

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
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОГО
НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО
СУДНОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти




Аркадій ПРОСКУРІН

Кирило ПОТОЦЬКИЙ

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

Потоцький Кирило Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення експлуатаційних показників паливного насосу високого тиску середньообертового суднового двигуна

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Проскурін А. Ю.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року № _____

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – WARTSILA 6L20, паливо – дизельне, потужність
двигуна – 1080 кВт, частота обертання колінчастого валу – 1000 хв⁻¹

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

Застосування двигуна WARTSILA 6L20 на газовозі «CORAL ENERGY»; Визначення напрямків вдосконалення паливних насосів високого тиску; Модернізація паливного насосу високого тиску; Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування впровадження модернізації

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд газозову «CORAL ENERGY»; Поперечний переріз двигуна WARTSILA 6L20; Індикаторна діаграма та діаграми динаміки; Паливна система; Клапан подвійної дії

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)

Кирило ПОТОЦЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення роботи паливних насосів високого тиску середньообертового двигуна шляхом використання клапана подвійної дії. Розглянуто економічний ефект від 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: паливний насос, клапан, експлуатація, ефективність.

The qualification work presents a set of measures to improve the operation of high-pressure fuel pumps of a medium-speed engine by using a double-acting valve. The economic effect of the modernization is analyzed. Measures to ensure occupational safety are also provided.

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: fuel pump, valve, operation, efficiency.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна WARTSILA 6L20 на газовозі «CORAL ENERGY».....	5
Розділ 2. Визначення напрямків вдосконалення паливних насосів високого тиску	17
Розділ 3. Модернізація паливного насосу високого тиску	36
Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізації.....	55
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	59
Висновки.....	65
Список використаної літератури.....	66
Додаток А. Загальний вигляд газовозу «CORAL ENERGY».....	67
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна WARTSILA 6L20.....	68
Додаток В. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.....	69
Додаток Г. Паливна система.....	70
Додаток Д. Клапан подвійної дії.....	71

ВСТУП

Вдосконалення паливних насосів високого тиску (ПНВТ) суднових двигунів є критично важливим завданням, яке спрямоване на підвищення ефективності, надійності, економічності й екологічності морських суден. Ось кілька основних причин необхідності вдосконалення ПНВТ:

- Підвищення ефективності двигунів
- Зменшення шкідливих викидів
- Покращення надійності та довговічності
- Зниження експлуатаційних витрат
- Інтеграція сучасних технологій
- Адаптація до нових умов експлуатації

Мета даної роботи – розробити умови по покращенню параметрів роботи паливного насоса високого тиску шляхом використання клапана подвійної дії.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проведення комплексного аналізу паливних насосів високого тиску, які встановлені в сучасних середньообертових двигунах.
2. Модернізація паливного насоса високого тиску.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об’єкт дослідження – паливний насос високого тиску.

Предмет дослідження – параметри паливного насоса високого тиску.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА WARTSILA 6L20 НА ГАЗОВОЗІ
«CORAL ENERGY»

Судно для перевезення зрідженого природного газу (ЗПГ) CORAL ENERGY (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) [1] було спущено на воду в грудні 2012 року з німецької верфі Neptun Werft і передано компанії Anthony Veder.

Це перший у світі двопаливний газозов льодового класу 1А з прямим приводом. Розробка судна розпочалася у 2010 році для клієнта Skangass, скандинавського постачальника природного газу, для дистрибуції ЗПГ у Скандинавії. Skangass шукав невеликий або середній газозов, здатний виконати це завдання.

Відповідний розмір судна, залежно від потреб заводу і терміналу, був визначений після процесу логістичної оптимізації. Завдяки CORAL ENERGY Skangass і Anthony Veder роблять можливим екологічно чисту доставку ЗПГ як екологічно чистого джерела енергії у віддалені місця і на невеликі термінали, де ЗПГ може використовуватися як бункерне паливо для інших суден, для виробництва електроенергії або роздрібної торгівлі.

Однією з інновацій, застосованих на судні, є двопаливний двигун з прямим приводом. Таким чином, пропульсивна система є ефективною, а використання ЗПГ в якості суднового палива забезпечує екологічно чисту експлуатацію судна. Крім того, судно є навчальною платформою для голландських моряків, які отримують знання про ЗПГ як про вантаж і як про суднове паливо.

Завдяки розмірам судна та інноваційному пакету сумісності, розробленому власними силами, судно здатне завантажувати ЗПГ на всіх терміналах світового масштабу. Судно має льодовий клас 1А, що відкриває можливості для віддалених населених пунктів Північного регіону.

					<i>KPM.142.6222м.24.14.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Газовоз CORAL ENERGY

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

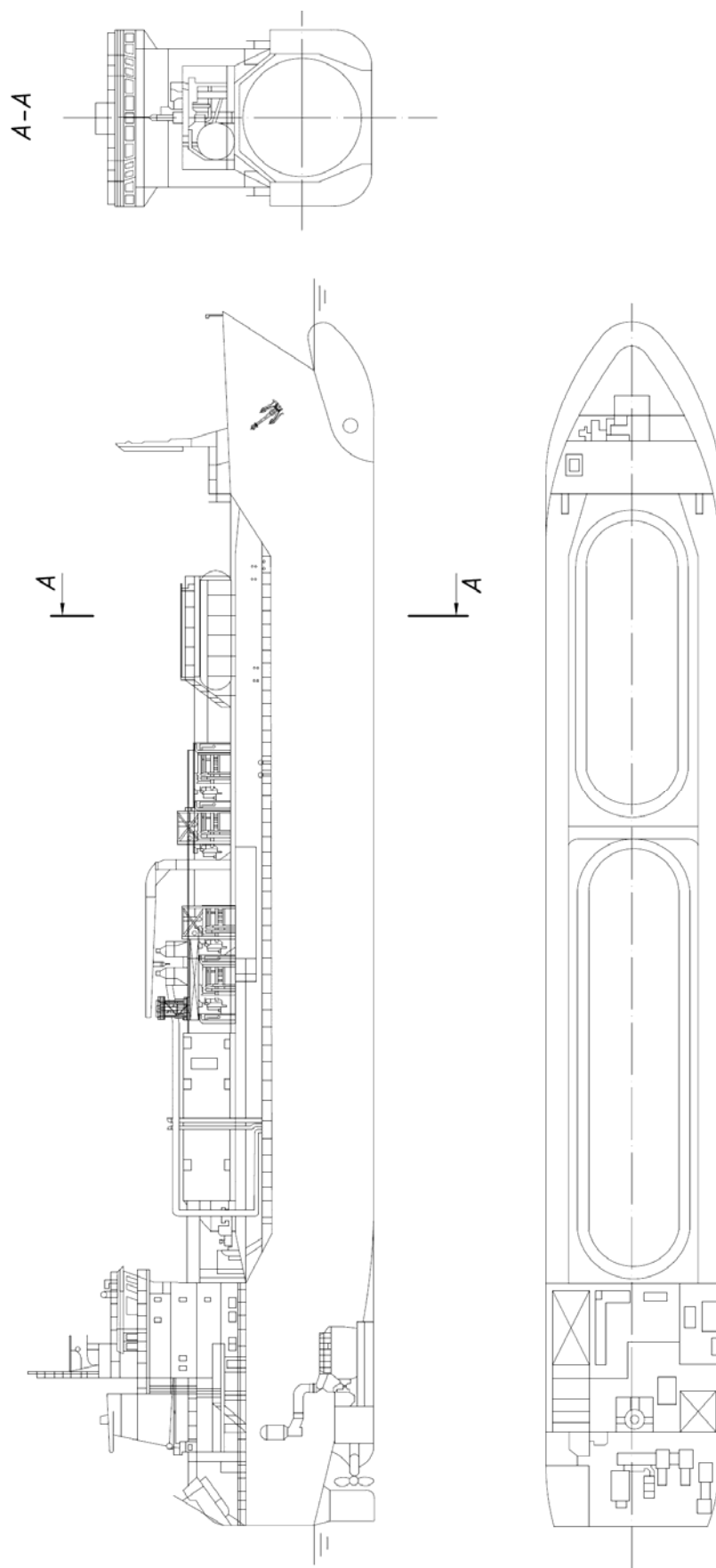


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд газовозу CORAL ENERGY

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ

Аркуш

7

Цей газовоз має загальну довжину 156 м і ширину 22,70 м, а також вантажопідйомність 15600 м³ ЗПГ, який під час транспортування охолоджується до мінус 164° С. CORAL ENERGY оснащений газовою силовою установкою з низьким рівнем викидів, що відповідає найвищим екологічним стандартам.

Судно ходить під прапором Нідерландів. Позивний судна – PCQG. MMSI – 246878000. IMO – 9617698.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	154,95
Довжина між перпендикулярами, м	146,67
Ширина найбільша, м	22,70
Баластна осадка, м	5,19
ЗПГ осадка, м	7,35
Літня осадка, м	8,45
Дедвейт з ЗПГ, т	8710
Дедвейт літній, т	12250
Швидкість судна, вуз	15,80
Вантажопідйомність, м ³	15600
Об'єм баластних цистерн, м ³	4908
Об'єм цистерн важкого палива, м ³	1400
Об'єм цистерн легкого палива, м ³	150
V I 'Hull, 'MACH, 'AUT-UMS Liquefied gas carrier, Unrestricted navigation, Ice Class 1A, MON SHAFT, CLEANSHIP 7+, SYS NEQ-1, AVM-DPS, Inwatersurvey, Green Passport Liquefied Gas Carrier Type 2G/1ER S.P 4.2 barg/F.R. -163°C	

Опис двигуна WARTSILA 6L20

Двигуни модельного ряду WARTSILA 6L20 [2] були вперше представлені на ринку у 1992 році, а вже у 1996 році повністю замінили двигуни моделі 22. При їх розробці були використані конструктивні рішення та експлуатаційний досвід роботи на важкому паливі, накопичений під час створення двигуна 22HF. Двигуни серії L20 представляють нове покоління, в основу конструкції якого покладені вимоги:

- забезпечення ефективної роботи на важких паливах;
- зниження вартості виробництва, монтажу та експлуатації;
- спрощення технічного обслуговування;
- мінімізація рівня викидів NO_x .

Важливо відзначити, що двигуни серії L20 мають нижчу вартість у порівнянні з попередніми моделями L22.

Технічні дані двигунів L20

Параметри	Розмірність	Величина
Діаметр циліндра	мм	200
Хід поршня	мм	280
Швидкість обертання	об/хв	1000
Потужність циліндра	кВт	180/200
Сер. ефект. тиск	бар	24,6/28,0
Ступінь стиску	-	15
Число циліндрів	рядне розташування	4L...9L

Для зменшення вмісту шкідливих компонентів у вихлопних газах, зокрема NO_x , компанія застосовує метод зволоження наддувочного повітря. У процесі цього в патрубок після компресора подається прісна вода, яка завдяки високій температурі стислого повітря випаровується. Насичене вологою повітря очищується від залишків рідини та спрямовується до циліндрів.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

