунки двигуна Wärtsilä 6RT-flex50; Забезпечення вимог охорони праці; Особливості технічного обслуговування турбокомпресора

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Машинне відділення танкера "DUBAI STAR"; Поперечний переріз двигуна Wärtsilä
6RT-flex50; Схема паливної системи високого тиску; Паливна форсунка; Технічне
обслуговування турбокомпресора

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)

Андрій ЮРКОВСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Василь НАЛИВАЙКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення паливної економічності двигуна шляхом вдосконалення паливних форсунок. Розглянуто питання технічного обслуговування турбокомпресора. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 68 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: малообертовий двигун, важке паливо, форсунка, розпилювач.

The qualification work presents a set of measures to improving the fuel efficiency of the engine by improving the fuel injectors. The issues of turbocharger maintenance are considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 68 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: low-speed engine, heavy fuel, injector, nozzle.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна Wärtsilä 6RT-flex50 на танкері "DUBAI STAR".....	5
Розділ 2. Визначення напрямків вдосконалення паливних форсунок малообертових двигунів.....	16
Розділ 3. Вдосконалення паливної форсунки двигуна Wärtsilä 6RT-flex50.....	35
Розділ 4. Особливості технічного обслуговування турбокомпресора.....	48
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	56
Висновки.....	62
Список використаної літератури.....	63
Додаток А. Машинне відділення танкера "DUBAI STAR".....	64
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна Wärtsilä 6RT-flex50.....	65
Додаток В. Схема паливної системи високого тиску.....	66
Додаток Г. Паливна форсунка.....	67
Додаток Д. Технічне обслуговування турбокомпресора.....	68

ВСТУП

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

Мета даної роботи – розробити умови по поліпшенню параметрів роботи паливної системи двигуна танкера "DUBAI STAR" шляхом вдосконалення форсунок.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проведення комплексного аналізу конструкцій форсунок, які встановлені в малообертових двигунах.
2. Вдосконалення конструкції форсунок.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – форсунка.

Предмет дослідження – параметри роботи форсунки.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА WÄRTSILÄ 6RT-FLEX50 НА ТАНКЕРІ "DUBAI STAR"

Мало хто з сучасних суднобудівників може досягти успіху за такий короткий час, як компанія SPP Shipbuilding, що базується в Тоньйоні. Заснована в 1997 році як виробник кранів, компанія перейшла до суднобудування лише три роки тому, коли почала виготовляти модулі для сусідніх верфей. Перший контракт на будівництво нового судна було отримано в 2005 році, але до поточного року (2007) вже було поставлено вісім кораблів і виграно ще 120 контрактів. Ще одним свідченням успіху компанії є нещодавнє відкриття другої, абсолютно нової верфі в сусідньому місті Сачхон, що спеціалізується на будівництві нафтових/хімічних танкерів дедвейтом 50000, 74000 та 11 000 тон, а також балкерів дедвейтом 35000, 59000 та 81000 тонн.

DUBAI STAR (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) [1] з максимальною дедвейтом 50100 тон є другим з двох танкерів найменшого з трьох стандартних типів танкерів у портфоліо верфі. Танкер має одну палубу з форштевнем і надбудовою в кормовій частині, де розміщені житлові приміщення і рульова рубка. Над машинним відділенням розміщено головний двигун Wärtsilä 6RT-flex50, побудований хорватським ліцензіатом. Двигун розвиває потужність 9960 кВт при 124 об/хв, що забезпечує швидкість 14,9 вузлів при 90% MCR з 15% морським запасом. Електропостачання здійснюється від трьох дизельних генераторів Yanmar/Taiyo потужністю 900 кВт, а пара виробляється в мазутному котлі продуктивністю 18000 кг/год і композитному агрегаті продуктивністю 1200 кг/год.

Корпус судна має подвійну обшивку з центрально розділеним днищем, з'єднаним з бічними цистернами, що утворюють Г-подібні водяні баластні цистерни.

					<i>KPM.142.6222м.24.18.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Танкер «DUBAI STAR»

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

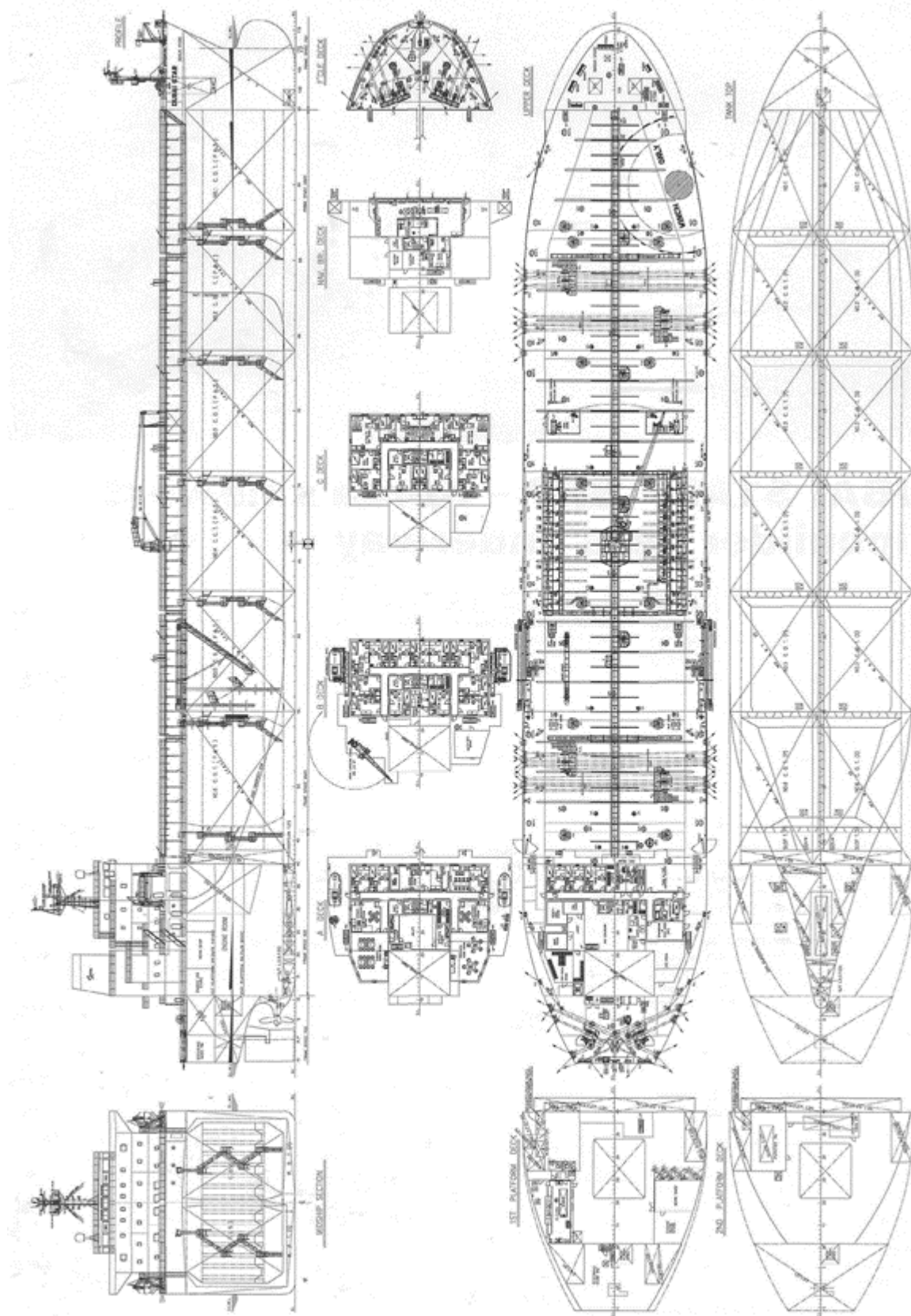


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд танкера «DUBAI STAR»

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ

Аркуш

7

Вантажний простір розділений на шість пар танків, утворених хвилястими центральними і поперечними перебірками. Завдяки бічній жорсткості в подвійному просторі корпусу і палубним балкам, встановленим ззовні, внутрішня поверхня судна є гладкою. Вона покрита чистою епоксидною смолою Sigma для захисту від більш ніж 2840 вантажів, які можуть перевозитися, включаючи гідроксид натрію, нафтопродукти, сиру нафту, пальмову олію, рослинні олії, м'ясо і хімічні вантажі в діапазоні ІМО Type III.

Перевалка вантажів здійснюється 12 гідравлічними зануреними насосами продуктивністю 600 м³/год фірми Frank Mohn (Framo) і двома аналогічними агрегатами продуктивністю 300 м³/год, встановленими в трюмах для шламу. Водний баласт обробляється 2 гідравлічними насосами продуктивністю 750 м³/год. Кожен баластний танк має переливну лінію для заміни баласту, яка управляється проточним методом за допомогою автоматичної системи дистанційного керування клапанами.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	183,00
Довжина між перпендикулярами, м	174,00
Ширина, м	32,00
Проектна осадка, м	11,00
Дедвейт, т	50100
Швидкість судна, вуз	14,90
Повна водотоннажність судна, т	60640
Об'єм баластних цистерн, м ³	24150
Об'єм цистерн важкого палива, м ³	1560
Об'єм цистерн дизельного палива, м ³	180

Опис двигуна Wärtsilä 6RT-flex50

Щоб відповідати вимогам ринку суднобудування, компанія розробила 6 модифікацій двигунів на основі базової моделі RTA. Вони відрізняються розмірами, маючи діаметри циліндрів від 48 до 96 см і частоту обертів від 67 до 127 хв⁻¹. Щоб уникнути зниження циліндричної потужності при зменшенні обертів, компанія збільшила хід поршня, що призвело до зростання співвідношення S/D: з 2,9 (RTA) до 3,45 (RTA M і RTA I), 3,75 (RTA T) і 4,17 (RTA T з діаметрами 48 і 58 см). Збільшення ходу поршня не тільки підвищило робочий об'єм циліндра, але й покращило процес сумішоутворення в камері згоряння, що сприяло зменшенню витрати палива [2].

Остов двигуна складається з литої чавунної фундаментної рами гондольного типу, зварних колон, виготовлених окремо для кожного циліндра, та індивідуальних литих чавунних сорочок циліндрів. Колони з'єднуються між собою болтами, а сорочки утворюють жорсткий блок завдяки болтовим з'єднанням. Розтягувальні зусилля компенсуються анкерними зв'язками. У фундаментну раму вбудовано упорний підшипник сегментного типу.

Колінчастий вал складається з поковок, які включають мотильову шийку та дві щоки, в які запресовані рамні шийки. Вкладиші рамних підшипників виготовлені зі спеціального металу, а крейцкопфні підшипники оснащені тонкостінними вкладишами, залитими білим металом. Підшипники змащуються під тиском, що забезпечує їх роботу в умовах гідростатичного тертя, повністю виключаючи контакт металу шийки з підшипником.

Сальники штоків поршня дозволяють значно знизити втрати циркуляційного масла, які в середньому становлять 5–15 літрів на циліндр за добу (залежно від розмірів двигуна та режиму роботи). Вони також запобігають забрудненню циркуляційного масла відпрацьованим циліндровим маслом, яке стікає з підпоршневого простору.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

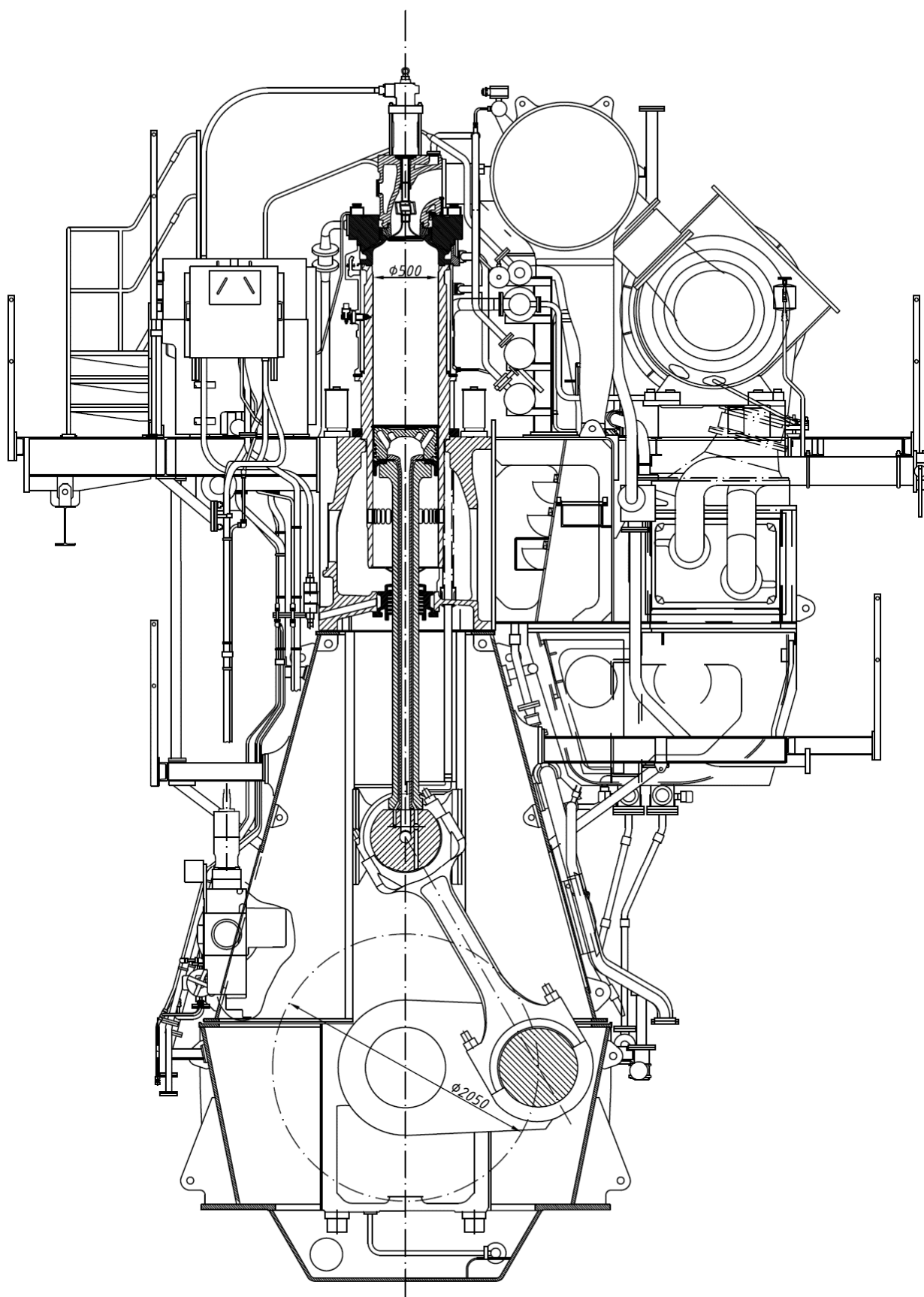


Рисунок 1.3 – Поперечний переріз Wärtsilä 6RT-flex50

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6222м.24.18.00.ПЗ

Аркуш

10

Камера згоряння в сучасному високофорсованому двигуні є ключовим елементом, що визначає його надійність. Принцип охолодження за допомогою свердлінь у компонентах, які формують камеру і витримують основні теплові потоки, успішно застосовувався в попередніх моделях і, після вдосконалення, був впроваджений у двигунах серії RTA. Оптимізація перерізів отворів та використання теплоізоляції на окремих ділянках забезпечують контроль температур, зменшують термічні напруження та знижують навантаження від механічних впливів.

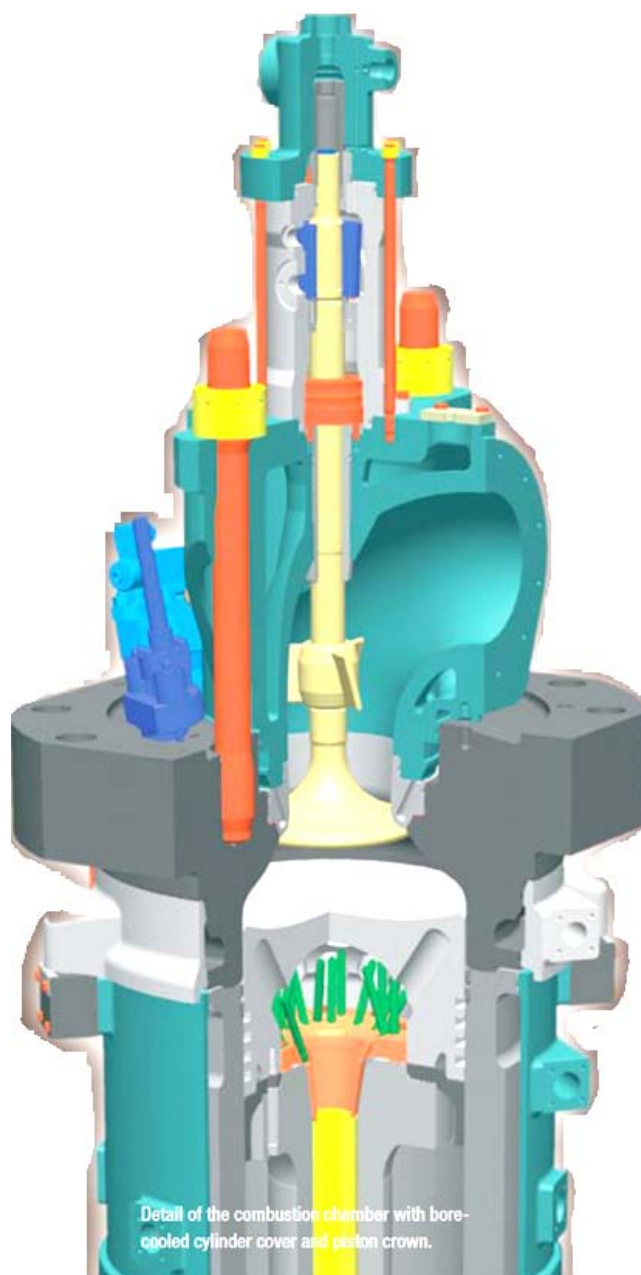


Рисунок 1.4 – Розріз циліндру двигуна

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Сталева кришка блоку кріпиться за допомогою восьми еластичних шпильок. У центрі кришки розташований вихлопний клапан, встановлений в окремому корпусі, виготовленому з жаростійкого сплаву Німонік 80А, який має антикорозійні властивості. Температура клапана в зоні ущільнювального конуса і сідла не перевищує 450 °С, що запобігає високотемпературній натрій-ванадієвій корозії.

На штоку клапана встановлений імпеллер, який обертається під дією газових потоків, забезпечуючи рівномірний розподіл температур і чистоту поверхні клапана. Відкриття клапана здійснюється за допомогою гідравлічного актуатора. Для повернення клапана в закрите положення використовується пневматична пружина, яка замінила спіральну пружину, що часто ламалася через вібрації. Пневматична пружина разом із гідравлічним актуатором забезпечує плавну посадку клапана в сідло, що значно покращує стан посадкового пояса.

У двигунах серії RTA-T для підвищення економічності та поліпшення умов згоряння палива при роботі з навантаженням менше 50% збільшується ступінь стиснення в циліндрах. Це досягається шляхом більш раннього закриття вихлопного клапана, що забезпечує раніше початок стиснення повітря.

Циліндро-поршнева група

Тривалість періоду між мотоочистками в сучасних малообертових двигунах значною мірою залежить від стану робочої поверхні поршня та її впливу на знос поршневих кілець і втулок циліндрів. У зв'язку з цим компанія Sulzer розробила і впровадила в двигуни серії RTA комплекс трибологічних заходів, що включає:

- дворівневу подачу масла на дзеркало циліндра;
- ретельну обробку втулок із глибоким хонінгуванням по всій їх довжині;

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- теплоізоляцію втулок у середній частині ходу поршня та встановлення ізольованих трубок у свердління верхньої частини втулок;
- попереднє профілювання поршневих кілець;
- хромо-керамічне покриття верхніх кілець;
- обкатне покриття інших кілець;
- установку антиполірувального кільця у верхній частині втулок;
- збільшення товщини хромового покриття канавок поршневих кілець.

Головним елементом цього комплексу є глибоке хонінгування, яке створює оптимальну мікроструктуру та ідеальний стан поверхні втулок для роботи поршневих кілець.

Антиполірувальне кільце, встановлене на втулці, запобігає відкладенню нагару на верхній частині головки поршня, що може руйнувати масляну плівку на втулці та сприяти поліруванню циліндра.

Особливо важливим є забезпечення температури робочої поверхні втулки на рівні, що перевищує точку конденсації водяної пари. Інакше виникає холодна (сірчиста) корозія, яка спричиняє інтенсивний знос. Теплоізоляція втулок у середній частині та встановлення ізольованих трубок у свердління верхньої частини дозволяють підвищити температуру до рівня, що виключає конденсацію. Додатково, для запобігання конденсації вологи в циліндрах, після повітроохолоджувача встановлюється вискоефективний лопатевий водосепаратор.

Багаторівнева система змащення циліндрів акумуляторного типу забезпечує необхідну товщину масляної плівки на всьому ході поршня, з автоматичним регулюванням подачі масла залежно від навантаження двигуна. Це дозволяє значно знизити витрату масла, яка становить 1,4 г/(кВт·год).

Знос циліндрів у двигунах RTA становить 0,1 мм/1000 годин, а поршневих кілець — менше 0,4 мм/1000 годин. Завдяки низькому зносу та

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

високій надійності двигуни серії RTA можуть працювати без мотоочисток протягом трьох років.

Головки поршнів двигунів серій RTA 48 і 50 охолоджуються маслом, яке подається в шток поршня, а звідти надходить до сопел, вбудованих у головку. Через ці сопла струмені масла спрямовуються в спеціальні свердління головки. Відтік масла з головки відбувається через трубу, інтегровану в шток поршня.

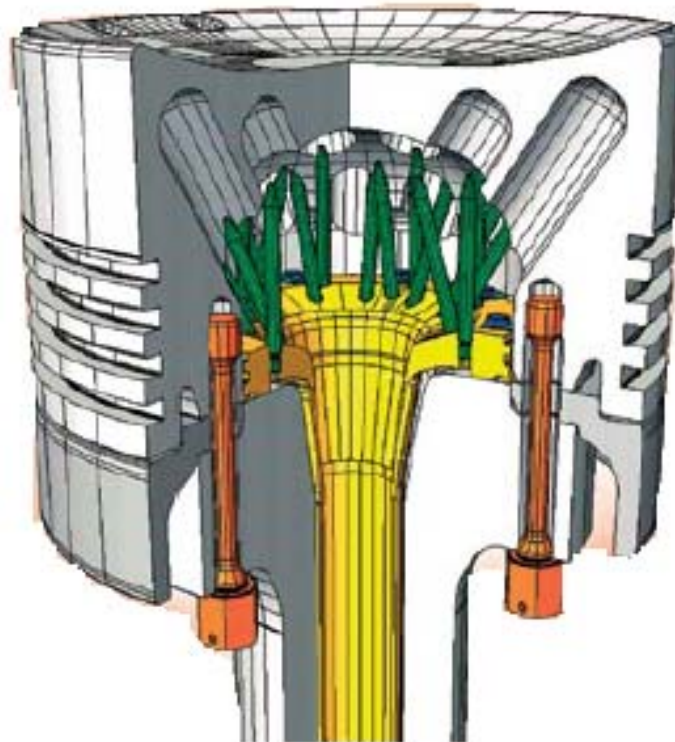


Рисунок 1.5 – Поршень

Особливу увагу було приділено підвищенню надійності та довговічності поршневих кілець. Верхнє кільце має зносостійке хромо-керамічне покриття та заздалегідь визначений профіль робочої поверхні. Інші кільця також попередньо профільовані та покриті спеціальним матеріалом, що запобігає утворенню задирів під час обкатки.

Колінчастий вал складається з двох частин і включає інтегровані шатунні шийки-щоки, виготовлені з цільнокованих злитків, та корінні шийки,

які запресовуються в щоки. Кожен корінний підшипник фіксується за допомогою еластичних штифтів.



Рисунок 1.6 – Колінчастий вал

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ

Сучасні форсунки, що застосовуються в малообертових суднових двигунах, є критично важливими компонентами, від яких залежить ефективність роботи двигуна, економічність, надійність та екологічні характеристики. Їх конструкція постійно вдосконалюється відповідно до зростаючих вимог суднобудівного ринку.