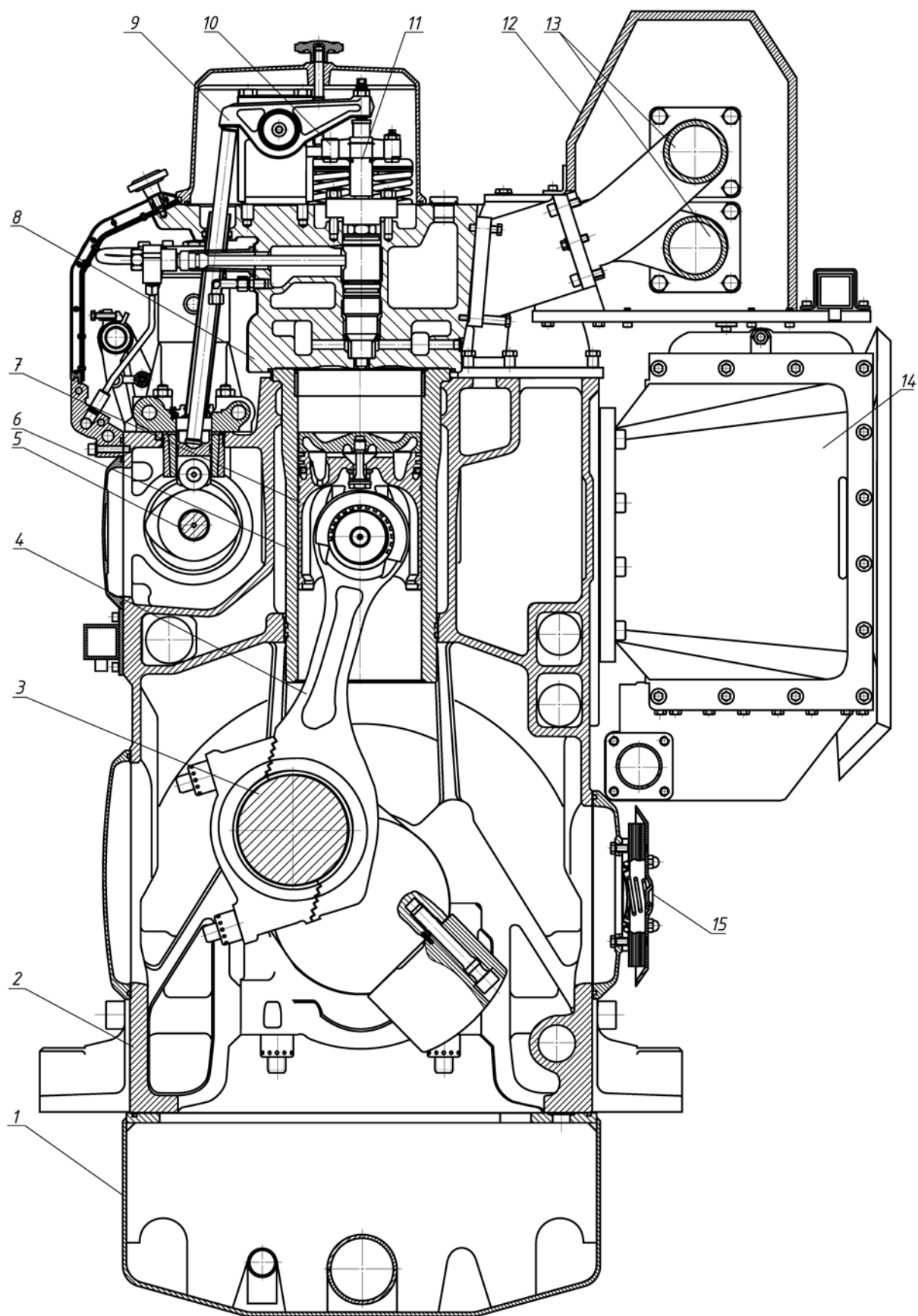


Рисунок 1.3 – Поперечний переріз двигуна WARTSILA 6L20

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6222м.24.14.00.ПЗ

Аркуш

10

Завдяки наявності води в процесі згоряння паливоповітряної суміші температура знижується, що дозволяє зменшити рівень NO_x до 50%.

Конструкція двигуна (рис. 1.3) побудована на принципі моноблочності. Кількість комплектуючих значно скорочена шляхом інтеграції низки деталей у моноблоки, а зовнішні трубопроводи замінені свердліннями в блоках. Зокрема, у моноблок (multi-duct) об'єднані патрубки, які виконують такі функції:

- подачу повітря з ресивера до кришки циліндра;
- створення обертального руху повітря для оптимізації згоряння палива на малих навантаженнях;
- відведення газів у вихлопну систему;
- відведення охолоджувальної води з кришки до відповідного каналу в блоці;
- охолодження та ізоляцію вихлопного патрубка;
- кріплення вихлопної системи до двигуна.

Кількість різьбових з'єднань суттєво зменшено, а частина з'єднань замінена на самоущільнювані ковзні посадки (plug-in), що скорочує обсяг монтажних робіт під час технічного обслуговування. Наприклад, кришку циліндра можна зняти без демонтажу патрубків для охолоджувальної води, наддувного повітря та мастила.

Стабільна подача палива, забезпечена високим тиском упорскування ($P_{\text{ф.макс}} = 1200$ бар, тиск відкриття голки форсунки – 450 бар), а також робочий процес з максимальним тиском $P_{\text{макс}} = 140$ бар, гарантують хорошу економічність у широкому діапазоні навантажень.

Кришка циліндра (рис. 1.4), виготовлена з чавуну, має жорстку коробчасту конструкцію, оснащена чотирма клапанами та трьома днищами. Для кришок двигунів Wartsila характерна наявність чотирьох шпильок для кріплення до блоку, що спрощує монтаж і забезпечує більше можливостей для вибору конфігурації внутрішніх клапанів. Особливу увагу приділено

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

охолодженню вогневого днища та зони вихлопних клапанів, щоб уникнути їхньої високотемпературної корозії.



Рисунок. 1.4 – Кришка циліндра

Блок двигуна (рис. 1.5) виготовлений із сфероїдального чавуну та має монолітну, жорстку і компактну конструкцію. Особливу увагу приділено забезпеченню високої жорсткості та мінімізації деформацій у зонах розташування втулок циліндрів і корінних підшипників.



Рисунок 1.5 – Блок двигуна

Моноблочна структура блоку, характерна для більшості високо- та середньообертних двигунів, дозволяє інтегрувати такі компоненти:

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- механізм газорозподілу;
- підшипники розподільного вала;
- ресивер наддувного повітря;
- канали для охолоджувальної води та мастила.

Корінний рамовий підшипник також виконує функцію обмеження осьового зсуву колінчастого валу. Кріплення двигуна до суднового фундаменту здійснюється через чотири опори з використанням еластичних амортизаторів.

Втулка циліндра (рис. 1.6) відзначається мінімальними деформаціями завдяки власній жорсткості та міцності посадкових поясів блоку.



Рисунок 1.6 – Втулка циліндра

Температура внутрішніх поверхонь втулки підтримується в оптимальних межах (160-200 °C) завдяки інтенсивному обертальному руху охолоджувальної води в зоні під посадковим фланцем. Для запобігання утворенню нагару на бічній поверхні головки поршня, який може полірувати дзеркало циліндра та викликати його знос, у верхній частині втулки встановлюється вогневе або антиполірувальне кільце (рис. 1.7).

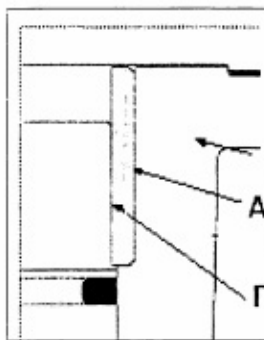


Рисунок 1.7 – Втулка циліндра з антиполіровочним кільцем

Поршень у двигуні (рис. 1.8) є складовою конструкцією, що складається зі сталевोї головки та тронка, виготовленого зі сфероїдального графіту. Такий матеріал забезпечує відмінні антизносні властивості та низьке теплове розширення, що дозволяє використовувати поршень із меншими зазорами в циліндрі порівняно з алюмінієвими компонентами.



Рисунок 1.8 – Поршень

У головці поршня розташована камера згоряння типу Гессельмана з високим коміром, що запобігає попаданню струменів палива на дзеркало циліндра. Охолодження головки забезпечується мастилом, яке подається через свердління у стержні шатуна. Виходячи з головки шатуна, мастило ущільнюється черевиком, що ковзає по її поверхні, і підтискається пружиною. Крім мастила, що розбризкується на стінки циліндра, додаткова подача

мастила забезпечується через отвори в тронку поршня. Це мастило відбирається з порожнини охолодження головки.

Така конструкція забезпечує достатню кількість мастила між поверхнями тертя поршня та втулки, запобігаючи задиркам і зносу навіть за екстремальних умов. Аналогічні рішення застосовуються у всіх двигунах цього модельного ряду. У головці поршня встановлено два компресійних і одне маслоснімне кільце з антифрикційним покриттям.

Шатун (рис. 1.9) має двотавровий переріз, виготовлений зі штампованої сталі. Верхня головка шатуна виконана зі ступінчастою формою: ширина нижньої частини, яка зазнає найбільших навантажень, збільшена, тоді як ширина верхньої частини зменшена, що дозволяє розширити опорну поверхню бобишок поршня.



Рисунок 1.9 – Шатун

Метеликовий підшипник шатуна має косий роз'єм і два болти, затяжка яких здійснюється за допомогою гідравлічних домкратів. У V-подібних середньообертних двигунах на одній мотильній шийці зазвичай розташовуються два шатуни, що призводить до необхідності зменшувати

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ширину підшипників і збільшувати питомі навантаження. Проте двигуни L20 виконані в рядному варіанті, що дозволило збільшити ширину підшипника та знизити питомий тиск. Вкладиші рамових і мотильних підшипників тришарові, тоді як головний підшипник виготовлений із бронзи.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Вдосконалення паливних насосів високого тиску (ПНВТ) для суднових двигунів є важливою складовою інновацій у морській техніці. Сучасні технологічні й екологічні вимоги стимулюють розробку нових рішень для підвищення ефективності та надійності ПНВТ. Основні напрямки вдосконалення включають:

- Підвищення точності впорскування палива
- Покращення матеріалів і конструктивних рішень
- Енергозбереження та зниження витрат
- Екологічна адаптація
- Інтеграція інтелектуальних технологій
- Підвищення надійності та довговічності
- Покращення умов експлуатації

Підвищення точності впорскування палива

Підвищення точності впорскування палива є одним із ключових напрямів вдосконалення паливних насосів високого тиску (ПНВТ) для суднових двигунів. Це завдання має велике значення для забезпечення ефективності, економічності та екологічності роботи суднових енергетичних установок. Основні аспекти цього напрямку включають:

1. Точне дозування палива

Точність у дозуванні палива є критично важливою для забезпечення оптимального співвідношення паливоповітряної суміші. Невеликі відхилення у кількості впорскуваного палива можуть призвести до зниження ефективності згоряння, підвищення витрат палива та збільшення викидів шкідливих речовин.

					<i>KPM.142.6222m.24.14.00.ПЗ</i>	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для досягнення цієї мети розробляються сучасні системи впорскування, які забезпечують:

- Високу стабільність об'єму впорскування навіть при зміні навантажень;
- Точність впорскування для кожного циклу згоряння;
- Гнучкість у роботі для різних видів палива, включаючи альтернативні.

2. Покращення розпилення палива

Ефективне згоряння потребує дрібнодисперсного розпилення палива. Сучасні ПНВТ дозволяють створювати дрібніші краплі, що забезпечує:

- Більш рівномірне згоряння;
- Зменшення залишкового нагару;
- Зниження викидів NO_x і CO_2 .

Удосконалення форсунок і підвищення тиску впорскування сприяють кращій атомізації палива та підвищенню ефективності його використання.

3. Використання електронних систем керування

Електронні системи впорскування (EFI) дозволяють інтегрувати інтелектуальні алгоритми управління паливною системою. Вони забезпечують:

- Точне регулювання моменту впорскування залежно від режиму роботи двигуна;
- Зменшення похибок у впорскуванні за рахунок автоматичного контролю;
- Адаптацію до змінних умов експлуатації, таких як температури, навантаження чи якість палива.

4. Підвищення тиску впорскування

Використання високих тисків впорскування (до 2000 бар і більше) є однією з головних тенденцій у сучасному дизайні ПНВТ. Високий тиск забезпечує:

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Максимальну атомізацію палива;
- Швидке змішування палива з повітрям;
- Мінімізацію незгорілих залишків.

Це дозволяє досягти високої продуктивності двигуна при зниженні викидів шкідливих речовин.

5. Використання систем Common Rail

Системи Common Rail стають стандартом для сучасних суднових двигунів. Вони дозволяють:

- Накопичувати паливо під постійним високим тиском;
- Контролювати впорскування палива за допомогою електромагнітних або п'єзоелектричних клапанів;
- Забезпечувати точне дозування та розпилення незалежно від оборотів двигуна.

6. Моніторинг і діагностика

Сучасні ПНВТ обладнуються датчиками та системами моніторингу, які в реальному часі відслідковують:

- Тиск палива;
- Час і тривалість впорскування;
- Відхилення від заданих параметрів.

Це дозволяє оперативно коригувати роботу системи та попереджати можливі несправності.

Підвищення точності впорскування палива безпосередньо впливає на економічність роботи суднових двигунів, забезпечує зниження витрат палива та зменшує негативний вплив на довкілля. Цей напрям вдосконалення паливних насосів залишається одним із ключових у галузі суднобудування та морської техніки.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Покращення матеріалів і конструктивних рішень

Покращення матеріалів і конструктивних рішень є одним із ключових напрямів вдосконалення паливних насосів високого тиску (ПНВТ) для суднових двигунів. Зростаючі вимоги до ефективності, довговічності та екологічності суднових енергетичних установок стимулюють розробку інноваційних підходів до створення компонентів паливної системи. Цей напрям спрямований на підвищення надійності, зниження зношуваності та оптимізацію процесів виробництва й експлуатації.

1. Використання високотехнологічних матеріалів

Вдосконалення матеріалів є важливим кроком до підвищення довговічності та ефективності роботи ПНВТ. Сучасні підходи включають:

- Застосування зносостійких сплавів: Наприклад, для виготовлення плунжерів і клапанів використовуються леговані сталі або сплави з високою твердістю, що знижують тертя та знос.
- Антикорозійні покриття: Використання спеціальних покриттів для захисту насосних компонентів від корозії при роботі з низькосірковими чи альтернативними видами палива.
- Новітні композити: Впровадження композитних матеріалів, які поєднують легкість із високою міцністю.

2. Оптимізація конструктивних рішень

- Зменшення кількості деталей: Удосконалення конструкції насосів через інтеграцію кількох функціональних елементів у одну деталь, що зменшує ризик збоїв і спрощує обслуговування.
- Моноблочні конструкції: Впровадження моноблоків, які дозволяють скоротити кількість з'єднань, зменшити ризик витоків і підвищити надійність системи.
- Поліпшення геометрії компонентів: Оптимізація форми плунжерів, клапанів та інших компонентів для зниження тертя і поліпшення гідравлічних характеристик.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Поліпшення поверхневих властивостей

- Застосування методів поверхневої обробки: Використання технологій, таких як лазерна обробка, азотування, хромування або алмазоподібні покриття (DLC), для підвищення зносостійкості поверхонь деталей.
- Полірування робочих поверхонь: Забезпечення мінімального шорсткості поверхонь для зменшення втрат енергії та підвищення ефективності роботи насоса.

4. Стійкість до впливу екстремальних умов

Паливні насоси високого тиску повинні працювати стабільно навіть за складних умов експлуатації. Для цього розробляються:

- Теплостійкі матеріали: Компоненти, здатні витримувати високі температури та зберігати свої механічні властивості.
- Стійкість до кавітації: Удосконалення конструкції для зменшення ризику пошкоджень від кавітаційних явищ у паливній системі.
- Адаптація до забрудненого палива: Використання матеріалів і конструкцій, що зменшують вплив механічних домішок у паливі на знос компонентів.

5. Енергоефективність і зменшення тертя

- Інноваційні рішення для зниження тертя: Використання низькофрикційних матеріалів і покриттів для збільшення ККД насосів.
- Оптимізація потоку палива: Розробка гідравлічних каналів з покращеною аеродинамікою, які зменшують втрати енергії при перекачуванні палива.

6. Легкість обслуговування

- Модульні конструкції: Забезпечення можливості швидкого доступу до основних компонентів насоса для їхнього ремонту чи заміни.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Зменшення часу технічного обслуговування: Використання самоущільнюваних з'єднань і легко розбірних конструкцій, що полегшує монтаж та демонтаж елементів насоса.

7. Зменшення ваги і розмірів

Завдяки впровадженню нових матеріалів та інноваційних конструктивних рішень сучасні ПНВТ стають компактнішими й легшими, що зменшує загальну вагу суднової силової установки та підвищує її енергоефективність.

Переваги вдосконалення матеріалів і конструкції

Покращення матеріалів і конструктивних рішень забезпечує такі переваги:

- Збільшення довговічності компонентів;
- Зниження експлуатаційних витрат;
- Підвищення надійності роботи системи;
- Відповідність сучасним екологічним стандартам.

Цей напрям вдосконалення паливних насосів високого тиску є важливим кроком у створенні більш ефективних і довговічних суднових двигунів, що сприяє підвищенню продуктивності суден і зменшенню їхнього впливу на довкілля.

Енергозбереження та зниження витрат

Енергозбереження та зниження витрат є одним із ключових напрямів вдосконалення паливних насосів високого тиску для суднових двигунів. Удосконалення цих систем спрямоване на підвищення ефективності роботи двигуна, зниження експлуатаційних витрат і мінімізацію негативного впливу на довкілля.

1. Підвищення ККД насосів

Ефективність паливних насосів безпосередньо впливає на витрати енергії судна. Основними шляхами досягнення високого коефіцієнта корисної дії є:

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Оптимізація внутрішніх механізмів: Зниження механічних втрат через впровадження низькофрикційних матеріалів і вдосконалення конструкції плунжерів та клапанів.

- Мінімізація втрат енергії: Розробка гідравлічних каналів з покращеною аеродинамікою, які забезпечують ефективніше транспортування палива.

- Зниження тертя: Використання інноваційних покриттів і обробки поверхонь для зменшення зношування деталей та покращення енергозбереження.

2. Зменшення витрат пального

Сучасні ПНВТ розробляються з акцентом на економне використання палива. Це досягається завдяки:

- Точному дозуванню палива: Забезпечення оптимального співвідношення паливоповітряної суміші для кожного циклу згоряння.

- Адаптації до режимів роботи: Використання систем керування, які автоматично регулюють параметри впорскування відповідно до навантаження на двигун.

- Роботі з альтернативними паливами: Насоси, здатні працювати з біопаливом чи низькосірковими палива, забезпечують економію на закупівлі традиційного пального.

3. Зниження експлуатаційних витрат

- Підвищення довговічності: Використання зносостійких матеріалів і покриттів продовжує термін служби насосів, зменшуючи потребу в ремонтах.

- Скорочення часу обслуговування: Вдосконалення конструкції для полегшення доступу до основних компонентів насоса.

- Модульний підхід: Заміна лише зношених модулів, а не всього насоса, зменшує витрати на обслуговування.

4. Використання енергозберігаючих технологій

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Електронні системи керування: Забезпечують точне регулювання тиску та часу впорскування, що знижує витрати енергії.
- Автоматизація процесів: Інтеграція інтелектуальних систем для моніторингу та оптимізації роботи паливної системи.
- Енергозбереження під час роботи на малих навантаженнях: Зменшення енергоспоживання насоса при роботі двигуна на низьких обертах.

5. Зменшення теплових втрат

- Ефективне управління тепловим режимом роботи ПНВТ сприяє економії енергії. Це досягається через:
 - Поліпшення системи охолодження: Використання інноваційних технологій для зниження перегріву компонентів насоса.
 - Теплоізоляція: Зменшення теплових втрат у робочих зонах насоса.

6. Перехід до компактних і легких конструкцій

Сучасні ПНВТ розробляються з урахуванням зменшення ваги і розмірів, що сприяє зниженню енерговитрат на транспортування та монтаж. Менша вага насоса також зменшує загальну вагу суднової установки, підвищуючи її ефективність [3].

Переваги енергозбереження та зниження витрат

- Зменшення загальних витрат на експлуатацію судна;
- Підвищення рентабельності морських перевезень;
- Зниження шкідливих викидів завдяки ефективнішому використанню пального;
- Зменшення частоти технічного обслуговування та ремонтів.

Цей напрям вдосконалення ПНВТ є важливим кроком до створення більш економічних і екологічних суднових двигунів, що відповідають сучасним вимогам судноплавної галузі. Енергозбереження та оптимізація витрат сприяють не лише економічним перевагам, а й підвищенню екологічності морських перевезень.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Екологічна адаптація

Екологічна адаптація є одним із ключових напрямів вдосконалення паливних насосів високого тиску суднових двигунів, спрямованим на зниження шкідливого впливу судноплавства на довкілля. У зв'язку з посиленням міжнародних екологічних стандартів, таких як MARPOL Annex VI, і запровадженням зон контролю викидів (ECA), паливні системи сучасних суден повинні відповідати вимогам щодо зменшення емісії шкідливих речовин, зокрема NO_x , SO_x і CO_2 .

1. Зменшення викидів NO_x

Викиди оксидів азоту (NO_x) є основним фактором забруднення атмосфери, який сприяє утворенню кислотних дощів та впливає на зміну клімату. Для зниження рівня NO_x у суднових двигунах ПНВТ вдосконалюються у таких аспектах:

- Точне дозування палива: Забезпечує оптимальну температуру та тривалість згоряння, що мінімізує утворення NO_x .
- Впровадження систем впорскування з водяним зволоженням: Змішування впорскуваного палива з водяною парою знижує температуру згоряння і рівень емісії NO_x .
- Робота на багатоступеневих режимах впорскування: Контрольована подача палива у кілька етапів дозволяє досягти більш ефективного згоряння.

2. Зниження викидів SO_x

Сірчані оксиди (SO_x) є результатом використання палива з високим вмістом сірки. Для зниження емісії SO_x впроваджуються такі рішення:

- Адаптація до низькосіркових палив: Сучасні ПНВТ розробляються для роботи з паливом, яке відповідає стандартам ІМО щодо вмісту сірки (максимум 0,5% поза ECA та 0,1% у зонах контролю).

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Сумісність з альтернативними видами палива: Використання біопалива, синтетичного палива або скрапленого природного газу (СПГ) забезпечує значне зниження емісії SO_x .

3. Зменшення викидів CO_2

Для боротьби зі зміною клімату міжнародні організації встановлюють цілі зі скорочення викидів CO_2 у судноплавстві. ПНВТ вдосконалюються у напрямку підвищення енергоефективності, що сприяє зменшенню споживання палива та викидів CO_2 :

- Оптимізація процесу згоряння: Точне керування параметрами впорскування забезпечує повніше згоряння палива та зниження викидів парникових газів.

- Інтеграція з гібридними силовими установками: Сучасні насоси можуть працювати в умовах поєднання традиційних двигунів з електроприводами, що сприяє зменшенню споживання палива.

4. Сумісність із системами очищення вихлопних газів

Для додаткового зниження викидів ПНВТ інтегруються із системами післяобробки вихлопних газів, такими як:

- Каталітичні нейтралізатори (SCR): Знижують рівень NO_x у вихлопних газах.

- Скрабери: Видаляють SO_x з вихлопів, що дозволяє використовувати паливо з вищим вмістом сірки без порушення екологічних стандартів.

5. Робота з альтернативними видами палива

Сучасні ПНВТ адаптуються для використання різних видів альтернативного пального, таких як:

Скраплений природний газ (СПГ): Забезпечує значно менші викиди NO_x , SO_x і CO_2 порівняно з традиційними паливами.

Біопаливо та синтетичне паливо: Сприяють зменшенню вуглецевого сліду, оскільки виробляються з відновлюваних джерел.

6. Використання інтелектуальних систем моніторингу

Сучасні ПНВТ обладнуються сенсорами для контролю параметрів роботи, таких як:

Тиск і тривалість впорскування;

- Споживання палива;
- Викиди шкідливих речовин.
- Ці системи дозволяють автоматично налаштовувати роботу насоса

для відповідності екологічним вимогам у реальному часі.

Переваги екологічної адаптації

- Зниження впливу судноплавства на довкілля;
- Відповідність міжнародним екологічним стандартам;
- Підвищення енергоефективності двигунів;
- Зменшення витрат на паливо та оплату екологічних зборів.

Екологічна адаптація є не лише вимогою сучасності, а й важливою частиною стратегії сталого розвитку судноплавства. Вдосконалення паливних насосів високого тиску в цьому напрямі сприяє підвищенню ефективності та екологічності роботи суден, забезпечуючи їх відповідність вимогам майбутнього.

Інтеграція інтелектуальних технологій

Інтеграція інтелектуальних технологій у паливні насоси високого тиску судових двигунів є одним із провідних напрямів їх вдосконалення. Застосування цифрових рішень дозволяє значно підвищити ефективність роботи насосів, забезпечити точний контроль процесу впорскування палива та адаптувати роботу двигуна до змінних умов експлуатації.

1. Електронні системи керування (EFI)

Одним із ключових напрямів інтеграції інтелектуальних технологій є впровадження електронних систем впорскування. Вони забезпечують:

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Точне регулювання параметрів впорскування: Час, об'єм та тиск впорскування палива налаштовуються залежно від поточних режимів роботи двигуна.

- Гнучкість в роботі з різними видами палива: Автоматична адаптація до характеристик пального, включаючи альтернативні види.

- Оптимізацію витрат палива: Підвищення економічності завдяки точному дозуванню.

2. Системи моніторингу в реальному часі

Сучасні ПНВТ оснащуються сенсорами та системами моніторингу, які збирають дані про роботу насоса й двигуна:

- Контроль тиску, температури та тривалості впорскування: Постійний аналіз параметрів дозволяє забезпечити стабільну роботу двигуна.

- Виявлення несправностей: Система попереджає про відхилення в роботі, дозволяючи уникнути серйозних поломок.

- Збір даних для аналізу: Інформація зберігається та використовується для прогнозування технічного стану насоса й оптимізації його роботи.