Основні вимоги до форсунок малообертових двигунів

1. Точність дозування палива

Форсунки повинні забезпечувати точне і стабільне дозування палива на всіх режимах роботи двигуна. Невідповідність у кількості впорскуваного палива може призвести до нерівномірного згоряння, зниження потужності, підвищеного зносу деталей і збільшення викидів шкідливих речовин.

2. Якість розпилювання

Рівномірне та дрібнодисперсне розпилювання палива сприяє його повному змішуванню з повітрям у камері згоряння. Це забезпечує ефективне згоряння, мінімізує утворення сажі та підвищує економічність двигуна.

3. Зносостійкість

Форсунки повинні бути стійкими до зносу, який виникає через постійний контакт з агресивним середовищем і високотемпературними потоками. Для цього використовуються матеріали та покриття з високими антикорозійними та зносостійкими властивостями, такі як хромовані або керамічні поверхні.

4. Стійкість до високих температур і тиску

Малообертові двигуни працюють у важких умовах, де температура і тиск у камері згоряння досягають екстремальних значень. Форсунки повинні витримувати ці навантаження без втрати функціональності та герметичності.

					<i>KPM.142.6222m.24.18.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5. Адаптація до важких видів палива

Сучасні малообертові двигуни часто використовують мазут або інші важкі види палива. Форсунки повинні бути пристосовані до роботи з паливом високої в'язкості, стійкі до утворення відкладень і здатні забезпечувати стабільну подачу за умов зниженого очищення палива.

6. Простота обслуговування

Форсунки мають бути легкодоступними для очищення, ремонту та заміни. Це особливо важливо в суднових умовах, де технічне обслуговування повинно виконуватися швидко і без значних витрат часу.

7. Регульованість і універсальність

Сучасні форсунки повинні мати можливість автоматичного або ручного налаштування під різні режими роботи двигуна. Це дозволяє оптимізувати впорскування залежно від навантаження, типу палива та експлуатаційних умов.

8. Довговічність і надійність

Форсунки повинні мати тривалий термін служби, працюючи в умовах інтенсивного використання без зниження продуктивності. Висока надійність є критично важливою, оскільки відмова форсунки може призвести до серйозних несправностей двигуна.

9. Екологічність

Сучасні екологічні стандарти вимагають зниження рівня шкідливих викидів. Форсунки повинні забезпечувати оптимальне згоряння, зменшуючи кількість незгорілого палива, оксидів азоту (NOx) і часток сажі в вихлопних газах.

10. Інноваційність

Сучасні форсунки для малообертових двигунів інтегруються з системами електронного керування, що дозволяє автоматизувати і оптимізувати процес впорскування залежно від реальних умов експлуатації.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Особливості форсунок для малообертових двигунів

Робота з важким паливом

Однією з ключових особливостей форсунок для малообертових двигунів є їх здатність працювати з важкими видами палива, такими як мазут або інші залишкові паливні суміші. Це паливо відрізняється високою в'язкістю, низькою якістю очищення, вмістом сірки, металів та інших домішок, що створює специфічні вимоги до конструкції та експлуатації форсунок.

1. Висока в'язкість палива

Важке паливо потребує спеціальної підготовки перед подачею у форсунки. Для зниження в'язкості воно нагрівається до високої температури. Форсунки повинні бути пристосовані до впорскування такого палива, забезпечуючи рівномірне розпилювання без втрати точності дозування.

2. Стійкість до відкладень

Через наявність у важкому паливі домішок, таких як зола, метали (ванадій, натрій) і залишкові продукти нафти, форсунки схильні до утворення відкладень у соплах та на внутрішніх поверхнях. Для запобігання цьому використовуються високоякісні матеріали та спеціальні покриття, наприклад, хромо-керамічні або керамічні, які забезпечують зносостійкість і захист від корозії.

3. Ефективне розпилювання

Незважаючи на складність роботи з важким паливом, форсунки повинні забезпечувати його якісне розпилювання для створення однорідної паливно-повітряної суміші. Це досягається за рахунок багатоканальних сопел і точного регулювання подачі палива.

4. Стійкість до високих температур і корозії

В процесі роботи форсунки контактують із паливом, яке має високий вміст сірки. Це призводить до ризику сірчаної корозії, особливо за умов низьких температур, коли може конденсуватися водяна пара. Тому сучасні

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

форсунки виготовляються із жаростійких сплавів і оснащуються додатковою термоізоляцією для запобігання корозійним пошкодженням.

5. Автоматичне регулювання

Сучасні форсунки оснащуються системами автоматичного керування, які адаптують подачу палива залежно від його типу, в'язкості та режиму роботи двигуна. Це дозволяє зберігати високу ефективність згоряння навіть при зміні якості палива.

6. Простота обслуговування

Робота з важким паливом вимагає регулярного очищення форсунок від відкладень і забруднень. Конструкція форсунок малообертових двигунів розроблена так, щоб забезпечити легкий доступ до компонентів для очищення та заміни.

7. Зменшення шкідливих впливів

Використання важкого палива створює додаткове навантаження на екологію через високий рівень викидів сірчаних і азотистих сполук. Форсунки мають забезпечувати оптимальне згоряння палива, щоб мінімізувати ці викиди, відповідно до сучасних екологічних стандартів.

Робота з важким паливом вимагає від форсунок малообертових двигунів високої надійності, термостійкості та точності. Сучасні інженерні рішення дозволяють розробляти форсунки, здатні ефективно впоратися з цими викликами, забезпечуючи стабільну роботу двигуна, економію палива і відповідність екологічним нормам.

Низька частота обертів двигуна

Малообертові двигуни, які зазвичай працюють на швидкостях обертання 60–120 об/хв, мають унікальні особливості, що впливають на конструкцію та функціонування їхніх форсунок. Низька частота обертів створює специфічні умови для впорскування палива, які форсунки повинні враховувати для забезпечення ефективної роботи двигуна.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1. Тривалий цикл згоряння

Через низьку частоту обертів тривалість робочого циклу двигуна збільшується, що дає більше часу для впорскування палива, його розпилювання та змішування з повітрям. Форсунки повинні бути налаштовані на точне дозування палива протягом цього тривалого періоду, щоб забезпечити рівномірне та повне згоряння.

2. Оптимізація впорскування

У малообертових двигунах ключовим завданням форсунок є створення однорідної паливно-повітряної суміші. Для цього форсунки мають забезпечувати тонке і рівномірне розпилювання палива, навіть при низькій швидкості впорскування, що характерно для таких двигунів.

3. Зменшення ударних навантажень

На низьких обертах знижується частота виникнення механічних навантажень, однак форсунки повинні працювати плавно, щоб уникати різких стрибків тиску і зменшувати зношування компонентів. Це досягається за рахунок точного регулювання процесу впорскування.

4. Робота з високим об'ємом палива

Малообертові двигуни зазвичай мають великі робочі об'єми, що потребує впорскування значної кількості палива. Форсунки повинні мати збільшену пропускну здатність і одночасно зберігати високу точність подачі.

5. Енергоефективність

Через тривалий цикл згоряння малообертові двигуни забезпечують кращу теплову ефективність, але тільки за умови правильного впорскування палива. Форсунки мають забезпечувати економічність, сприяючи мінімальній витраті палива та максимальному коефіцієнту корисної дії двигуна.

6. Підвищені вимоги до міцності

На низьких обертах двигун створює високі тиск і температуру в камері згоряння. Форсунки повинні бути виготовлені з матеріалів, які витримують такі умови, забезпечуючи надійність і тривалий термін служби.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

7. Адаптація до різних режимів

Малообертові двигуни можуть працювати в широкому діапазоні навантажень, що вимагає від форсунок здатності адаптувати процес впорскування до змін режиму роботи. Сучасні форсунки оснащуються електронними системами керування, які забезпечують точне регулювання впорскування залежно від навантаження.

8. Мінімізація викидів

Низька частота обертів сприяє зменшенню кількості незгорілого палива в вихлопних газах, але для досягнення цього форсунки мають забезпечувати точне дозування та рівномірність розподілу палива. Це сприяє зниженню викидів шкідливих речовин і відповідності екологічним стандартам.

Особливість роботи форсунок у малообертових двигунах обумовлена тривалим циклом згоряння, великими об'ємами палива та високими вимогами до точності впорскування. Форсунки мають бути адаптовані для ефективної роботи в умовах низьких обертів, забезпечуючи економічність, надійність та екологічність роботи двигуна.

Високі температури та тиск

Малообертові двигуни, які використовуються в судноплавстві, працюють у жорстких умовах високих температур і тиску в камері згоряння. Ці параметри безпосередньо впливають на конструкцію, матеріали і функціональність форсунок, які є ключовими елементами паливної системи.

1. Стійкість до екстремальних температур

Температура в камері згоряння сучасних малообертових двигунів може досягати 1500–2000 °С. Форсунки повинні бути виготовлені з жаростійких матеріалів, таких як спеціальні сталі або сплави, здатні витримувати такі умови без деформацій і втрати механічних властивостей. Додатково застосовуються термостійкі покриття, наприклад, хромо-керамічні, для захисту від термічного зносу.

2. Робота під високим тиском

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Високий тиск у паливній системі (до 2000 бар і більше) необхідний для точного розпилювання палива в камері згоряння. Форсунки повинні забезпечувати стабільну роботу під таким тиском, не допускаючи витоків і зберігаючи герметичність. Це досягається завдяки використанню міцних матеріалів, прецизійного виготовлення компонентів і високоякісних ущільнень.

3. Запобігання термічним деформаціям

Через постійний вплив високих температур і тиску форсунки піддаються значним механічним і термічним напруженням. Для запобігання деформаціям і зносу застосовуються конструктивні рішення, такі як теплоізоляція, і використання матеріалів із низьким коефіцієнтом теплового розширення.

4. Захист від корозії

Високі температури і вміст сірки в паливі створюють умови для сірчаної корозії компонентів форсунки. Для запобігання цьому використовуються антикорозійні матеріали та покриття, такі як нікелеві сплави або керамічні захисні шари.

5. Підтримання точності розпилювання

Незважаючи на високий тиск і температуру, форсунки повинні забезпечувати рівномірне розпилювання палива в камері згоряння. Для цього використовується багатоканальна конструкція сопел із точною геометрією, яка дозволяє створити дрібнодисперсні краплі палива навіть у найскладніших умовах.

6. Забезпечення довговічності

Екстремальні умови роботи скорочують термін служби форсунок, якщо не використовувати зносостійкі матеріали і технології. Сучасні форсунки виготовляються із застосуванням інноваційних технологій, таких як поверхнева обробка, хромування та використання керамічних покриттів, що значно підвищують їх довговічність.

7. Адаптація до різних режимів роботи

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В умовах змінного навантаження двигуна температура і тиск у камері згоряння можуть значно коливатися. Форсунки мають бути здатними адаптуватися до таких змін, забезпечуючи стабільну подачу палива і збереження ефективності згоряння.

8. Ефективне охолодження

Для збереження працездатності форсунок при високих температурах застосовуються системи охолодження. Найпоширеніші рішення включають охолодження маслом або водою через канали в корпусі форсунки.

Високі температури та тиск у малообертових двигунах створюють серйозні виклики для конструкції форсунок. Завдяки використанню високотехнологічних матеріалів, спеціальних покриттів і вдосконалених конструктивних рішень, сучасні форсунки здатні витримувати ці умови, забезпечуючи ефективність, надійність і довговічність роботи двигуна.

Висока точність розпилювання

Однією з найважливіших особливостей форсунок для малообертових двигунів є забезпечення високої точності розпилювання палива. Ця характеристика критично впливає на ефективність згоряння, економічність двигуна і дотримання екологічних стандартів. Розпилювання палива повинно бути настільки точним і рівномірним, щоб забезпечити створення однорідної паливно-повітряної суміші навіть за умов низьких обертів і роботи з важким паливом.

1. Рівномірність і тонкодисперсність крапель

Форсунки повинні створювати дрібнодисперсні краплі палива, які швидко випаровуються і рівномірно змішуються з повітрям у камері згоряння. Це сприяє повному згорянню палива, мінімізує утворення сажі та підвищує економічність двигуна.