3. Використання алгоритмів машинного навчання

Інтеграція алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) дозволяє створювати адаптивні системи управління:

- Автоматичне налаштування: Система самостійно коригує параметри роботи насоса на основі історичних даних і поточних умов.

- Прогнозування зношування: Завдяки аналізу експлуатаційних даних система прогнозує термін служби компонентів та визначає час для їхньої заміни.

- Оптимізація робочих процесів: ШІ аналізує режими роботи двигуна, пропонуючи рекомендації для підвищення ефективності.

4. Інтеграція з судновими системами управління

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сучасні ПНВТ можуть бути частиною загальної системи управління судном, що дозволяє:

- Синхронізацію роботи: Паливна система працює у взаємодії з іншими системами, такими як двигуни, генератори та системи очищення вихлопних газів.
- Віддалений доступ і керування: Система дозволяє здійснювати контроль і налаштування роботи насосів у режимі реального часу з диспетчерських пунктів або через хмарні сервіси.

5. Інтелектуальні системи діагностики

- Самодіагностика: Насоси оснащуються функцією самостійної перевірки справності, що значно зменшує час на технічне обслуговування.
- Попереджувальна діагностика: Завдяки аналізу параметрів роботи система попереджає про можливі несправності до їхнього виникнення.

6. Автоматизація обслуговування

Інтелектуальні технології дозволяють автоматизувати низку процесів:

- Планування технічного обслуговування: Система прогнозує потребу в обслуговуванні на основі зібраних даних.
- Зменшення людського фактору: Автоматизація знижує ризик помилок, пов'язаних із неправильними налаштуваннями чи недоліками обслуговування.

7. Впровадження цифрових двійників

Цифровий двійник — це віртуальна модель, яка точно відображає роботу ПНВТ:

- Тестування без фізичного втручання: Можливість перевірки змін у конструкції чи налаштуваннях.
- Аналіз роботи в різних режимах: Система імітує роботу насоса за різних умов, допомагаючи знайти оптимальні параметри.

Переваги інтеграції інтелектуальних технологій

- Підвищення точності впорскування палива;

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Зниження витрат на паливо та обслуговування;
- Збільшення довговічності системи;
- Зменшення викидів шкідливих речовин;
- Забезпечення стабільної роботи навіть у складних умовах.

Інтеграція інтелектуальних технологій у паливні насоси високого тиску дозволяє створити високоефективні, надійні та екологічно чисті системи, які відповідають сучасним і майбутнім вимогам судноплавної галузі. Це не лише підвищує ефективність роботи судових двигунів, а й сприяє загальному прогресу в сфері морських технологій.

Підвищення надійності та довговічності

Підвищення надійності та довговічності паливних насосів високого тиску судових двигунів є одним із ключових напрямів їх вдосконалення. Оскільки паливна система відіграє критичну роль у забезпеченні стабільної роботи судового двигуна, особлива увага приділяється створенню компонентів, які можуть працювати без збоїв у складних умовах морської експлуатації [4].

1. Використання високоякісних матеріалів

- Зносостійкі сплави: Для виготовлення плунжерів, клапанів та інших критичних компонентів використовуються матеріали з високими антифрикційними властивостями.
- Антикорозійні покриття: Захист від корозії забезпечується завдяки використанню спеціальних покриттів, які зберігають властивості деталей навіть при роботі з низькосірковими або альтернативними видами палива.
- Теплостійкі матеріали: Сучасні матеріали зберігають міцність і стабільність навіть за високих температур і тиску.

2. Покращення конструктивних рішень

- Зменшення кількості з'єднань: Введення моноблочних конструкцій дозволяє зменшити кількість з'єднань, які можуть бути джерелом витоків або механічних пошкоджень.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Самоущільнювані з'єднання: Використання ковзних посадок (plug-in) для з'єднань знижує ризик несправностей і полегшує обслуговування.

- Оптимізація гідравлічних каналів: Розробка каналів із покращеною геометрією сприяє рівномірному розподілу тиску та мінімізації гідравлічних втрат.

3. Зменшення впливу зносу

- Поліпшення поверхневих властивостей: Застосування покриттів, таких як алмазоподібні (DLC), підвищує стійкість деталей до механічного зносу.

- Мінімізація тертя: Використання низькофрикційних матеріалів та обробки поверхонь зменшує тертя між рухомими частинами, що подовжує їхній ресурс.

- Захист від забруднень: Інтеграція високоефективних фільтрів і систем очищення пального зменшує ризик пошкодження насоса через сторонні частинки.

4. Стійкість до екстремальних умов

- Захист від кавітації: Удосконалення конструкції насосів для мінімізації кавітаційних явищ, які можуть спричиняти пошкодження поверхонь.

- Стабільна робота за змінних умов: Насоси проектуються для роботи при високій вологості, змінних температурах і за наявності ударних навантажень, характерних для морських умов.

5. Інтелектуальні системи діагностики

- Моніторинг зносу: Оснащення насосів сенсорами, які контролюють ключові параметри роботи та попереджають про початок зношення компонентів.

- Попереджувальна діагностика: Системи виявлення несправностей дозволяють уникати аварійних ситуацій шляхом вчасного технічного обслуговування.

- Прогнозування терміну служби: Аналіз даних про експлуатацію дає змогу точно оцінити ресурс компонентів і запланувати їх заміну.

6. Оптимізація технічного обслуговування

- Модульні конструкції: Забезпечують легкий доступ до окремих компонентів насоса, зменшуючи час на ремонт.

- Простота розбирання: Конструкції передбачають швидке зняття та встановлення ключових частин, таких як плунжери чи клапани, без складного демонтажу.

- Довші інтервали обслуговування: Завдяки використанню довговічних матеріалів та компонентів скорочуються витрати часу й ресурсів на обслуговування.

7. Тестування і контроль якості

- Випробування у реальних умовах: Перед запуском у серійне виробництво насоси проходять випробування на стендах, які імітують реальні умови експлуатації.

- Автоматизований контроль виробництва: Використання сучасних технологій контролю забезпечує високу точність виготовлення та відповідність деталей заданим стандартам.

Переваги підвищення надійності та довговічності

- Зменшення витрат на ремонт і обслуговування;
- Підвищення продуктивності та економічності роботи суднових двигунів;

- Зниження ризику аварійних зупинок;
- Підвищення стійкості до впливу зовнішніх чинників;
- Відповідність сучасним стандартам безпеки та екологічності.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підвищення надійності та довговічності паливних насосів високого тиску дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики суднових двигунів. Інтеграція інноваційних матеріалів, сучасних конструктивних рішень і систем моніторингу сприяє створенню надійних і ефективних паливних систем, які відповідають вимогам сучасного судноплавства.

Покращення умов експлуатації

Покращення умов експлуатації є важливим напрямом вдосконалення паливних насосів високого тиску (ПНВТ) суднових двигунів, спрямованим на забезпечення стабільної, ефективної та зручної роботи цих систем у складних умовах морської експлуатації. Врахування особливостей роботи суднових силових установок дозволяє зменшити ризик несправностей, полегшити обслуговування та підвищити загальну ефективність.

1. Зменшення впливу зовнішніх факторів

- **Стійкість до екстремальних умов:** Насоси розробляються для роботи при високій вологості, корозійному середовищі, різких змінах температури та вібраційних навантаженнях.
- **Захист від механічного зносу:** Удосконалення матеріалів та покриттів забезпечує довговічність насосів навіть при використанні пального низької якості або з домішками.
- **Стійкість до кавітації:** Конструктивні рішення мінімізують ризик виникнення кавітаційних пошкоджень, які часто трапляються у морських умовах.

2. Оптимізація технічного обслуговування

- **Модульні конструкції:** Інтеграція модульних компонентів дозволяє швидко замінювати або ремонтувати окремі частини насоса без необхідності повного демонтажу.
- **Самоущільнювані з'єднання:** Використання сучасних типів ущільнень (plug-in) зменшує час, потрібний для обслуговування.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Автоматизація процесів: Впровадження інтелектуальних систем самодіагностики дозволяє оперативно виявляти несправності та планувати ремонт.

3. Зручність у роботі

- Простота монтажу та демонтажу: Нові конструктивні рішення забезпечують легкий доступ до ключових вузлів, що значно спрощує встановлення та обслуговування насосів.

- Зменшення кількості рухомих частин: Це знижує ризик несправностей і полегшує експлуатацію.

- Віддалений моніторинг: Сучасні системи забезпечують можливість контролю параметрів роботи насоса у реальному часі, що підвищує зручність для оператора.

4. Підвищення надійності в умовах змінного пального

- Адаптація до різних видів пального: Насоси проектуються для роботи як із традиційним паливом, так і з альтернативними видами, такими як біопаливо чи скраплений природний газ (СПГ).

- Фільтраційні системи: Інтеграція вискоєфективних фільтрів для очищення пального забезпечує тривалішу роботу насосів без необхідності частого обслуговування.

5. Зменшення ваги та габаритів

- Компактні конструкції: Зменшення розмірів та ваги насосів дозволяє економити простір у машинному відділенні судна.

- Легка інтеграція: Полегшення інтеграції насосів у загальну систему суднового двигуна сприяє швидшому монтажу та налаштуванню.

6. Зниження енергоспоживання

- Оптимізація гідравлічної частини: Використання сучасних технологій дозволяє зменшити енергетичні втрати у насосах.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Інтелектуальне керування: Системи автоматизації регулюють роботу насоса залежно від потреб двигуна, знижуючи енергоспоживання при малих навантаженнях.

7. Інтеграція систем самодіагностики

- Моніторинг у реальному часі: Насоси оснащуються сенсорами, які контролюють параметри роботи, такі як тиск, температура та тривалість впорскування.

- Прогнозування обслуговування: Системи аналізують дані про роботу насоса, попереджаючи про необхідність технічного втручання.

Переваги покращення умов експлуатації

- Скорочення часу та витрат на обслуговування;
- Підвищення надійності роботи насосів у складних умовах;
- Полегшення роботи операторів завдяки автоматизації;
- Зниження ризику аварійних зупинок;
- Відповідність сучасним вимогам до суднового обладнання.

Покращення умов експлуатації є важливим аспектом вдосконалення паливних насосів високого тиску, спрямованим на підвищення надійності, зручності та ефективності їхньої роботи. Завдяки інтеграції інноваційних технологій і конструктивних рішень, сучасні ПНВТ відповідають високим стандартам судноплавної галузі, забезпечуючи надійну роботу суден навіть у найскладніших умовах [5].

Удосконалення паливних насосів високого тиску є ключовим напрямом розвитку суднових двигунів, який сприяє підвищенню ефективності роботи суден, зменшенню їх впливу на довкілля та зниженню витрат на експлуатацію. Інтеграція сучасних технологій і новітніх матеріалів дозволяє створювати насоси, які відповідають найвищим стандартам сучасного суднобудування.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ

Тепловий розрахунок двигуна WARTSILA 6L20

Метод Гриневецького-Мазінга є одним із найбільш поширених і ефективних підходів для розрахунку робочого циклу поршневих двигунів внутрішнього згоряння. Він базується на енергетичних співвідношеннях у циліндрі двигуна, що дозволяє моделювати процеси, які відбуваються під час згоряння палива, зміни об'єму та теплових обмінів. Цей метод широко застосовується для аналізу і проектування двигунів, зокрема суднових.

Метод Гриневецького-Мазінга ґрунтується на спрощених фізико-математичних моделях, що описують робочий цикл двигуна. Основні припущення включають:

- Ізохорний характер згоряння: Процес згоряння розглядається як відбувається при постійному об'ємі в циліндрі.
- Поділ процесів: Цикл двигуна розбивається на окремі стадії (впуск, стиск, згоряння, розширення, випуск), кожна з яких описується окремими рівняннями.
- Однорідність середовища: Суміш у циліндрі вважається однорідною, а теплообмін рівномірним.
- Ідеалізація термодинамічних процесів: Застосовуються рівняння стану ідеального газу.

Переваги методу:

- Простота розрахунків завдяки ідеалізації фізичних процесів.
- Можливість отримання швидких і достатньо точних оцінок параметрів двигуна.
- Використання для порівняльного аналізу різних конструктивних рішень і паливних систем.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вибір й обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 298$ К (за найгірших умов експлуатації).

Тиск навколишнього повітря P_0 . В усіх випадках варто приймати $P_0 = 0,1013$ МПа.

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

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 $\alpha = 2,33$.

Коефіцієнт залишкових газів γ_r . Вплив на значення цього коефіцієнту задають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. Приймаємо $\gamma_r = 0,025$.