2. Точність дозування

Висока точність розпилювання забезпечується за рахунок чіткого дозування палива, що подається в камеру згоряння. Форсунки малообертових

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

двигунів оснащуються багатоканальними соплами, які рівномірно розподіляють паливо по всьому об'єму камери.

3. Адаптація до змінних режимів роботи

Малообертові двигуни працюють у широкому діапазоні навантажень, що змінює обсяг впорскуваного палива. Форсунки повинні адаптувати процес розпилювання залежно від режиму роботи, зберігаючи рівномірність і точність подачі палива.

4. Стійкість до важкого палива

Робота з важким паливом, таким як мазут, ускладнює процес розпилювання через його високу в'язкість. Форсунки для малообертових двигунів мають спеціальні конструктивні особливості, які дозволяють забезпечувати якісне розпилювання навіть за таких умов. Це досягається завдяки підвищеному тиску впорскування та оптимальній геометрії сопел.

5. Зниження шкідливих викидів

Точне розпилювання палива сприяє його повному згорянню, що знижує кількість незгорілих компонентів і, відповідно, шкідливих викидів, таких як оксиди азоту, сажа та вуглекислий газ. Ця особливість особливо важлива для відповідності сучасним екологічним стандартам у судноплавстві.

6. Технологічні рішення для підвищення точності

Сучасні форсунки оснащуються багатоканальними розпилювачами, які розроблені для максимально рівномірного розпилювання. Використовуються матеріали з високою зносостійкістю, що забезпечує стабільну якість розпилювання навіть після тривалого періоду експлуатації.

7. Підтримка високого тиску впорскування

Точність розпилювання забезпечується високим тиском у системі впорскування, що дозволяє створювати тонкодисперсні краплі палива. Форсунки для малообертових двигунів можуть працювати з тиском до 2000 бар і більше, що дозволяє ефективно впорскувати навіть важке паливо.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

8. Тривалий термін служби

Висока точність розпилювання повинна зберігатися протягом тривалого терміну експлуатації. Для цього форсунки виготовляються з міцних матеріалів, стійких до зносу, корозії та термічних деформацій.

Висока точність розпилювання палива є однією з ключових особливостей форсунок для малообертових двигунів. Завдяки рівномірному розподілу палива, адаптації до змінних режимів роботи та використанню інноваційних технологій, форсунки забезпечують ефективність і надійність двигуна, сприяючи економії палива та дотриманню екологічних стандартів.

Самоочищення і запобігання відкладенням

Форсунки для малообертових двигунів працюють у складних умовах, пов'язаних із використанням важкого палива, високими температурами та тиском. У таких умовах утворення відкладень на соплах і внутрішніх компонентах форсунок є поширеною проблемою, яка може впливати на точність подачі палива, ефективність згоряння та тривалість експлуатації форсунок. Самоочищення і заходи для запобігання відкладенням є важливими конструктивними особливостями, які підвищують надійність і продуктивність цих компонентів.

1. Джерела відкладень

Важке паливо: Мазут та інші залишкові види палива містять велику кількість домішок, таких як зола, сірка, ванадій та натрій. Вони сприяють утворенню лаків, сажі і відкладень на соплах.

Неповне згоряння: При нерівномірному розпилюванні або недостатньому змішуванні з повітрям паливо може згоряти не повністю, утворюючи смоли і кокс.

Високі температури: Тривала дія високих температур у камері згоряння сприяє утворенню твердих відкладень.

2. Технології самоочищення

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сучасні форсунки для малообертових двигунів оснащуються системами самоочищення, які допомагають зменшити або повністю усунути відкладення:

Динамічне очищення: Потоки палива під високим тиском очищають сопла від відкладень у процесі роботи.

Ротаційні механізми: Деякі форсунки оснащуються обертовими деталями, які запобігають утворенню відкладень на робочих поверхнях.

Використання імпеллерів: Потік газів у камері згоряння може приводити в дію імпеллер, що сприяє рівномірному очищенню сопел.

3. Захисні покриття

Форсунки часто покриваються спеціальними матеріалами, які запобігають утворенню відкладень:

Керамічні покриття: Стійкі до високих температур і агресивних домішок у паливі.

Хромо-керамічне покриття: Забезпечує додатковий захист від корозії та зменшує утворення відкладень.

Антиадгезійні покриття: Запобігають налипанню смол та інших забруднень.

4. Оптимізація конструкції сопел

Багатоканальні сопла: Рівномірний розподіл палива зменшує ризик локального утворення відкладень.

Поліровані внутрішні поверхні: Знижують адгезію часток, запобігаючи утворенню відкладень.

Збільшений діаметр сопел: Зменшує можливість засмічення і забезпечує стабільну роботу навіть із паливом низької якості.

5. Запобігання відкладенням на етапі підготовки палива

Системи очищення палива перед його подачею у форсунки сприяють зменшенню утворення відкладень:

Сепаратори: Видаляють домішки з палива.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Фільтри тонкого очищення: Забезпечують чистоту палива, що надходить у форсунки.

6. Експлуатаційні переваги

Зменшення обслуговування: Системи самоочищення знижують необхідність ручного очищення і простоїв для ремонту.

Підвищення ефективності: Запобігання відкладенням забезпечує стабільну роботу форсунок і рівномірне впорскування палива.

Продовження терміну служби: Захист від відкладень зменшує знос компонентів і забезпечує триваліший термін експлуатації форсунок.

Самоочищення і запобігання відкладенням є важливими особливостями форсунок для малообертових двигунів, що працюють із важким паливом. Завдяки впровадженню інноваційних технологій, спеціальних матеріалів і конструктивних рішень, сучасні форсунки забезпечують стабільну і надійну роботу навіть у найскладніших умовах, знижуючи витрати на обслуговування і підвищуючи ефективність роботи двигуна [3].

Тривалий термін служби

Форсунки для малообертових двигунів розробляються з урахуванням умов їхньої експлуатації, які включають тривалі періоди роботи без зупинки, використання важкого палива та високі температурно-механічні навантаження. Однією з головних характеристик, яка забезпечує ефективність і надійність роботи таких форсунок, є їхній тривалий термін служби.

1. Високі вимоги до матеріалів

Для забезпечення довговічності форсунок використовуються високоякісні матеріали, що витримують значні навантаження:

Жаростійкі сталі та сплави: Стійкі до високих температур у камері згоряння.

Зносостійкі покриття: Наприклад, хромо-керамічні або керамічні, які знижують абразивний знос і корозійні пошкодження.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Матеріали з антикорозійними властивостями: Забезпечують захист від дії сірки та інших агресивних домішок у важкому паливі.

2. Оптимізація конструкції

Сучасні форсунки мають конструктивні рішення, які сприяють зменшенню зносу:

Поліровані поверхні: Знижують тертя і адгезію часток, що запобігає накопиченню відкладень.

Багатоканальні сопла: Забезпечують рівномірний розподіл навантажень і стабільність розпилювання.

Посилені компоненти: Такі як міцні голки і ущільнення, що витримують високі тиски і температури.

3. Стійкість до важкого палива

Малообертові двигуни часто працюють на важкому паливі, яке спричиняє утворення відкладень і абразивний знос. Форсунки спеціально адаптовані до таких умов:

Системи самоочищення: Зменшують накопичення відкладень на соплах.

Антиполірувальні рішення: Перешкоджають утворенню нагару, який може пошкоджувати робочі поверхні.

4. Захист від корозії

Сірчисті домішки у важкому паливі створюють ризик корозії, особливо в умовах конденсації вологи. Форсунки виготовляються з матеріалів, стійких до корозії, а також оснащуються додатковими захисними покриттями.

5. Можливість ремонту і заміни компонентів

Форсунки для малообертових двигунів спроектовані так, щоб їхні окремі компоненти могли бути замінені або відремонтовані без необхідності повної заміни вузла. Це включає:

Знімні сопла.

Змінні ущільнення і голки.

Системи легкого доступу для очищення і технічного обслуговування.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

6. Висока надійність у тривалій експлуатації

Завдяки використанню міцних матеріалів, сучасних технологій виготовлення і точного контролю якості, форсунки можуть працювати без суттєвого зниження продуктивності протягом десятків тисяч годин експлуатації. Це дозволяє зменшити витрати на їх обслуговування і заміну.

7. Економічний ефект

Тривалий термін служби форсунок сприяє економії, оскільки:

Зменшуються витрати на їхню заміну.

Знижується частота простоїв двигуна для обслуговування.

Підвищується загальна надійність двигуна, що зменшує ризик несправностей.

8. Інноваційні технології

Сучасні форсунки розробляються із застосуванням інноваційних підходів, таких як 3D-друк компонентів, лазерна обробка і впровадження наноматеріалів, що забезпечують їхню довговічність і стабільну роботу.

Тривалий термін служби є однією з основних особливостей форсунок для малообертових двигунів, що досягається завдяки використанню міцних матеріалів, інноваційних конструктивних рішень і сучасних технологій виготовлення. Ця характеристика дозволяє зменшити витрати на експлуатацію двигунів, підвищити їхню ефективність і забезпечити надійність роботи навіть у найскладніших умовах.

Залежність від електронного керування

Сучасні малообертові суднові двигуни все частіше оснащуються форсунками, інтегрованими в системи електронного керування. Це є важливою особливістю, яка забезпечує високу ефективність роботи, точність подачі палива та відповідність екологічним стандартам. Залежність форсунок від електронного керування відкриває нові можливості для оптимізації роботи двигуна, але також створює додаткові технічні вимоги.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1. Точність і адаптивність впорскування

Електронне керування дозволяє забезпечити точне дозування і розпилювання палива залежно від змінних умов роботи двигуна:

Адаптація до навантаження: Система регулює обсяг і тиск впорскування в залежності від поточного навантаження, забезпечуючи економічність і стабільну потужність.

Оптимізація часу впорскування: Електронне керування синхронізує процес подачі палива з циклом роботи двигуна, що сприяє повному згорянню палива і зменшенню викидів.

2. Робота з різними видами палива

Системи електронного керування дозволяють форсункам працювати з різними типами палива, включаючи важкі види (мазут). Це досягається шляхом автоматичного налаштування параметрів впорскування залежно від характеристик палива, таких як в'язкість і теплотворна здатність.

3. Підвищення економічності

Електронне керування дає змогу зменшити витрати палива, автоматично регулюючи його подачу. Це знижує споживання палива та витрати на його закупівлю, особливо при тривалій експлуатації двигуна.

4. Мінімізація шкідливих викидів

Сучасні електронні системи забезпечують точне дозування палива, що сприяє більш повному згорянню. Це знижує рівень шкідливих викидів, таких як оксиди азоту (NOx), сірчисті сполуки та сажа, що особливо важливо для відповідності міжнародним екологічним стандартам, наприклад, MARPOL.

5. Інтеграція з іншими системами двигуна

Форсунки з електронним керуванням інтегруються з іншими системами двигуна, такими як:

Система управління наддувом: Для узгодження подачі повітря та палива.

Контроль температури і тиску: Для оптимізації параметрів згорання.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Система моніторингу стану: Для діагностики та прогнозування зносу компонентів форсунок.

6. Переваги електронного керування

Гнучкість: Можливість швидкого налаштування параметрів залежно від експлуатаційних умов.

Програмованість: Дозволяє адаптувати роботу форсунок до специфічних потреб конкретного двигуна чи судна.

Зменшення механічного зносу: За рахунок більш точного і плавного впорскування.

7. Технічні виклики

Попри численні переваги, електронне керування форсунками вимагає додаткових технічних рішень:

Стійкість до складних умов: Електронні компоненти повинні працювати в умовах вібрацій, високих температур і вологості.

Енергозалежність: Робота системи залежить від стабільного джерела живлення.

Складність обслуговування: Електронні системи вимагають висококваліфікованого персоналу для діагностики і ремонту.

8. Технологічний розвиток

Сучасні форсунки з електронним керуванням постійно вдосконалюються. Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє створювати системи, які не лише адаптуються до поточних умов, але й прогнозують оптимальні режими роботи.