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 проєктованого. Для МОД ці коефіцієнти лежать у межах: $\xi_z = 0,85 - 0,92$; $\xi_b = 0,90 - 0,98$.

Приймаємо $\xi_z = 0,95$; $\xi_b = 0,98$.

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Ступінь підвищення тиску λ залежить від бистрохідності двигуна, ступеня наддуву, організації процесів сумішоутворення та ряду інших факторів. Приймаємо $\lambda = 1,11$.

Підігрів заряду від стінок циліндру ΔT_a . Приймаємо $\Delta T_a = 10$ К.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають увагу на тип двигуна та особливості системи газообміну. Приймаємо $\zeta = 0,99$.

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.

Хімічний склад палива. Розрахунок проводиться на паливо середнього складу [6]: $C = 0,87$ кг - кількість вуглецю;

$H = 0,126$ кг - кількість водню;

$S = 0$ кг - кількість сірки

$O = 0,004$ кг - кількість кисню.

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

Результати розрахунку циклу двигуна

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 298 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,40}{0,1013} \right)^{0,286} - 1}{0,78} \right] = 481,805$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 481,805 - 0,9 \times (481,805 - 298) = 316,381$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{316,38 + 10 + 0,025 \times 700}{1 + 0,025} = 339,152$$

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

$$P_a = 0,98 \times P_s = 0,98 \times 0,395 = 0,387$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,387}{0,395} \times \frac{316,38}{339,152} \times \frac{1}{1 + 0,025} \times (1 - 0) = 0,956$$

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,363$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,387 \times 15^{1,364} = 15,515$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l-1} = 339,152 \times 15^{1,364-1} = 906,239$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,33}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,153$$

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,153} = 1,0274$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0274 + 0,025}{1 + 0,025} = 1,0268$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,95}{0,98} = 0,969$$

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0274 - 1}{1 + 0,025} \right) \times 0,969 = 1,026$$

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

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

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

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

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

$$T_z = 1811$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,11 \times 15,515 = 17,222$$

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,026}{1,11} \times \frac{1811}{906,239} = 1,848$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,848} = 8,118$$

$$n_2 = 1,283$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1811 \times \frac{1}{8,118^{1,283-1}} = 1002,565$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{17,222}{8,118^{1,283}} = 1,174$$

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{15,515}{15 - 1} \times \left[1,11 \times (1,848 - 1) + \frac{1,11 \times 1,848}{1,283 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{8,118^{1,283-1}} \right) - \frac{1}{1,363 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,363-1}} \right) \right] = 2,725$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,725 \times 0,99 \times (1 - 0) = 2,697$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,387 \times 0,956}{2,33 \times 0,495 \times 316,38 \times 2,697} = 0,166$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,166 \times 42700} = 0,508$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,697 \times 0,91 = 2,455$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,508 \times 0,91 = 0,47$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,166}{0,91} = 0,1825$$

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,2^2 \times 0,28 \times 0,5 \times 2,455 \times 1000 \times 6 = 1080,455$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{1080,455 - 1080}{1080,455} = 0,042\%$$

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

Визначення дійсного Π_k компресора на даному режимі роботи двигуна

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,2^2}{4} \right) \times 0,28 \times \left(\frac{0,395 \times 10^6}{287 \times 316,38} \right) \times 0,956 \times 6 \times 0,5 \times \left(\frac{1000}{60} \right) \times 1 = 1,92$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 1,92 + 0,1825 \times \frac{1080}{3600} = 1,975$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,88 \times 0,4 = 0,352$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 1002,565 \times \left(\frac{0,352}{1,174} \right)^{\frac{1,283-1}{1,283}} = 768,908$$

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

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,33 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,33 \times 0,495) = 1,185$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,185 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,185 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,33 - 1) \times 0,495}{1,185 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,33 \times 0,495}{1,185 \times 296,8}} = 287,448$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 768,908) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 768,908} = 1,376$$

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 P_k &= \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_s}{k_s - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = \\
 &= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,376}{1,376 - 1} \right) \times 287,448 \times 768,908 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,352}{0,1013} \right)^{\frac{1,376 - 1}{1,376}}} \right] \times 0,95 \times 0,81 \times 1,975}{1,92 \times 287 \times 293 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,81}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,949
 \end{aligned}$$

$$P_{kd} = P_k \times P_0 = 4,0 \times 0,1013 = 0,4001$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,4001 - 0,4}{0,4001} = 0,015\%$$

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

Розрахунок та побудова індикаторної діаграми

Розрахункову індикаторну діаграму будують по даним розрахунку робочого циклу. Надалі ця діаграма є вхідними даними для динамічного розрахунку та розрахунку на міцність двигуна. Побудову діаграми виконують аналітичним способом, так як графічні методи побудови дають великі похибки.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ординати точок політропи стиснення та розширення обчислюють за наступними формулами:

– для процесу стиснення:

$$p = \frac{p_c}{(V/V_c)^{n_1}};$$

– для процесу розширення:

$$p = \frac{p_z \cdot \rho^{n_2}}{(V/V_c)^{n_2}};$$

де $v/v_c = \varepsilon_x$ - відношення об'ємів, яке представляє собою поточне значення ступеня стиснення.

Для розрахунку та побудови індикаторної діаграми необхідно ввести наступні дані:

Показник політропи стиснення n_1	1,363
Показник політропи розширення n_2	1,283
Тиск кінця стиснення p_c , МПа	15,515
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	17,222
Ступінь попереднього розширення ρ	1,848
Ступінь стиснення ε	15

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми

V/V_c	$p_{ст}$	$p_{розш}$
1,00	17,22	
1,00	15,52	17,22
1,85	6,72	17,22
2,51	4,44	11,65
3,16	3,23	8,64
3,82	2,50	6,78
4,48	2,01	5,53
5,14	1,67	4,64
5,79	1,42	3,98
6,45	1,22	3,46
7,11	1,07	3,06

7,77	0,95	2,73
8,42	0,85	2,46
9,08	0,77	2,23
9,74	0,70	2,04
10,40	0,64	1,88
11,05	0,59	1,74
11,71	0,54	1,61
12,37	0,50	1,50
13,03	0,47	1,41
13,68	0,44	1,32
14,34	0,41	1,24
15,00	0,39	1,17
15,00		0,39

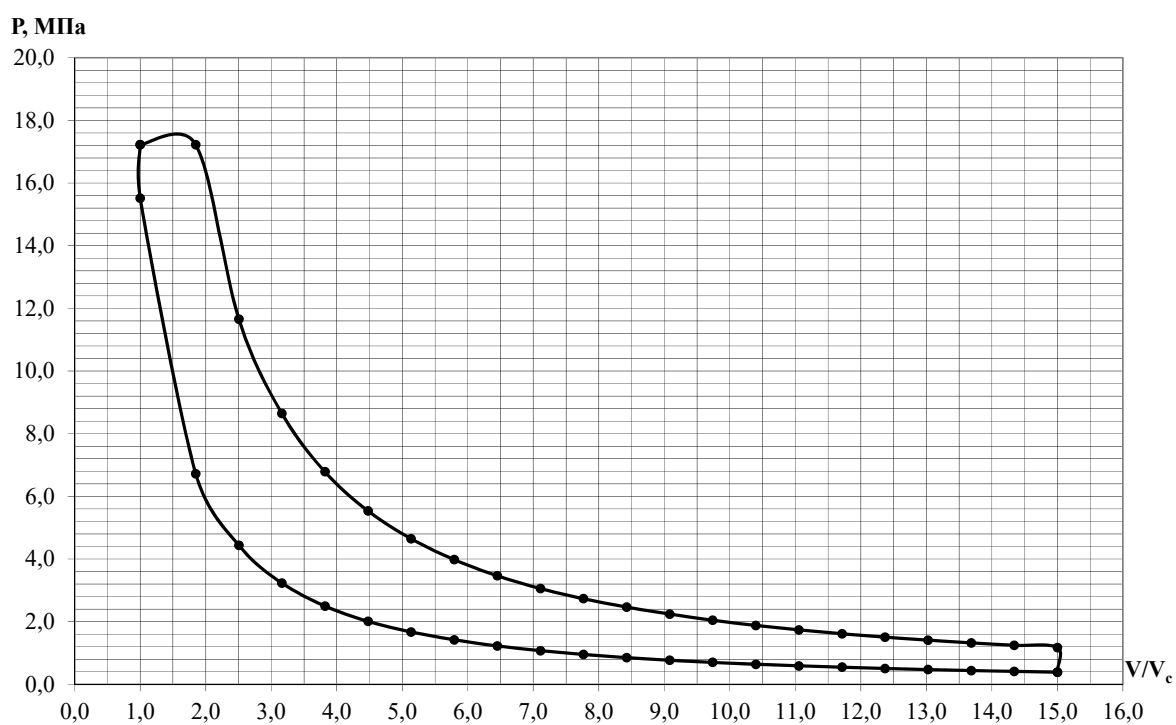


Рисунок 3.1 – Індикаторна діаграма

Перевірочний розрахунок динаміки двигуна

Сили інерції зворотно-поступальних рухомих мас обчислюють за формулою:

$$P_j = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

Сила інерції обертових мас діє по радіусу кривошипа і визначається по формулі:

$$Pr = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r$$

Сили тиску газів в циліндрі двигуна залежно від ходу поршня визначають по індикаторній діаграмі, побудованій за даними теплового розрахунку або отриманій експериментально.

Сила тиску газів на поршень, яка діє по осі циліндра, дорівнює:

$$P_r^x = (P_x - P_0) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Сила, яка діє по осі кривошипа, дорівнює:

$$Z = P_w \cdot \cos(\varphi + \beta) = \frac{P}{\cos \beta} \cdot \cos(\varphi + \beta)$$

Дотична сила визначається формулою:

$$T = P_w \cdot \sin(\varphi + \beta) = \frac{P}{\cos \beta} \cdot \sin(\varphi + \beta)$$

Добуток сили T на радіус r називають крутним моментом двигуна:

$$M_k = T \cdot r = r \cdot \frac{P}{\cos \beta} \cdot \sin(\varphi + \beta)$$

У таблиці 3.2. представлені необхідні параметри для динамічного розрахунку двигуна.

Розрахунок виконаний за допомогою програми Excel і представлений в таблиці 3.3, 3.4. За даними розрахунку будуються діаграми зображені на рис. 3.2 – 3.4.

На рис. 3.2. P_x – сила тиску газів на поршень; P_j – сила інерції одного циліндра двигуна; $P_{ш}$ – рушійна сила (вертикальна сила, що діє на центр поршневого пальця).

На рис. 3.3. N – нормальна сила, яка притискує поршень до втулки; Z – сила, що діє по осі кривошипа; T – дотична сила.

На рис. 3.4 T_E – сумарні дотичні сили, $T_{срЕ}$ – середнє значення сумарних дотичних сил.