Залежність форсунок малообертових двигунів від електронного керування є важливою особливістю, яка дозволяє підвищити ефективність роботи, зменшити витрати палива і відповідати екологічним стандартам. Інтеграція з іншими системами двигуна і можливість адаптації до змінних умов експлуатації роблять ці форсунки ключовим компонентом сучасних судових двигунів.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Економічність та екологічність

Форсунки малообертових двигунів [4] відіграють ключову роль у забезпеченні економічності експлуатації та мінімізації впливу на навколишнє середовище. Висока точність їхньої роботи, адаптація до важкого палива та сучасні інженерні рішення дозволяють знизити витрати на паливо, подовжити термін служби компонентів двигуна і відповідати суворим екологічним стандартам.

1. Економічність форсунок

Точність дозування палива

Сучасні форсунки забезпечують точне дозування палива, що дозволяє уникати його надмірного або недостатнього впорскування. Це сприяє повному згорянню палива, знижуючи його витрату та підвищуючи ефективність двигуна.

Рівномірне розпилювання

Рівномірне розпилювання палива створює оптимальну паливно-повітряну суміш у камері згоряння. Це сприяє підвищенню теплової ефективності двигуна і, відповідно, економить паливо.

Робота з важким паливом

Малообертові двигуни часто працюють на мазуті та інших важких видах палива, які є дешевшими за легші фракції. Форсунки адаптовані до впорскування такого палива, забезпечуючи стабільну роботу двигуна навіть за умов низької якості палива.

Системи автоматичного керування

Інтеграція форсунок із системами електронного керування дозволяє регулювати подачу палива залежно від режиму роботи двигуна. Це сприяє мінімізації витрат палива при змінних навантаженнях.

2. Екологічність форсунок

Оптимізація процесу згоряння

					<i>КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ</i>	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Форсунки забезпечують повніше згоряння палива, що знижує викиди шкідливих речовин, таких як оксиди азоту (NOx), сірчисті сполуки та сажа. Це дозволяє двигунам відповідати міжнародним екологічним стандартам, зокрема MARPOL і IMO.

Зниження утворення сажі

Точність розпилювання і дозування палива зменшує утворення незгорілого палива, яке стає основою для утворення сажі. Це важливо для зниження викидів і поліпшення роботи систем очищення вихлопних газів.

Мінімізація споживання масла

Завдяки точній роботі форсунок зменшується знос компонентів двигуна, таких як поршневі кільця і втулки, що знижує витрати на мастильні матеріали і сприяє екологічності.

Підтримка відповідності екологічним стандартам

Сучасні форсунки розробляються з урахуванням вимог міжнародних норм щодо викидів. Наприклад, використання систем впорскування із високим тиском і багатоканальними соплами сприяє зменшенню шкідливих викидів навіть при використанні важкого палива.

3. Інновації для підвищення економічності та екологічності

Електронне керування: Автоматичне налаштування параметрів впорскування залежно від умов роботи двигуна.

Захисні покриття: Знижують знос форсунок і продовжують термін їхньої служби, що зменшує витрати на заміну і ремонт.

Самоочищення: Перешкоджає утворенню відкладень, які впливають на ефективність розпилювання палива.

Інтеграція з системами очищення вихлопу: Сучасні форсунки працюють у тандемі з фільтрами і скруберами, мінімізуючи вплив на довкілля.

4. Економічний ефект та екологічні переваги

Поєднання економічності та екологічності форсунок дозволяє:

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Знизити загальні експлуатаційні витрати на паливо та обслуговування двигуна.

Зменшити вплив на навколишнє середовище, що є особливо важливим у сучасних умовах посилення екологічних стандартів.

Підвищити ефективність роботи судна, забезпечуючи його конкурентоспроможність на ринку морських перевезень.

Економічність і екологічність є ключовими особливостями форсунок для малообертових двигунів. Завдяки сучасним технологіям, точності роботи та інноваційним рішенням форсунки сприяють зниженню витрат на експлуатацію, забезпечують відповідність екологічним нормам і підтримують стабільну ефективність роботи двигуна навіть у найскладніших умовах.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВНОЇ ФОРСУНКИ ДВИГУНА WÄRTSILÄ 6RT-FLEX50

Тепловий розрахунок двигуна WÄRTSILÄ 6RT-FLEX50

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Робочий цикл двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) являє собою повторювану послідовність процесів, які перетворюють теплову енергію палива на механічну роботу. Це складний фізико-хімічний процес, для точного аналітичного моделювання якого поки що необхідно використовувати експериментальні коефіцієнти, оскільки сучасні методи не дають можливості отримати достатньо точні результати без їхнього застосування. У зв'язку з цим у розрахунках часто використовують спрощені моделі, серед яких найбільш поширеним є цикл Гриневецького-Мазінга [5].

Цей розрахунковий цикл (рис. 3.1) включає такі процеси: політропне стиснення (t-c), ізохорний процес (c-y), ізобарний процес (y-z), політропне розширення (z-b) та ізохорний процес (b-t), який завершує цикл.

Метод Гриневецького-Мазінга набув популярності завдяки здатності забезпечувати достатню точність при відносно нескладних обчисленнях. Ця методика є ефективним інструментом для аналізу процесів, що відбуваються у ДВЗ [6].

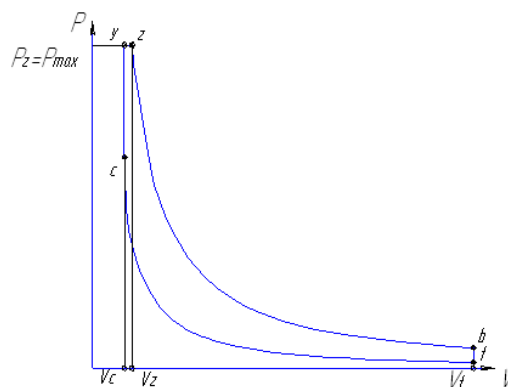


Рисунок 3.1 – Теоретичний цикл

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

Результати розрахунку циклу двигуна

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

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,4}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,8} \right] = 477,21$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 477,21 - 0,9 \times (477,21 - 293) = 315,921$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{315,921 + 15 + 0,04 \times 600}{1 + 0,04} = 341,27$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,4 - 0,005 = 0,395$$

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,97 \times 0,395 = 0,383$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,383}{0,395} \times \frac{315,921}{341,27} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0,08) = 0,851$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,362$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,383 \times 15^{1,362} = 15,338$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l - 1} = 341,27 \times 15^{1,362 - 1} = 910,763$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,56}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,202$$

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,202} = 1,027$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,027 + 0,04}{1 + 0,04} = 1,026$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,94}{0,98} = 0,959$$

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,027 - 1}{1 + 0,04} \right) \times 0,969 = 1,025$$

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

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

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

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

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

$$T_z = 1685$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,1 \times 15,338 = 16,872$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,025}{1,1} \times \frac{1685}{910,736} = 1,724$$

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

$$n_2 = 1,288$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1685 \times \frac{1}{8,702^{1,288-1}} = 904,149$$

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{16,872}{8,702^{1,288}} = 1,041$$

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{13,338}{15 - 1} \times \left[1,1 \times (1,724 - 1) + \frac{1,1 \times 1,724}{1,288 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{8,702^{1,288 - 1}} \right) - \frac{1}{1,362 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,362 - 1}} \right) \right] = 2,328$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,328 \times 0,99 \times (1 - 0,08) = 2,121$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_H}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,395 \times 0,851}{2,56 \times 1,202 \times 315,921 \times 2,121} = 0,171$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_H} = \frac{3600}{0,171 \times 42700} = 0,518$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,121 \times 0,94 = 1,993$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,518 \times 0,94 = 0,487$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,171}{0,94} = 0,179$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,5^2 \times 2,05 \times 1 \times 1,993 \times 124 \times 6 = 9957$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{9960 - 9957}{9960} = -0,026\%$$

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

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

$$R = 287 \text{ Дж/кг*К}$$

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,5^2}{4} \right) \times 2,05 \times \left(\frac{0,395 \times 10^6}{287 \times 315,921} \right) \times 0,518 \times 5 \times 1 \times \left(\frac{127}{60} \right) \times 1,1 = 20,357$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 20,357 + 0,181 \times \frac{9957}{3600} = 20,861$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,85 \times 0,40 = 0,34$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 904,149 \times \left(\frac{0,34}{1,041} \right)^{\frac{1,288-1}{1,288}} = 704,233$$

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

$$= \left(\frac{0,827}{12} \right) + \left(\frac{0,125}{2} \right) + [0,21 \times (2,56 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,56 \times 0,495) = 1,295$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,827}{12 \times 1,295 \times 189} + \frac{0,125}{2 \times 1,295 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,56 - 1) \times 0,495}{1,295 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,56 \times 0,495}{1,295 \times 259,8}} = 287,821$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 689,042) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 689,042} = 1,381$$

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 \Pi_k &= \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_s}{k_s - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} \\
 &= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,383}{1,381 - 1} \right) \times 287,821 \times 704,233 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,34}{0,101} \right)^{\frac{1,383 - 1}{1,383}}} \right] \times 0,98 \times 0,84 \times 20,861}{20,861 \times 287 \times 298 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,98}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,486
 \end{aligned}$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 3,851 \times 0,101 = 0,397$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,397 - 0,4}{0,4} = 0,045\%$$

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

Вдосконалення паливної форсунки двигуна Wärtsilä 6RT-flex50

Зазвичай МОД забезпечені двома або трьома форсунками, розташованими на кожній з кришок циліндра. Форсунка забезпечена підпружиненою голкою, яка діє в якості виконаного з можливістю переміщення елемента форсунки. Коли тиск палива перевищує заздалегідь

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

встановлений тиск (зазвичай 35 МПа), голка піднімається над сідлом, забезпечуючи надходження палива в камеру згоряння через розпилювач, розташований в передній частині форсунки.

Стандартна форсунка має подовжню вісь, розташовану приблизно під кутом від десяти до п'ятнадцяти градусів щодо направлення переміщення поршня в циліндрі двигуна, і забезпечена центральним каналом і вихідними каналами, які направляють паливо від стінок циліндра всередину камери згоряння.

Як правило, в момент упорскування в камері згоряння існує повітряний вихор, а велика частина вихідних каналів спрямована таким чином, щоб здійснювати впорскування палива з потоком вихору, хоча деякі з каналів можуть бути спрямовані для здійснення упорскування палива в потік.

Остаточний об'єм палива, що знаходиться, наприклад, в центральному каналі, що проходить в поздовжньому напрямку всередині форсунки, або так званий паразитний об'єм палива, який може проникати всередину камери згоряння, повинен бути якомога менше, оскільки це паливо може потрапити в камеру згоряння в той час коли температури занадто низькі для належного згоряння палива.

Проте, це витікання може викликати збільшення викидів, зокрема димоутворення, великі викиди оксидів азоту і летких органічних сполук, і, що важливо, може привести до збільшення витрати палива. Зазначені проблеми викидів і споживання палива вирішує золотникова форсунка компанії «MAN Diesel», конструкція якої характеризується мінімізованих побічним об'ємом залишкового палива.

Розпилювач цієї відомої форсунки забезпечений каналами, через які струмінь палива залишає розпилювач, при цьому всі канали розташовані в одному і тому ж поздовжньому напрямку поблизу вільного кінця розпилювача. Вихідні канали розподілені в просторі радіально і тангенціально щодо поздовжньої осі паливної форсунки. З огляду на просторові обмеження

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

деякі з вихідних каналів спрямовані по суті радіально, в той час як інші вихідні канали спрямовані головним чином тангенціально. Перекриваючий золотник/повзун, розташований всередині центрального поздовжнього каналу, виконаного з отворами, відповідними вихідним каналам, не дозволяє паливу з центрального каналу форсунки витікати після того як штатний етап уприскування виконаний.

Однак характеристика потоку, особливо тих вихідних каналів, які спрямовані не радіально, а тангенціально, не оптимальна.

Завданням даної роботи є модернізація паливної форсунки, в якій подолані або щонайменше менш виражені зазначені вище недоліки.

Поставлена задача вирішена за допомогою форсунки для вприскування палива всередину камери згоряння, що містить корпус форсунки, що містить фланець, розташований на його тильній стороні, призначений для кріплення форсунки до кришки циліндра, подовжений розпилювач з осьовим каналом і закритою передньою частиною, пружно переміщувану голку клапана, виконану з можливістю взаємодії з сідлом клапана і контролю потоку палива до форсунки, вихідні отвори, розподілені по форсунці таким чином, що осі вихідних отворів по суті сходяться з віссю осьового каналу форсунки, порожнистий перекриваючий стрижень, виконаний з можливістю синхронного переміщення з голкою клапана, і виконаний з можливістю осьового переміщення в центральному каналі форсунки для відкриття і закриття вихідних отворів, причому вказаний перекриваючий стрижень містить отвори, відповідні вихідних отворів, виконані з можливістю з'єднання вихідних отворів і внутрішньої порожнини перекриваючого стержня в одній його позиції і роз'єднання вихідних отворів і внутрішньої порожнини перекриваючого стержня в іншій його позиції, а сам перекриваючий стрижень захищений від обертання щодо форсунки і корпусу паливного клапана.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Завдяки застосуванню перекриваючого стрижня, який відкриває і закриває вихідні отвори синхронно з відкриттям і закриттям голки форсунки, побічний об'єм зменшений практично до нуля, при цьому конструкція форсунки і її орієнтація забезпечують отримання оптимального і стабільного струменя палива.

Модернізована форсунка, яка зображена на рис. 3.2 а, містить подовжений зовнішній корпус 5, що містить фланець 2, розташований на його тильній стороні, призначений для кріплення форсунки до кришки циліндра. Фланець 2 містить вхідний отвір 1 для нафтового палива, який пов'язує потік з каналом 3. Канал проходить через безповоротний клапан 4 до голки 7 клапана, виконаний з можливістю осьового переміщення в каналі корпусу 5. Голка 7 переміщається до її сидла 8 за допомогою закриваючої пружини 6. Передня частина корпусу 5 містить розпилювач 10, який проходить через корпус 5 всередину камери згоряння циліндра двигуна, коли форсунка прикріплена до кришки циліндра.

Рис. 3.2. б - 3.3 більш детально показують голку 7 форсунки і розпилювач 10. Пружина 6 притискає голку 7 до її сидла 8. Рис. 3.2. б показує голку 7 клапана, що знаходиться на сидлі 8. У цій позиції потік палива від вхідного отвору 1 до розпилювача 10 заблокований.

Голка 7 містить передній перекриваючий стрижень 9, більш тонкий, ніж задня секція голки 7, і проходить всередину центрального каналу 13 розпилювача 10. Розпилювач 30 містить центральний канал 13 і вихідні отвори 14, через які паливо впорскується всередину камери згоряння, розташовані таким чином, що під час впорскування палива його струмінь надходить з кожного з отворів 14.

Вихідні отвори 14 розподілені по розпилювачу 10 таким чином, що забезпечено наявність відстані між ними в подовжньому напрямку подовження розпилювача. Таким чином, навіть беручи до уваги розміри вихідних отворів 14, не відбувається накладення вихідних отворів 14 в

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поздовжньому напрямку подовження розпилювача. Крім того, вихідні отвори 14 рознесені по радіусу і спрямовані радіально в різних напрямках, для охоплення широкого сектора камери згоряння струменями палива, які надходять із вихідних отворів 14.

Вихідні отвори 14 просвердлюють в розпилювачі. Осі 15 кожного вихідного отвору 14 по суті збігається з віссю 14 центрального каналу 13, тобто осі 15 вихідних отворів 14 спрямовані не тангенціально, а навпаки, всі вони спрямовані до осі 12 центрального каналу 13.

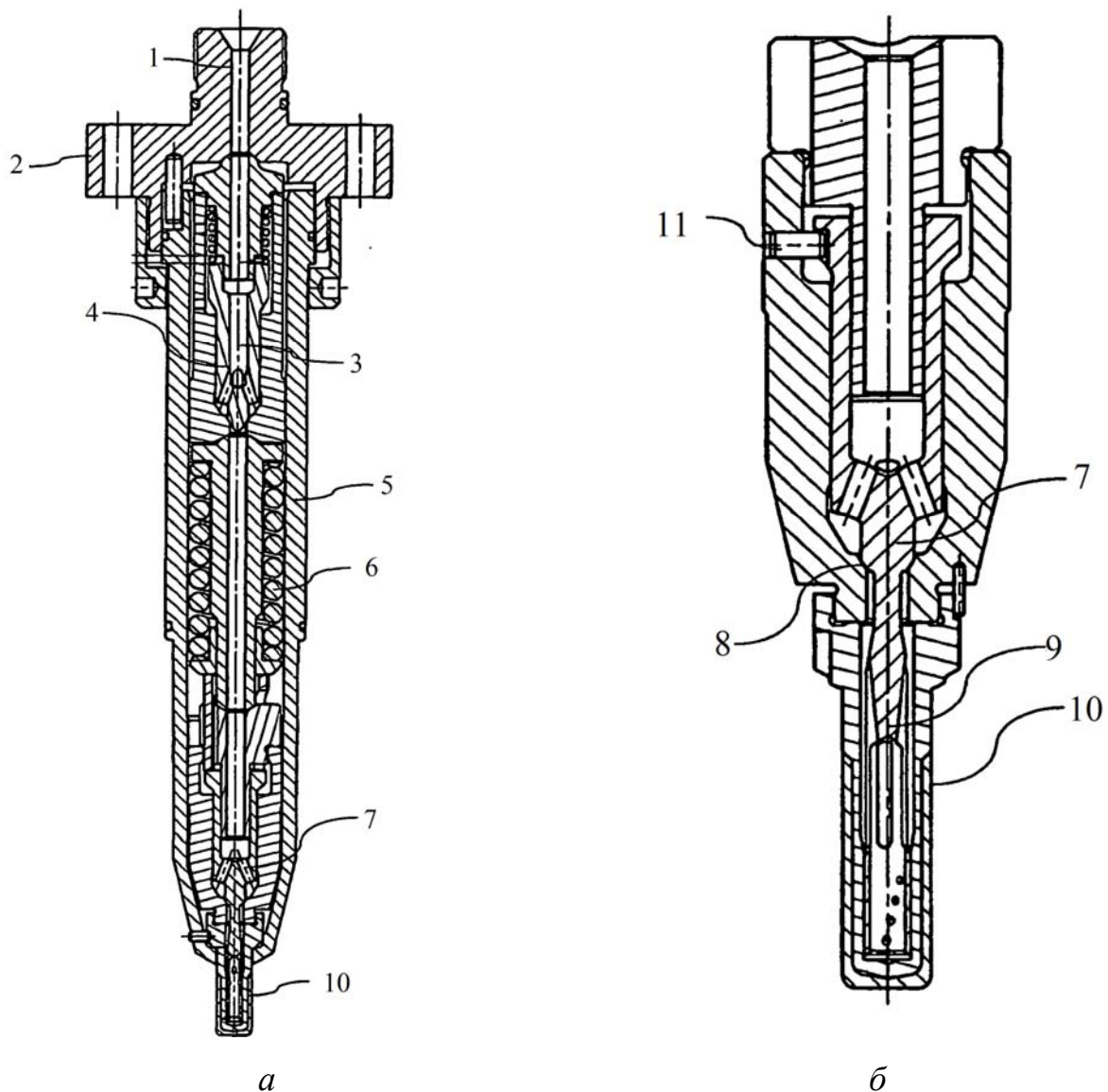


Рисунок 3.2 – Модернізована паливна форсунка:

а – поздовжній розріз форсунки; б – поздовжній розріз в більшому масштабі передньої частини форсунки

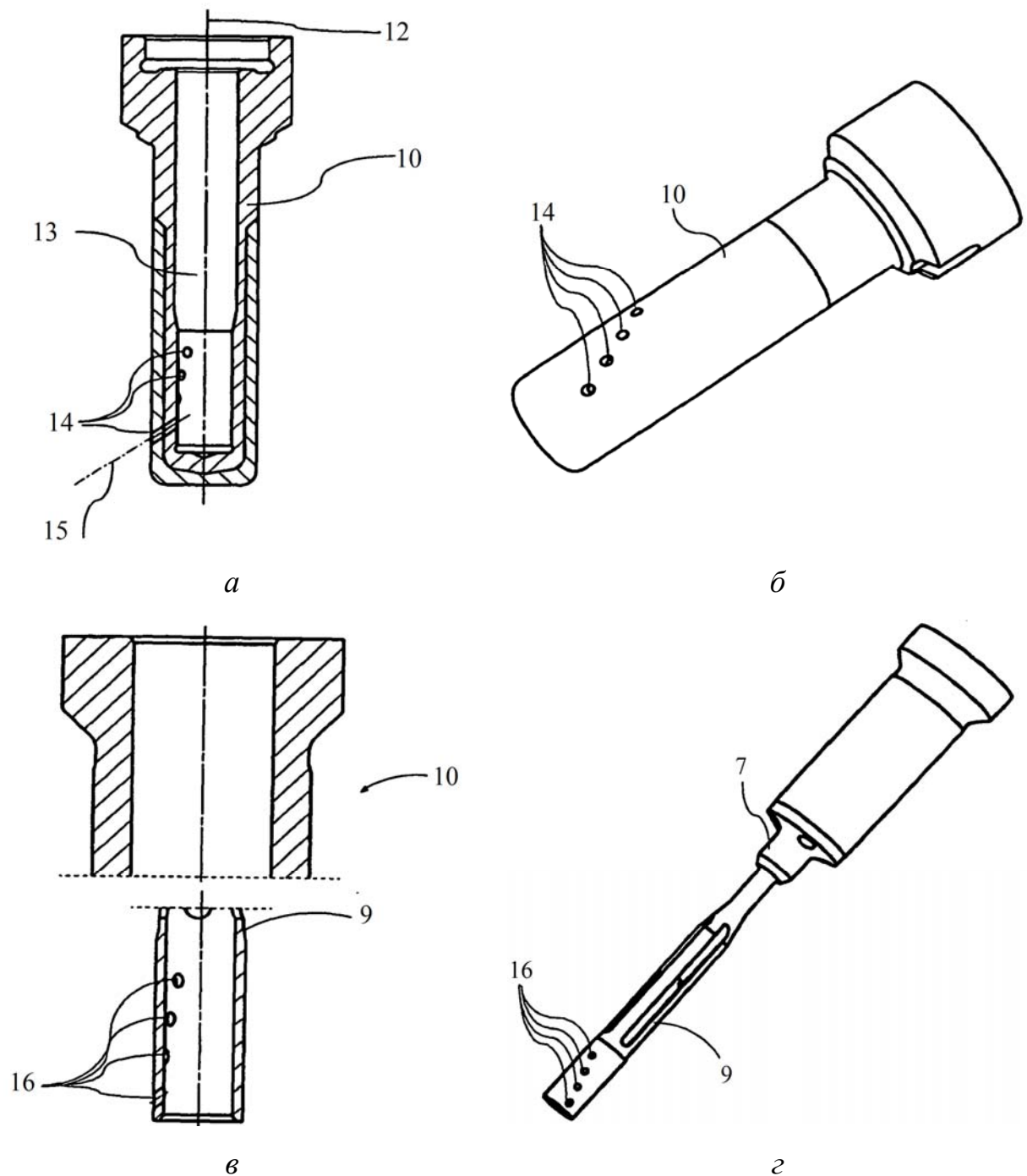


Рисунок 3.3 – Модернізована паливна форсунка (збільшений масштаб):

а – поздовжній розріз в більшому масштабі передньої частини форсунки; б – вид зверху розпилювача;

в – осьовий розріз в більшому масштабі голки форсунки і перекриваючого стрижня форсунки; г – вид зверху голки форсунки і перекриваючого стрижня

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ

Аркуш

45

Осі 15 вихідних отворів 14 можуть не сходитися точно з віссю 12 центрального каналу 13, але напрямок вихідних отворів 14 не повинно бути по суті тангенціальному відносно осі 12 центрального каналу 33.

Як можна бачити на рис. 4.2 а, осі 15 вихідних отворів 14 можуть перебувати під кутом до осі 12 центрального каналу 13, відмінним від прямого кута.

Перекриваючий стрижень 9, що наводиться як приклад варіанту реалізації, виконаний як єдине ціле з голкою 7. Перекриваючий стрижень 9 виконують порожнистим, а його внутрішня порожнина з'єднана з простором, що знаходиться нижче сідла 8. Таким чином, при піднятті голки 7 клапана над її сідлом 8 проточний канал 3 проходить по всій довжині - від вхідного отвору 1 до внутрішньої порожнини стрижня 9.