Таблиця 3.2 – Вхідні дані по розрахунку діючих зусиль

Діаметр поршня	м	D	0,2
Частота обертання КВ	хв ⁻¹	n	1000
Максимальний тиск згоряння	МПа	P_z	17,222
Тиск на початку стиску	МПа	P_a	0,387
Тиск наддуву	МПа	P_k	0,4
Тиск залишкових газів	МПа	P_r	0,45
Кривошипно-шатунне відношення		λ	0,31
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	34
Радіус кривошипа	м	r	0,14
Ступінь стиснення		ε	15
Показник політропи стиснення		n_1	1,363
Показник політропи розширення		n_2	1,283
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,848
Кількість циліндрів		i	6

Таблиця 3.3 – Результати динамічного розрахунку

φ°	P _r	P _j	P _{dv}	N	Z	T	V/V _c
0	0,4000	-2,1755	-1,7755	0,0000	-1,7755	0,0000	1,0000
10	0,4000	-2,1193	-1,7193	-0,0926	-1,6770	-0,3898	1,1326
20	0,4000	-1,9549	-1,5549	-0,1655	-1,4046	-0,6873	1,5240
30	0,4000	-1,6956	-1,2956	-0,2024	-1,0208	-0,8231	2,1554
40	0,4000	-1,3616	-0,9616	-0,1942	-0,6118	-0,7668	2,9973
50	0,4000	-0,9781	-0,5781	-0,1399	-0,2644	-0,5328	4,0112
60	0,4000	-0,5729	-0,1729	-0,0476	-0,0453	-0,1736	5,1526
70	0,4000	-0,1736	0,2264	0,0679	0,0136	0,2359	6,3741
80	0,4000	0,1954	0,5954	0,1876	-0,0814	0,6189	7,6280
90	0,4000	0,5148	0,9148	0,2930	-0,2930	0,9148	8,8694
100	0,4000	0,7722	1,1722	0,3694	-0,5673	1,0902	10,0583
110	0,4000	0,9624	1,3624	0,4085	-0,8498	1,1405	11,1609
120	0,4000	1,0878	1,4878	0,4093	-1,0983	1,0838	12,1506
130	0,4000	1,1569	1,5569	0,3768	-1,2894	0,9504	13,0078
140	0,4000	1,1828	1,5828	0,3196	-1,4179	0,7725	13,7193
150	0,4000	1,1808	1,5808	0,2470	-1,4925	0,5765	14,2773
160	0,4000	1,1662	1,5662	0,1667	-1,5287	0,3790	14,6776
170	0,4000	1,1517	1,5517	0,0836	-1,5427	0,1871	14,9187
180	0,3870	1,1459	1,5329	0,0000	-1,5329	0,0000	15,0000
190	0,3896	1,1517	1,5413	-0,0831	-1,5323	-0,1859	14,9216
200	0,3976	1,1662	1,5638	-0,1664	-1,5264	-0,3785	14,6834
210	0,4117	1,1808	1,5925	-0,2488	-1,5036	-0,5808	14,2860
220	0,4331	1,1828	1,6159	-0,3263	-1,4476	-0,7887	13,7309
230	0,4637	1,1569	1,6206	-0,3922	-1,3422	-0,9893	13,0221
240	0,5064	1,0878	1,5942	-0,4386	-1,1769	-1,1613	12,1675

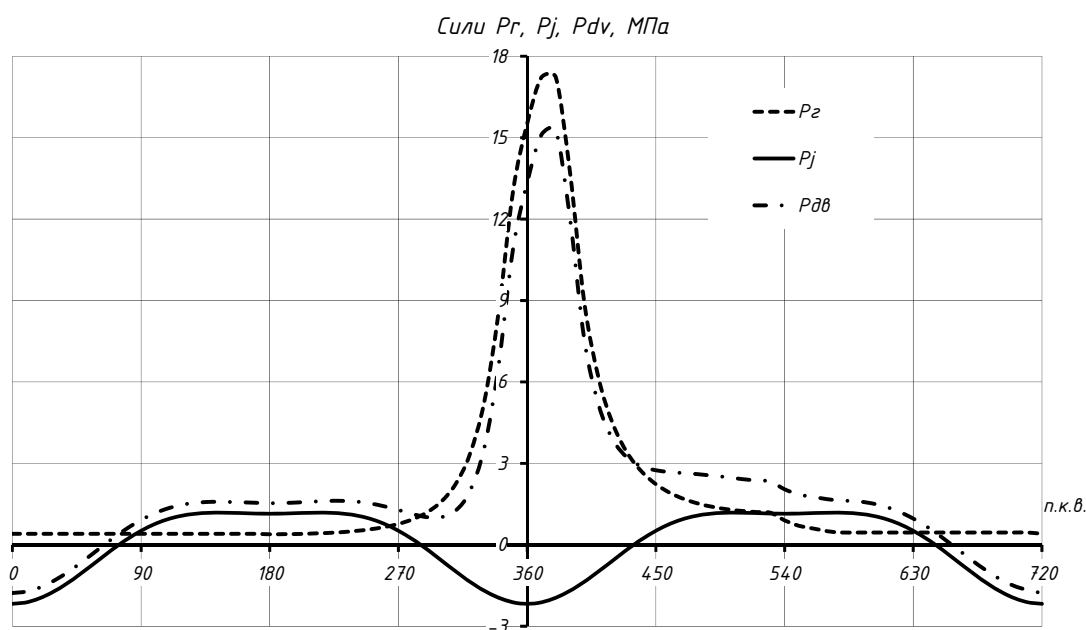
250	0,5658	0,9624	1,5282	-0,4582	-0,9532	-1,2793	11,1801
260	0,6488	0,7722	1,4209	-0,4478	-0,6877	-1,3216	10,0793
270	0,7665	0,5148	1,2813	-0,4105	-0,4105	-1,2813	8,8917
280	0,9376	0,1954	1,1330	-0,3571	-0,1549	-1,1778	7,6509
290	1,1938	-0,1736	1,0202	-0,3059	0,0615	-1,0633	6,3968
300	1,5922	-0,5729	1,0193	-0,2804	0,2668	-1,0229	5,1744
310	2,2395	-0,9781	1,2614	-0,3053	0,5769	-1,1626	4,0310
320	3,3395	-1,3616	1,9779	-0,3994	1,2584	-1,5774	3,0144
330	5,2670	-1,6956	3,5714	-0,5580	2,8139	-2,2690	2,1690
340	8,5439	-1,9549	6,5890	-0,7012	5,9518	-2,9125	1,5334
350	12,9912	-2,1193	10,8719	-0,5858	10,6050	-2,4648	1,1375
360	15,5140	-2,1755	13,3385	0,0000	13,3385	0,0000	1,0000
370	17,2220	-2,1193	15,1027	0,8138	14,7320	3,4240	1,1278
380	17,2220	-1,9549	15,2671	1,6248	13,7906	6,7485	1,5146
390	13,6975	-1,6956	12,0019	1,8753	9,4562	7,6250	2,1419
400	8,9201	-1,3616	7,5585	1,5264	4,8090	6,0278	2,9803
410	6,1239	-0,9781	5,1458	1,2455	2,3536	4,7425	3,9914
420	4,4419	-0,5729	3,8690	1,0644	1,0127	3,8828	5,1309
430	3,3872	-0,1736	3,2136	0,9635	0,1937	3,3493	6,3513
440	2,6983	0,1954	2,8937	0,9119	-0,3956	3,0081	7,6051
450	2,2322	0,5148	2,7470	0,8799	-0,8799	2,7470	8,8471
460	1,9078	0,7722	2,6800	0,8446	-1,2971	2,4926	10,0373
470	1,6772	0,9624	2,6396	0,7914	-1,6465	2,2097	11,1417
480	1,5111	1,0878	2,5989	0,7150	-1,9186	1,8932	12,1337
490	1,3908	1,1569	2,5477	0,6166	-2,1100	1,5553	12,9934
500	1,3043	1,1828	2,4871	0,5022	-2,2280	1,2139	13,7077
510	1,2436	1,1808	2,4244	0,3788	-2,2890	0,8841	14,2685
520	1,2034	1,1662	2,3696	0,2522	-2,3129	0,5735	14,6717
530	1,1805	1,1517	2,3322	0,1257	-2,3186	0,2812	14,9157
540	0,9000	1,1459	2,0459	0,0000	-2,0459	0,0000	14,9999
550	0,7000	1,1517	1,8517	-0,0998	-1,8409	-0,2233	14,9244
560	0,6000	1,1662	1,7662	-0,1880	-1,7240	-0,4274	14,6892
570	0,5000	1,1808	1,6808	-0,2626	-1,5869	-0,6130	14,2947
580	0,4500	1,1828	1,6328	-0,3297	-1,4627	-0,7969	13,7424
590	0,4500	1,1569	1,6069	-0,3889	-1,3308	-0,9809	13,0364
600	0,4500	1,0878	1,5378	-0,4231	-1,1353	-1,1202	12,1843
610	0,4500	0,9624	1,4124	-0,4235	-0,8810	-1,1824	11,1992
620	0,4500	0,7722	1,2222	-0,3852	-0,5915	-1,1367	10,1003
630	0,4500	0,5148	0,9648	-0,3091	-0,3091	-0,9648	8,9140
640	0,4500	0,1954	0,6454	-0,2034	-0,0882	-0,6709	7,6738
650	0,4500	-0,1736	0,2764	-0,0829	0,0167	-0,2881	6,4196
660	0,4500	-0,5729	-0,1229	0,0338	-0,0322	0,1234	5,1961
670	0,4500	-0,9781	-0,5281	0,1278	-0,2415	0,4867	4,0509
680	0,4500	-1,3616	-0,9116	0,1841	-0,5800	0,7270	3,0316
690	0,4500	-1,6956	-1,2456	0,1946	-0,9814	0,7914	2,1827
700	0,4500	-1,9549	-1,5049	0,1602	-1,3594	0,6652	1,5430
710	0,4500	-2,1193	-1,6693	0,0899	-1,6283	0,3784	1,1424
720	0,4000	-2,1755	-1,7755	0,0000	-1,7755	0,0000	1,0002

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

Кут заклинки	φ_3°	120
--------------	-------------------	-----

φ°	T_E						T_E	T_{cp}
	Номер циліндра							
	1	2	3	4	5	6		
0	0,000	1,084	-1,161	0,000	1,893	-1,120	0,695	2,590
10	-0,390	0,950	-1,279	3,424	1,555	-1,182	3,078	2,590
20	-0,687	0,773	-1,322	6,748	1,214	-1,137	5,589	2,590
30	-0,823	0,576	-1,281	7,625	0,884	-0,965	6,016	2,590
40	-0,767	0,379	-1,178	6,028	0,573	-0,671	4,365	2,590
50	-0,533	0,187	-1,063	4,743	0,281	-0,288	3,327	2,590
60	-0,174	0,000	-1,023	3,883	0,000	0,123	2,810	2,590
70	0,236	-0,186	-1,163	3,349	-0,223	0,487	2,500	2,590
80	0,619	-0,378	-1,577	3,008	-0,427	0,727	1,971	2,590
90	0,915	-0,581	-2,269	2,747	-0,613	0,791	0,990	2,590
100	1,090	-0,789	-2,912	2,493	-0,797	0,665	-0,250	2,590
110	1,141	-0,989	-2,465	2,210	-0,981	0,378	-0,706	2,590
120	1,084	-1,161	0,000	1,893	-1,120	0,000	0,695	2,590

Рисунок 3.2 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

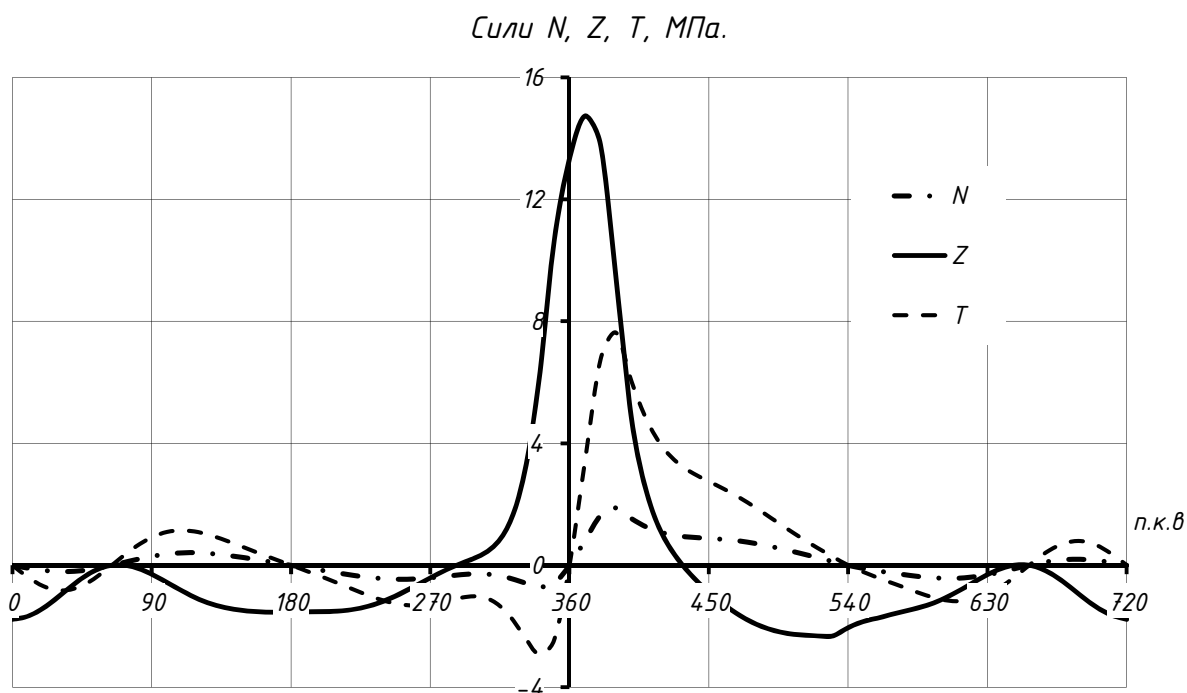


Рисунок 3.3 – Зміна сил N, Z, T від кута повороту колінчастого валу

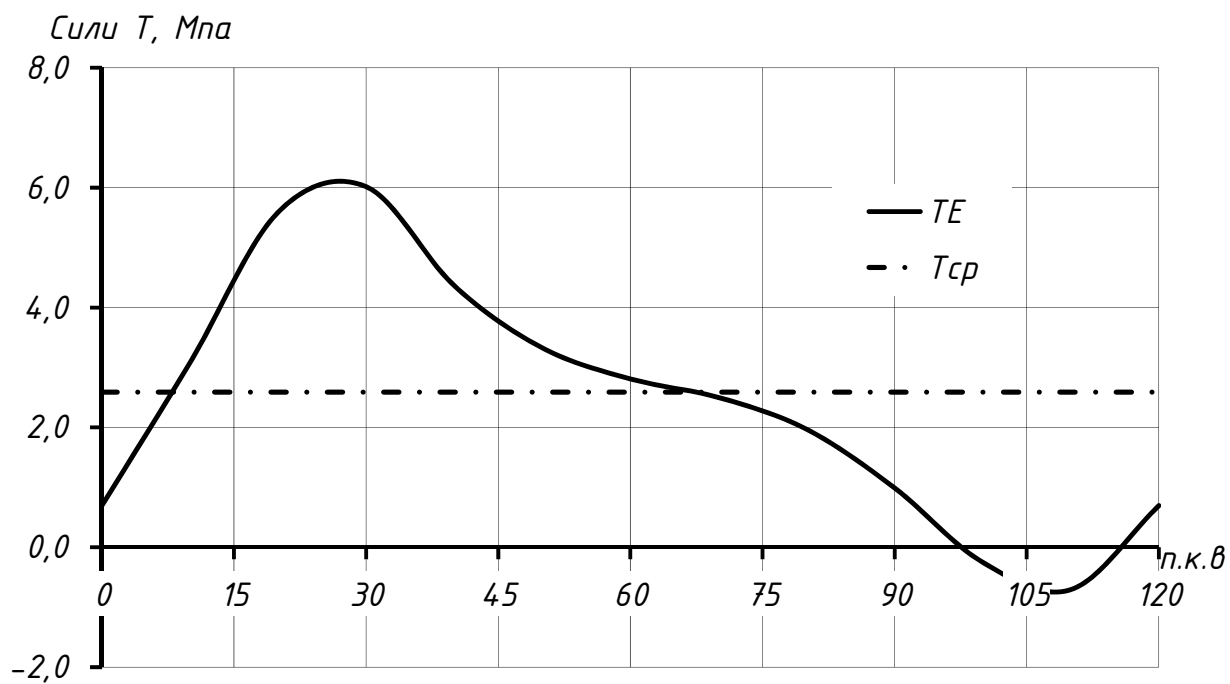


Рисунок 3.4 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

Модернізація паливного насосу високого тиску

Запровадження акумуляторних паливних систем та електронних систем управління форсунками є перспективним напрямом у розвитку дизельних двигунів. Однак "класична схема" паливної системи все ще має нереалізований потенціал. Для розкриття цього потенціалу необхідно внести конструктивні зміни, що передбачають розробку нових механічних і гідромеханічних вузлів.

У дослідженні [7] запропоновано спосіб підвищення залишкового тиску в паливній системі дизеля, обладнаної модуляторами імпульсів тиску (МІТ) палива та регульованим приводом паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Суть методу полягає у встановленні зворотних клапанів над нагнітальними клапанами, утворюючи клапани подвійної дії. Це має забезпечити підвищення залишкового тиску палива до 5...10 МПа, а також збільшити тиск початку підйому голки форсунки на 5...10 МПа, що дозволить досягти вищого максимального тиску впорскування. Додатково, використання МІТ, під поршнем якого залишається значна кількість палива після впорскування, створює умови для стабілізації залишкового тиску на заданому рівні, визначеному параметрами зворотного клапана.

Проте експериментальні дослідження паливної системи з такими клапанами та МІТ показали, що кульковий зворотний клапан не забезпечує досягнення проектного значення залишкового тиску палива.

З огляду на це, метою роботи є розробка пристрою для підвищення залишкового тиску в паливній системі дизельного двигуна.

Паливна система (рис. 3.5) із модулятором імпульсів тиску (МІТ) 7 є проміжним типом акумуляторної системи, яка поєднує характеристики систем із статичними акумуляторами енергії (на основі пружин або газових поршнів) і систем із динамічними акумуляторами, що застосовуються в так званому «безнасосному» впорскуванні палива. У таких системах впорскування здійснюється за рахунок гідродинамічного удару стовпа палива, розігнаного в

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

замкнутому трубопроводі насосом низького тиску. У цій конструкції енергія, що передається плунжером 5 під дією кулачкового вала 6, накопичується в порожнині високого тиску паливного насоса високого тиску (ПНВТ) і в рухомому стовпі палива, який знаходиться між ПНВТ і МІТ.

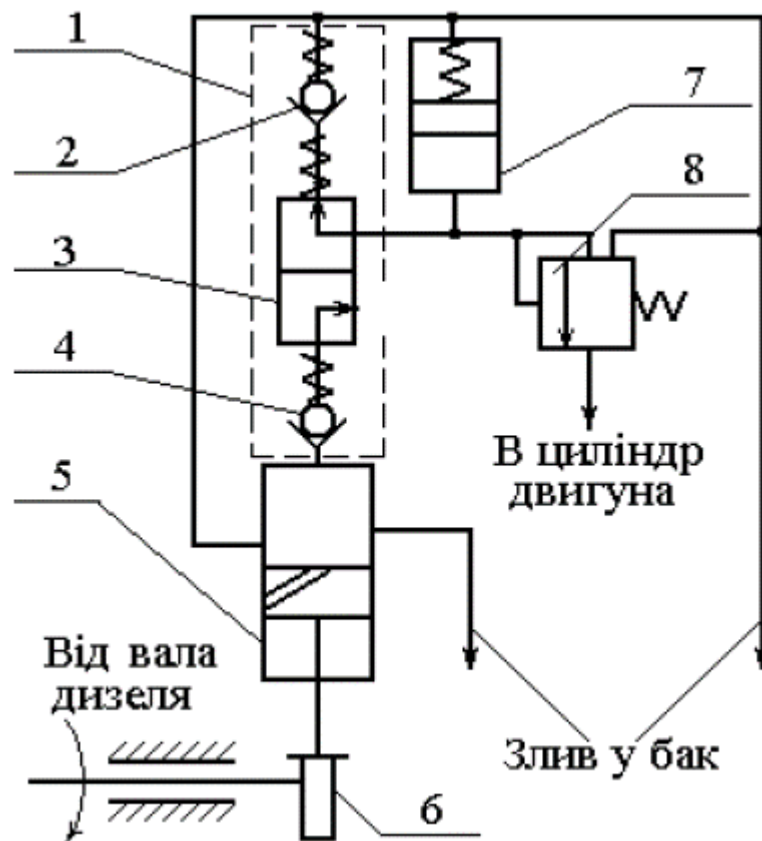


Рисунок 3.5 – Паливна система двигуна

Встановлення модулятора імпульсів тиску (МІТ) 7 у паливну систему дизельного двигуна додає нову фазу в процес паливоподачі. У цій фазі плунжер 5 паливного насоса високого тиску (ПНВТ) одночасно подає паливо, а частина пального відводиться з трубопроводу в порожнину під поршнем МІТ 7. Це забезпечує попередній розгін стовпа палива між ПНВТ і МІТ, що сприяє підвищенню тиску впорскування.

Коли поршень МІТ 7 досягає упору, форсунка 8 впорскує паливо в циліндр двигуна. Після впорскування поршень МІТ 7, під дією пружини,

витісняє залишкове паливо назад у нагнітальний трубопровід, підвищуючи рівень залишкового тиску в системі.

Максимальний залишковий тиск у нагнітальному трубопроводі регулюється зворотним клапаном 2, який разом із перепускним 3 і нагнітальним 4 клапанами утворює клапан подвійної дії 1. Завдяки зворотному клапану 2 забезпечується стабільний і однаковий рівень залишкового тиску в трубопроводі високого тиску для всіх режимів роботи двигуна. Цей тиск залежить від жорсткості пружини зворотного клапана 2.

Нагнітальні клапани паливного насоса високого тиску (ПНВТ) є гідравлічно керованими елементами паливних систем, що відіграють ключову роль у процесі впорскування палива та впливають на швидкісні характеристики системи. Їхній вплив визначається миттєвими значеннями прохідних перетинів і об'ємами палива, яке витісняється під час переміщення клапанів. Характеристики впорскування значною мірою залежать від закономірностей руху нагнітальних клапанів, а їхні коливання істотно впливають на зміну тиску впорскування.

Як було встановлено раніше, впровадження динамічно стійкого кулькового зворотного клапана без суттєвих змін у конструкції ПНВТ є практично неможливим. Тому при розробці конструкції клапана подвійної дії (рис. 3.6) було використано трубчастий нагнітальний клапан грибкового типу, запозичений із конструкції двигуна ЯМЗ-238.

Відомий нагнітальний клапан ПНВТ дизельного двигуна, який складається із сідла клапана 1, самого клапана 2 та пружини 3, був доповнений двома додатковими клапанами (перепускним 4 і зворотним 7), кожен із власними сідлами 5 і 6. Це дозволило створити конструкцію клапана подвійної дії, що забезпечує покращені характеристики роботи паливної системи.

					<i>КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ</i>	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

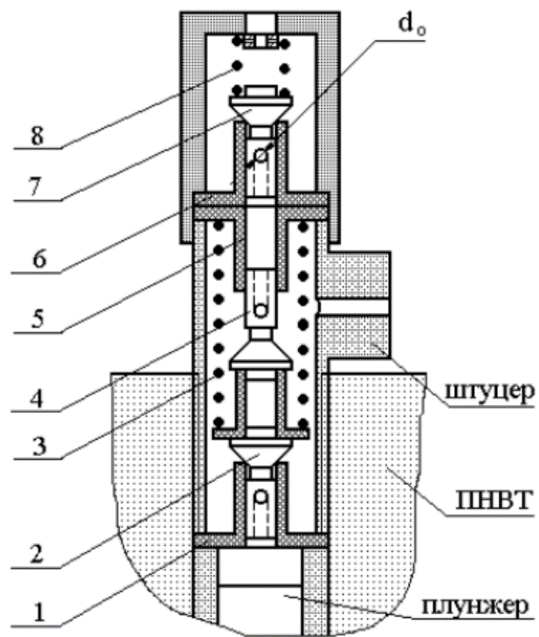


Рисунок 3.6 – Схема клапана подвійної дії

Застосування в паливній системі з МІТ клапана подвійної дії дозволило підвищити залишковий тиск в паливопроводі високого тиску до 5 – 6 МПа. У штатній паливній системі рівень залишкового тиску становив 2 – 3 МПа.

Конструктивна схема клапана подвійної дії, яка наведена на рисунку 3.7.

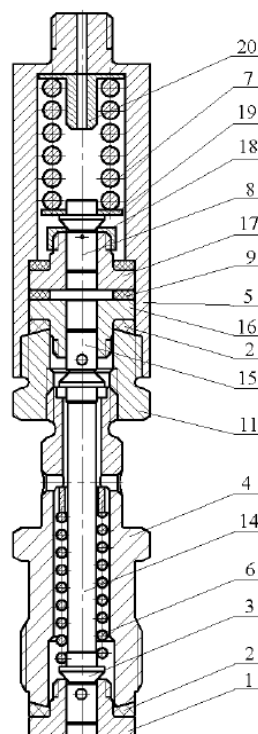


Рисунок 3.7 – Конструктивна схема клапана подвійної дії

Клапан складається з трьох штатних нагнітальних клапанів і призначений для роботи в ПНВТ. На рисунку наведені наступні позначення: 1 – сідло нагнітального клапана; 2 – прокладка; 3 – нагнітальний клапан; 4 – штуцер; 5 – корпус зворотного клапана; 6 – пружина нагнітального клапана; 7 – пружина зворотного клапана; 8 – зворотний клапан; 9 – елемент ущільнювача; 10 – ніпель сполучний; 11 – кришка; 12 – упор нагнітального клапана; 13 – упор зворотного клапана; 14 – сполучний елемент; 15 – розподільний клапан; 16 – сідло розподільного клапана; 17 – сідло зворотного клапана; 18 – обмежувач розвантажувального ходу; 19 – нижня тарілка пружини зворотного клапана; 20 – верхня тарілка пружини зворотного клапана.

За дослідними даними, при використанні вдосконаленого паливного насосу високого тиску питома ефективна витрата палива зменшується на 1% (2 г/(кВт×год)).