Передня частина перекриваючого стрижня 9 є циліндричної і точно входить всередину центрального каналу 13. Ця передня частина стрижня 9 містить отвори 16, які відповідають вихідним отворами 14. Кутове положення голки 7, а отже, і перекриваючого стрижня 9, зафіксовано штифтом 11, який запобігає від обертання голку 7 щодо корпусу 5. Це зроблено для гарантії того, що отвори 16 в стрижні 9 будуть суміщені з вихідними отворами 14 при піднятті голки 7 клапана над її сідлом 8.

В процесі роботи при перевищенні тиску палива, що подається в форсунку, заздалегідь визначеного граничного значення, голка 7 клапана піднімається над її сідлом 8. У цей момент паливо отримує можливість проникати всередину порожнього стрижня 9, і далі крізь отвори 16, які тепер суміщені з вихідними отворами 14, через вихідні отвори 14 всередину камери згоряння. Коли подача палива в форсунку припиняється, в кінці процесу упорскування палива знижений тиск палива не може більше утримувати голку 7 над її сідлом 8 і пружина 6 штовхає голку 7 в осьовому напрямку вперед до її сідла 8. Оскільки стержень 9 переміщається синхронно з голкою 7, він теж переміщається в осьовому напрямку до передньої частини форсунки. Тепер,

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

при знаходженні голки 7 на її сідлі 8, отвори 16 перекриваючого стрижня більше не суміщені з вихідними отворами 14. Таким чином паливо в розпилювачі замкнено і не може проникати всередину камери згоряння.

Таким чином, побічний об'єм дорівнює практично нулю в поєднанні з оптимальною геометрією вихідних отворів 14.

Згідно дослідних даних [7] при використанні модернізованих форсунок питома ефективна витрата палива зменшується на 0,5% (в нашому випадку на 2 г/(кВт×год) – з 179 до 177 г/(кВт×год)).

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРА

Роботи з обслуговування

Роботи з обслуговування турбокомпресора під час його роботи включають візуальні перевірки, моніторинг та вимірювання, а також контроль і перевірки функцій, щоб забезпечують правильне функціонування турбокомпресора. Головним завданням є виявлення аномалій під час роботи, тим самим запобігаючи можливим пошкодженням.

Контроль, огляд, вимірювання та ін. операції повинні бути виконані відповідно до визначених інтервалів.

Відповідні інструкції з техніки безпеки повинні дотримуватися під час усіх робіт з обслуговування [8].

Роботи з обслуговування кожні 25-50 годин:

- записи;
- записи в машинному журналі;
- в разі значних відхилень встановити причину.

Моніторинг даних надає інформацію про продуктивність турбокомпресора. Параметри і виміряні значення, які повинні регулярно вводитися в машинний журнал:

- частота обертання двигуна;
- температура всмоктуваного повітря;
- температура вихлопних газів до і після турбіни;
- тиск повітря;
- перепад тиску в охолоджувачі наддувочного повітря;
- тиск мастила, температура мастила;
- температура повітря після компресора і після охолоджувача наддувочного повітря;

					<i>KPM.142.6222m.24.18.00.ПЗ</i>	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- частота обертання турбокомпресора;
- втрата тиску в повітряному фільтрі.

Інспекційна робота кожні 18 000 годин:

- зняти фільтр-глушник;
- очистити фільтр-глушник наскільки доступно, і перевірити наявність пошкоджень;
- зняти внутрішню частину корпусу компресора;
- перевірити зазор А (переміщення осьового підшипника);
- почистити доступні деталі (колесо компресора, дифузор, проміжну вставку) і перевірити наявність пошкоджень;
- не знімаючи турбінну частину і використовуючи ендоскоп, виконати візуальну перевірку на можливе забруднення і пошкодження (соплове кільце, дифузор/кришка турбіни, лопатки турбіни). Додатково цей огляд може бути виконаний після зняття впускного газового патрубка;
- встановити внутрішню частину корпусу компресора;
- перевстановити фільтр-глушник.

Роботи з обслуговування кожні 36000 годин:

- зняти фільтр-глушник;
- очистити фільтр-глушник наскільки доступно, і перевірити наявність пошкоджень;
- зняти внутрішню частину корпусу компресора;
- перевірити зазор А (переміщення осьового підшипника);
- почистити доступні деталі (колесо компресора, дифузор, проміжну вставку) і перевірити наявність пошкоджень;
- розібрати впускний газовий патрубок і зняти соплове кільце;
- очистити соплове кільце і перевірити наявність пошкоджень або зносу;
- очистити дифузор і кришку турбіни і перевірити наявність пошкоджень або зносу;

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- замінити радіальний підшипник і упорний підшипник на оригінальні деталі від ABB Turbo Systems;
- перевірити і оцінити ротор.

Тимчасові інтервали замін основних елементів

Зазначені значення (табл. 4.1) наведені тільки для вказівки і не є гарантованими значеннями.

Ці значення можуть значно відрізнятися, наприклад, через погане обслуговування, частих аварійних зупинок, а також за рахунок використання палива або мастила низької якості.

Таблиця 4.1 – Інтервали замін елементів турбокомпресора

Назва елемента	Очікуваний інтервал заміни при роботі двигуна на важкому паливі, год
Газовий впускний патрубок	50000...100000
Газовий випускний патрубок	50000...100000
Соплове кільце	35000...50000
Турбінний дифузор	25000...50000
Інші корпуса	100000

Мокра очистка турбіни і соплового кільця під час роботи

Максимальна температура вихлопних газів, зазначена виробником двигуна, і температура $T_{\max}$, зазначена на таблиці турбокомпресора, не повинні перевищуватися ні за яких обставин.

Під час мокрої очистки турбіна подає менше енергії на вал, а частота обертання турбокомпресора знижується. В результаті менше повітря подається в двигун і температури газу після циліндрів і випускного клапана піднімаються.

Щоб виконати успішну процедуру очистки (рис. 4.1) необхідно виконати наступні попередні умови:

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1) після того, як двигун був запущений або під час роботи, потужність двигуна повинна регулюватися до тих пір, поки тиск повітря не буде знаходитися в межах 0,03...0,06 МПа (манометричний тиск);

2) почекати 10...15 хвилин (час стабілізації), поки температура вихлопу на вході в турбіну не стане стабільною і нижче 430 °С, також повинен працювати допоміжний вентилятор.

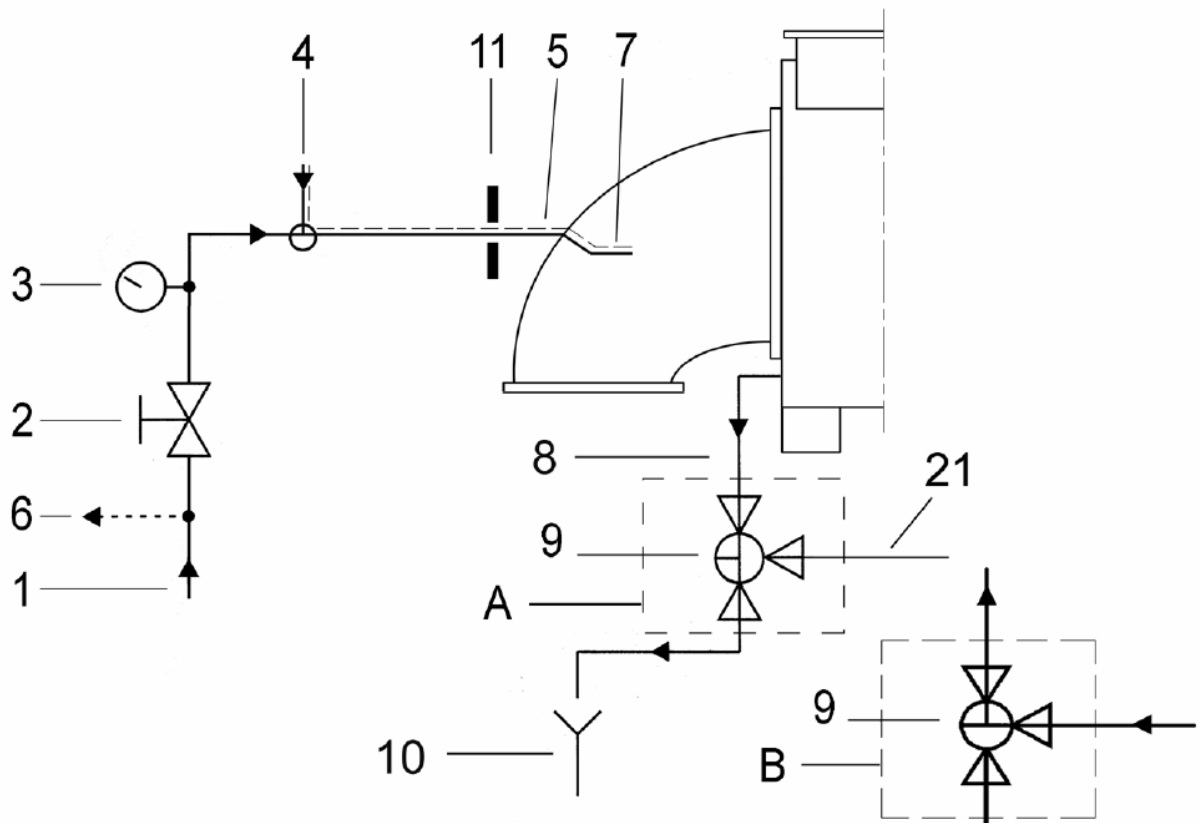


Рисунок 4.1 – Мокра очистка турбіни і соплового кільця під час роботи:

1 – подача води; 2 – регулювальний клапан; 3 – манометр; 4 – 3-ходовий клапан; 5 – труба з нержавіючої сталі; 6 – інші турбокомпресори; 7 – форсунка; 8 – зливна труба; 9 – зливний кран; 21 – повітряний канал з корпусу компресора; А – положення 1; В – положення 2

Управління системою мокрої очистки:

1) переконатися, що подача води (1) відкрита і забезпечена, а також підключена до регулювального клапану (2) перед турбокомпресором;

2) встановити зливний кран (9) зливної труби (8) на газовому випускному патрубку в ПОЛОЖЕННЯ 1 і перевірити, чи не виходять вихлопні гази;

3) повільно відкрити 3-ходовий клапан (4) (якщо встановлено), потім регулюючий клапан (2), поки манометр (3) не покаже тиск $0,1 \pm 0,02$ МПа;

4) вводити воду протягом 5 хвилин при постійній потужності двигуна;

5) перевірити чи не падає температура вихлопних газів після турбіни;

6) закрити регулюючий клапан (2) і триходовий клапан (4);

7) встановити зливний кран (9) зливної труби (8) на газовому випускному патрубку в ПОЛОЖЕННЯ 2, щоб підтримувати зливну трубу в чистоті з повітря з корпусу компресора (21);

8) подача води (1) до регулюючого клапана (2) повинна бути відключена;

9) після очищення почекати не менше 10 хвилин при працюючому двигуні, щоб турбокомпресор міг висохнути.

Якщо операція очистки не була успішною, її можна повторити до 2 разів.

Якщо очищення все ще не буде успішною після трьох спроб, а робочі значення двигуна будуть незадовільними, рекомендується перевірити і очистити турбокомпресор офіційної сервісною станцією ABB Turbo Systems.

Рекомендації при очищенні:

– при очищенні дренажний трубопровід (8) повинен бути злитий водою через зливну трубу (8);

– температура вихлопних газів після турбокомпресора значно падає під час очищення (від 50 до 150 ° C);

– відтік може (але не обов'язково) проходити через дренажну трубу, в залежності від навантаження двигуна. Цей відтік може не починатися протягом 2...3 хвилин, або може взагалі не відбутися;

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– якщо слив не виконується, необхідно контролювати частоту обертання турбокомпресора і/або температуру газу під час операції очистки. Якщо навантаження занадто низьке, вода може збиратися в газовому випускному патрубку. Ознаками цього є раптове падіння частоти обертання турбокомпресора або дуже швидке збільшення температури газу на вході.

У будь-якому з цих випадків операція мокрої очистки повинна бути припинена, а цикл знову розпочато з більш низького тиску води або більш високого навантаження двигуна.