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

У кваліфікаційній роботі модернізації піддався ПНВТ. У результаті не змінюється швидкість ходу, поточний ремонт, а витрати на паливо, сума амортизаційних відрахувань і загальний об'єм (розмір) експлуатаційних витрат та ін. – зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

- двигун WARTSILA 6L20 загальною вартістю \$ 3,6 млн.;
- зменшення питомих витрат дизельного палива з 182 до 180 г/(кВт×год), при роботі двигуна з модернізованим ПНВТ [розділ 3].

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 ($C_{nj} = 9000$ \$);

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

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

Оптова ціна базових двигунів приймається за даними заводу-будівника. У нашому випадку $C_0 = 3600000$ \$;

$$C_n = 3600000 + 9000 = 3609000 \text{ \$}$$

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:

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$K_{\partial n} = 9000 \times 1 = 9000 \$$$

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 (K_{∂}), \$
Монтаж ПНВТ	10	90	900
Налаштування ПНВТ	2	85	170
Випробування двигуна	10	100	1000
Регулювання ПНВТ	12	120	1440
Всього	34	-	3510

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

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

$$K_{\partial} = 9000 + 3510 = 12510 \$.$$

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_{∂} . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_{\partial}$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 12510 = 2502 \$.$$

Витрати на паливо-мастильні матеріали, так звані змінні, розраховуються з урахуванням витрат палива та мастильних матеріалів на ходу для головного двигуна при 100 % навантаженні.

Витрати на паливо:

$$B_{нал} = N \times g_e \times T_e \times B_n,$$

де N – потужність двигуна (для базового та модернізованого двигуна при 100% навантаженні – 1080 кВт);

g_e – питома витрата палива при роботі двигуна на дизельному паливі (для базового при 100% навантаженні – 0,182 кг/кВт×год; для модернізованого двигуна – 0,180 кг/кВт×год);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні на дизельному паливі в рік, (для базового та модернізованого двигуна – 4000);

B_n – вартість 1 кг палива, \$, (1) [8].

$$B_{нал}(Б) = 1080 \times 0,182 \times 4000 \times 1 = 786240,00 \$$$

$$B_{нал}(М) = 1080 \times 0,180 \times 4000 \times 1 = 777600,00 \$$$

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

Питомі витрати мастильних матеріали для двигуна WARTSILA 6L20 складають 0,2 % витрат на паливо .

Витрати на мастильні матеріали, \$ рік:

$$B_{мм} = B_{нал} \times 0,2\%$$

$$B_{мм}(Б) = B_{нал}(Б) \times 0,2\% = 786240,00 \times 0,2\% = 1572,48 \$$$

$$B_{мм}(М) = B_{нал}(М) \times 0,2\% = 777600,00 \times 0,2\% = 1555,20 \$.$$

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	–	2502,00	– 2502,00
Витрати на паливо $B_{пал}$	786240,00	777600,00	8640,00
Витрати на мастильні матеріали $B_{нал}$	1572,48	1555,20	17,28
Всього	787812,48	781657,20	6155,28

Загальний балансовий річний прибуток Π_6 розраховують за формулою:

$$E_p = \Delta B - B_{ам}$$

$$\Delta B = (B_{нал(Б)} + B_{мм(Б)}) - (B_{нал(М)} + B_{мм(М)})$$

$$E_p = ((786240,00 + 1572,48) - (777600,00 + 1555,20)) - 2502,00 = 6155,28 \$$$

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

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

$$\Pi_ч = 0,82 \times 6155,28 = 5047,32 \$$$

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

$$T_{OK} = K_d / \Pi_ч$$

$$T_{OK} = 12510 / 5047,32 = 2,47 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в проекті заходи дозволяють зекономити близько \$ 5047,32 на рік, в основному, за рахунок економії дизельного палива. Термін окупності запропонованих рішень становить 2,47 року або 905 днів.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

Охорона праці на суднах регулюється міжнародними та національними нормативно-правовими актами, спрямованими на забезпечення безпеки, здоров'я та гідних умов праці для членів екіпажу. Ці документи встановлюють обов'язкові вимоги до організації праці, технічного обладнання, режимів роботи та відпочинку, а також визначають відповідальність роботодавців і працівників [9].

Міжнародна нормативно-правова база

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

Ця конвенція, прийнята Міжнародною організацією праці (МОП), є ключовим документом у сфері охорони праці на суднах. Вона регулює умови праці моряків, включаючи безпеку, охорону здоров'я, умови проживання та харчування, мінімальні вимоги до екіпажу і тривалість робочого часу.

MLC, 2006 вимагає забезпечення суден відповідними сертифікатами відповідності нормам праці.

2. Міжнародна конвенція СОЛАС (SOLAS, 1974)

Регулює безпеку судноплавства, включаючи вимоги до обладнання, протипожежних систем, аварійного обладнання та дій у разі надзвичайних ситуацій.

3. Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден (MARPOL, 1973/78)

Передбачає заходи для захисту працівників від шкідливого впливу забруднень та регулює екологічні аспекти роботи на суднах.

4. Конвенція STCW (1978, із поправками)

Встановлює вимоги до навчання, сертифікації та несення вахти, які включають аспекти охорони праці та безпеки екіпажу.

					<i>КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ</i>	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Національна нормативно-правова база

Кожна країна має власні закони та нормативні акти, що регулюють охорону праці в морській галузі. В Україні до основних документів належать:

1. Кодекс законів про працю України (КЗпП):

Визначає загальні положення щодо охорони праці, трудових прав працівників, обов'язків роботодавців і працівників.

2. Закон України "Про охорону праці":

Встановлює правові основи забезпечення безпечних умов праці, регламентує порядок здійснення державного контролю та визначає відповідальність за порушення вимог охорони праці.

3. Положення про навчання з питань охорони праці:

Регулює порядок підготовки моряків у сфері безпеки праці, включаючи проведення інструктажів і тренувань.

Основні принципи та вимоги охорони праці на судах

Забезпечення безпеки праці:

Обов'язкове виконання вимог щодо організації безпечних робочих місць, встановлення захисних бар'єрів, використання особистих засобів захисту та дотримання інструкцій з охорони праці.

Режими роботи та відпочинку:

Відповідність тривалості робочих змін міжнародним нормам, зокрема, мінімальні періоди відпочинку для моряків.

Медичне обслуговування:

Наявність медичного обладнання та препаратів, проведення медичних оглядів і надання першої допомоги на борту.

Навчання та інструктаж:

Регулярне навчання екіпажу з охорони праці, пожежної безпеки, евакуації та дій у разі аварій.

Контроль за виконанням норм:

					<i>КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проведення аудитів, перевірок і сертифікацій для забезпечення відповідності нормам охорони праці.

Відповідальність за дотримання норм охорони праці

Роботодавець (судновласник або судноплавна компанія) несе відповідальність за створення безпечних умов праці на судні, забезпечення екіпажу необхідними засобами захисту та навчання.

Екіпаж зобов'язаний дотримуватися встановлених правил і стандартів безпеки, використовувати засоби захисту та виконувати інструкції з охорони праці.

Виклики та перспективи

Сучасна нормативно-правова база забезпечує високі стандарти охорони праці на суднах, однак її реалізація стикається з викликами, такими як оновлення технологій, різноманітність суден і міжнародний характер галузі. Подальший розвиток законодавства спрямований на гармонізацію національних норм із міжнародними стандартами, впровадження новітніх технологій безпеки та покращення умов праці моряків.

Охорона праці на суднах є невід'ємною складовою безпечного судноплавства та забезпечення гідних умов роботи для моряків. Відповідність нормативно-правовій базі гарантує не лише дотримання законів, а й захист життя і здоров'я працівників у морській галузі.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливного насоса високого тиску

Паливний насос високого тиску є одним із ключових елементів паливної системи суднових двигунів. Його експлуатація, ремонт і технічне обслуговування пов'язані з низкою небезпечних і шкідливих факторів, які можуть впливати на здоров'я працівників і безпеку обладнання. Виявлення, аналіз і запобігання цим факторам є важливими для забезпечення безпечної роботи [10].

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Небезпечні фактори під час експлуатації ПНВТ

1. Високий тиск палива:

Тиск у системі може досягати 1200–2000 бар, що створює ризик розриву трубопроводів і витоку палива.

У разі витоку палива під високим тиском можливе травмування операторів через проникнення струменя в шкіру.

2. Температура робочих поверхонь:

Робота ПНВТ пов'язана з високими температурами, що створює ризик опіків у разі необережного контакту з деталями.

3. Рухомі частини:

Під час роботи насоса існує ризик затягування частин одягу або кінцівок у механізми, якщо не дотримуватися правил безпеки.

4. Вибухонебезпечне середовище:

У разі витоку палива або утворення пари можливе створення вибухонебезпечного середовища.

Шкідливі фактори під час експлуатації

1. Контакт із паливом:

Паливо містить токсичні речовини, які при контакті зі шкірою або вдиханні парів можуть викликати отруєння або алергічні реакції.

2. Шум і вібрація:

Робота ПНВТ супроводжується шумом і вібрацією, які можуть призвести до зниження слуху та професійних захворювань опорно-рухового апарату.

3. Вплив температур:

Тривала робота поблизу гарячих поверхонь створює дискомфорт і може сприяти перегріву організму.

4. Шкідливі випари:

Утворення випарів палива і мастильних матеріалів може спричинити подразнення дихальних шляхів.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Небезпечні фактори під час ремонту та технічного обслуговування

1. Високий залишковий тиск у системі:

Під час обслуговування насоса або трубопроводів можливе раптове вивільнення залишкового тиску, що може призвести до травм.

2. Механічні пошкодження:

Використання ручного інструменту або обладнання під час ремонту може спричинити травмування рук.

3. Застосування агресивних хімічних речовин:

Під час очищення деталей використовуються розчинники, які можуть подразнювати шкіру або викликати опіки.

4. Неправильне демонтажне обладнання:

Використання неналежного або несправного інструменту підвищує ризик поломки деталей або травмування.

Шкідливі фактори під час ремонту та обслуговування

1. Пил і забруднення:

Під час обробки деталей або очищення поверхонь утворюється пил, який негативно впливає на органи дихання.

2. Фізичне навантаження:

Робота з важкими компонентами ПНВТ може призвести до перенапруження м'язів і травм опорно-рухового апарату.

3. Вплив мастильних матеріалів:

Тривалий контакт із мастильними речовинами може спричинити дерматити.

Запобіжні заходи

1. Організаційні заходи:

Проведення інструктажів і регулярного навчання персоналу.

Використання технічної документації та схем ПНВТ під час виконання робіт.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання захисних рукавичок, окулярів, протишумових навушників і спецодягу.

Застосування респіраторів під час роботи з випарами палива чи хімічними речовинами.

3. Технічні заходи:

Своєчасне випробування системи на герметичність.

Застосування справного інструменту та обладнання.

Використання вентиляційних систем для видалення шкідливих парів і забезпечення доступу свіжого повітря.

4. Організація робочого місця:

Чітке зонування робочого простору.

Забезпечення належного освітлення та вентиляції в місцях проведення робіт.

Ефективний аналіз і мінімізація небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливних насосів високого тиску є важливими складовими безпечної роботи. Дотримання правил охорони праці, використання сучасних технологій та ЗІЗ забезпечують захист здоров'я працівників, зменшують ризик аварій і підвищують ефективність робіт.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної кваліфікаційної роботи було проаналізовано конструктивні особливості суднового двигуна WARTSILA 6L20, проведено аналіз напрямків вдосконалення паливних насосів високого тиску.

Проведено тепловий розрахунок двигуна WARTSILA 6L20 та визначено основні показники роботи двигуна на номінальному режимі роботи. Також проведено перевірочний розрахунок динаміки двигуна.

Проведено модернізацію паливного насосу високого тиску шляхом використання клапана подвійної дії. При цьому питома ефективна витрата палива зменшується на 1% (2 г/(кВт×год)).

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження модернізації.

В розділі охорони праці розглянуті нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах та проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливного насоса високого тиску.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant ships of 2012. The Royal Institution of Naval Architects, 2012. pp. 34 - 35.
2. WARTSILA L20. Project guide, 2017. 143 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. Клапан подвійної дії паливного насоса високого тиску дизеля / В.О. Єлістратов, Ю.О. Бойко, С.О. Король // Нові технології: Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – 2011. – № 4 (34). – С. 91–95.
8. <https://shipandbunker.com/prices>.
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.

					КРМ.142.6222м.24.14.00.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		