Основні несправності

У таблиці 4.2 представлені основні несправності, які можуть бути отримані при роботі турбокомпресора, а також можливі причини і способи їх усунення.

Таблиця 4.2 – Основні несправності роботи турбокомпресора

Ознака	Елемент	Можлива несправність	Спосіб усунення
Температура вихлопних газів занадто висока	Двигун	Несправність в системі уприскування палива	Відремонтувати або звернутися до виробника
	Турбокомпресор	Брак повітря, забруднений повітряний фільтр	Очистити
		Забруднене компресор/турбіна	Очистити
		Занадто високий протитиск вихлопних газів	Очистити або відремонтувати котел чи глушник вихлопних газів
		Пошкоджена або зношена турбіна	Звернутися в офіційну сервісну станцію <u>ABB Turbo Systems</u>
Температура вихлопних газів занадто висока	Охолоджувач наддувочного повітря	Охолоджувач забруднений	Очистити
		Недостатня кількість охолоджуючої рідини	Поповнити
		Температура охолоджуючої води на вході занадто висока	Очистити / перевірити систему охолодження
		Недостатня вентиляція	Поліпшити вентиляцію

Занадто низький тиск наддуву (потужність двигуна і частота обертання постійні)	Двигун	Витоки в впускному ресивері	Відремонтувати
		Витоки газу між двигуном і турбіною	Відремонтувати
		Неправильно налаштоване впорскування палива	Відкоригувати
		Неправильно налаштований контрольний клапан	Відкоригувати
	Турбокомпресор	Індикатор манометра несправний	Замінити манометр
		Витік по лінії манометра	Усунути витік
		Повітряний фільтр забруднений	Очистити
		Забруднений компресор/турбіна	Очистити
		Пошкоджений компресор/турбіна	Звернутися в офіційну сервісну станцію <u>ABB Turbo Systems</u>
		Надмірний протитиск вихлопних газів	Очистити котел або глушник вихлопних газів
Дуже високий тиск наддуву (потужність двигуна і частота обертання постійні)	Двигун	Несправність в системі уприскування палива	Відкоригувати
		Потужність двигуна вище, ніж очікувалося	Перевірити потужність двигуна
		Неправильно налаштоване впорскування палива	Відкоригувати
Вібрація	Турбокомпресор	Індикатор манометра несправний	Замінити манометр
		Незбалансованість ротора через сильне забруднення компресора/турбіни	Звернутися в офіційну сервісну станцію <u>ABB Turbo Systems</u>
		Пошкоджено компресор/турбіна	
Шум при вибігу	Турбокомпресор	Дефект підшипника	Звернутися в офіційну сервісну станцію <u>ABB Turbo Systems</u>
		Забруднений турбокомпресор	
		Пошкоджено підшипник	
		Залиди на роторі	
		Сторонні тіла в турбокомпресорі	

Час вибігу занадто ко- роткий	Турбокомпресор	Забруднений турбокомпресор	Очистити
		Пошкоджено підшипник	Звернутися в офіційну сервісну станцію ABB <u>Turbo Systems</u>
		Задир на роторі	
		Сторонні тіла в турбокомпресорі	
Повільний старт	Турбокомпресор	Забруднений турбокомпресор	Очистити
		Пошкоджено підшипник	Звернутися в офіційну сервісну станцію ABB <u>Turbo Systems</u>
		Задир на роторі	
		Сторонні тіла в турбокомпресорі	
Занадто ни- зький тиск мастила	Двигун	Масляний фільтр сильно за- бруднений	Очистити
		Масляний насос в системі змащення несправний	Оглянути
		Манометр забезпечує поми- лкове зчитування	Замінити манометр
	Турбокомпресор	Осьовий зазор ротора занад- то великий	Звернутися в офіційну сервісну станцію ABB <u>Turbo Systems</u>
Постійний помпаж	Двигун	Тиск вихлопних газів на турбіну підвищений	Очистити
		Забруднений люк	
	Турбокомпресор	Забруднений фільтр або глушник	Очистити
		Важкі відкладення в турбіні	

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування суднового двигуна

Експлуатація, ремонт та технічне обслуговування суднових двигунів є складними і трудомісткими процесами, пов'язаними з впливом низки небезпечних і шкідливих факторів. Ці фактори можуть становити загрозу для здоров'я персоналу, довговічності обладнання і безпеки судна в цілому. Аналіз цих факторів дозволяє розробити ефективні заходи для їхнього попередження або зниження впливу [9].

1. Небезпечні фактори під час експлуатації

1.1. Високі температури

Елементи двигуна, такі як випускні колектори, турбокомпресори, циліндри, працюють за високих температур, що може призвести до опіків або пожеж.

Погана термоізоляція або несправність системи охолодження підвищують ризики.

1.2. Високий тиск

Паливна і мастильна системи працюють під високим тиском, що створює ризик розриву трубопроводів і травм від струменів палива або масла.

Несправності у гідравлічних системах можуть спричинити небезпечні викиди рідини.

1.3. Механічні небезпеки

Рухомі частини двигуна, такі як колінчастий вал, турбокомпресори, поршні, можуть завдати серйозних травм при контакті.

Неправильне використання інструментів або порушення правил безпеки під час обслуговування підвищують ризик травм.

1.4. Електричні небезпеки

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Високовольтні компоненти електронної системи управління можуть становити загрозу у разі контакту або несправності.

2. Шкідливі фактори

2.1. Шум

Робота двигунів супроводжується високим рівнем шуму, який може призводити до порушень слуху.

Тривала дія шуму підвищує ризик стресу і втоми.

2.2. Вібрації

Високі рівні вібрацій можуть негативно впливати на здоров'я працівників (зокрема, на кістково-м'язову систему) і прискорювати знос обладнання.

2.3. Токсичні викиди

Вихлопні гази двигуна містять оксиди азоту, сірки, вуглецю, а також дрібнодисперсні частки, що негативно впливають на дихальну систему персоналу.

Контакт із паливом або мастилами може викликати алергічні реакції або отруєння.

2.4. Забруднення повітря

Потрапляння в робочу зону парів масла, палива чи охолоджувальних рідин створює шкідливу атмосферу.

3. Небезпечні фактори під час ремонту та обслуговування

3.1. Робота в обмежених просторах

Обмежені простори машинного відділення ускладнюють доступ до двигуна, підвищуючи ризик травм, задухи або впливу токсичних газів.

3.2. Робота на висоті

Деякі частини двигуна або допоміжних систем розташовані на висоті, що створює ризик падіння.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.3. Неправильне підняття важких вантажів

Ремонт великих деталей, таких як колінчастий вал або турбокомпресор, пов'язаний із підняттям важких вантажів, що може спричинити травми спини чи кінцівок.

4. Заходи для зменшення небезпечних і шкідливих факторів

4.1. Організація робочого місця

Забезпечення достатньої вентиляції для видалення токсичних газів і пари.

Обладнання робочих зон звукоізоляційними матеріалами.

4.2. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Теплозахисні рукавички, захисні окуляри, шумозахисні навушники, маски або респіратори.

Спеціальний одяг для роботи з гарячими поверхнями і токсичними рідинами.

4.3. Регулярне технічне обслуговування

Перевірка і ремонт систем охолодження, гідравліки, трубопроводів і ізоляції.

Контроль за правильністю налаштувань і роботою електронної системи керування.

4.4. Навчання персоналу

Проведення інструктажів із техніки безпеки.

Регулярне навчання роботі з обладнанням і діям у аварійних ситуаціях.

4.5. Використання сучасного обладнання

Заміна застарілих двигунів на нові моделі із покращеними системами безпеки і зменшеними шкідливими викидами.

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що виникають під час експлуатації, ремонту і технічного обслуговування суднового двигуна, дозволяє виявити основні ризики і розробити ефективні заходи для їхнього

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

попередження. Це сприяє збереженню здоров'я персоналу, підвищенню ефективності роботи обладнання та забезпеченню безпеки на судні.

Дії суднового екіпажу при гасінні пожежі

Пожежа на судні є однією з найбільш небезпечних аварійних ситуацій, оскільки може швидко поширитися, загрожуючи життю екіпажу, безпеці вантажу і судна. Ефективні дії екіпажу при гасінні пожежі є критичними для мінімізації збитків та уникнення катастрофічних наслідків. Нижче наведено основні етапи та дії екіпажу в разі виникнення пожежі на судні [10].

1. Виявлення пожежі

У разі виявлення пожежі будь-який член екіпажу повинен негайно повідомити про це через систему аварійного оповіщення або зв'язатися з капітаном.

Уточнити місце, характер та інтенсивність загоряння, щоб оцінити масштаби загрози.

2. Аварійне оповіщення

Капітан судна активує аварійну сигналізацію, щоб сповістити весь екіпаж про пожежу.

Всі члени екіпажу повинні зібратися на заздалегідь визначених збірних пунктах, готові до виконання своїх обов'язків за планом боротьби з пожежами.

3. Організація дій екіпажу

Капітан: Координує всі дії екіпажу, приймає рішення щодо застосування засобів гасіння пожежі, евакуації та, за необхідності, виклику допомоги.

Команда боротьби з пожежами: Негайно вирушає на місце загоряння з відповідним обладнанням.

Члени екіпажу: Виконують свої ролі відповідно до розподілу завдань у плані боротьби з аваріями.

4. Гасіння пожежі

4.1. Початковий етап

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використовувати найближчі первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, ковдри, пісок) для локалізації загоряння.

Знеструмити електричні системи в зоні пожежі, щоб запобігти короткому замиканню.

4.2. Використання стаціонарних систем гасіння

Активувати спринклерну систему, систему пінного, водяного або інертного газового гасіння залежно від типу загоряння.

У машинному відділенні або закритих приміщеннях застосовувати систему CO₂ для зниження кисню і припинення горіння.

4.3. Запобігання поширенню вогню

Герметично закрити двері, люки, вентиляційні отвори, щоб обмежити доступ кисню.

Видалити легкозаймисті матеріали з прилеглих зон.

5. Евакуація та забезпечення безпеки

Якщо пожежу не вдається локалізувати, екіпаж повинен бути готовий до евакуації.

Підготувати рятувальні плоті, шлюпки та інше обладнання для покидання судна.

Забезпечити постійний зв'язок з береговими службами та іншими суднами для отримання допомоги.

6. Взаємодія із зовнішніми службами

Передати інформацію про ситуацію в Центр координації пошуку та рятування (MRCC).

Сповістити про характер вантажу (особливо небезпечні матеріали) та стан екіпажу.

7. Після гасіння пожежі

Переконатися, що загоряння повністю ліквідовано і немає ризику повторного займання.

Провести вентиляцію приміщень для видалення диму і залишків газів.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зробити огляд пошкоджених ділянок і зафіксувати всі наслідки для подальшого звітування.

8. Профілактика та навчання

Регулярно проводити навчання екіпажу з дій у разі пожежі, включаючи використання засобів гасіння.

Контролювати стан пожежного обладнання, систем сигналізації та аварійного освітлення.

Забезпечувати дотримання правил пожежної безпеки на судні.

Чіткі та скоординовані дії екіпажу при гасінні пожежі є запорукою безпеки судна та його пасажирів. Сучасні технічні засоби, постійна підготовка і дотримання інструкцій допомагають знизити ризики і ефективно впоратися з надзвичайними ситуаціями.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі підготовки та написання цієї кваліфікаційної роботи було здійснено аналіз конструктивних особливостей двотактного двигуна Wärtsilä 6RT-flex50, а також досліджено сучасні методи підвищення паливної економічності та екологічності двигунів. За результатами аналізу встановлено, що одним із перспективних напрямків є модернізація форсунок, що дозволяє значно покращити як економічні, так і екологічні характеристики двигуна.

Розроблено комплекс заходів, спрямованих на ефективне використання, обслуговування та ремонт турбокомпресора.

У розділі з охорони праці викладено заходи, дотримання яких забезпечує надійну та безпечну експлуатацію двигуна та танкера загалом. Особливу увагу приділено основним напрямкам створення безпечних умов праці та заходам із захисту екіпажу у надзвичайних ситуаціях.

					КРМ.142.6222м.24.18.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2007. The Royal Institution of Naval Architects, 2007. pp. 49 - 50.
2. Wärtsilä 6RT-flex50. Project guide, 2015. 132 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.24.18.00.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		