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

## ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНОВОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти Костянтин ЛУБКОВСЬКИЙ

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

*Лубковський Костянтин Олександрович*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Покращення показників роботи суднового двигуна шляхом модернізації паливного насосу високого тиску*

2. Керівник роботи *к.т.н., доц. Наливайко В.С.*,
(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 8L46; паливо – дизельне; потужність двигуна – 9600 кВт, частота обертання колінчастого валу – 600 хв$^{-1}$*

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Застосування двигуна Wartsila 8L46 на поромі "FINNSTAR"; Визначення напрямків вдосконалення паливної апаратури; 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 пароми " FINNSTAR "; Поперечний переріз двигуна Wartsila 8L46; Паливна система двигуна; Паливний насос високого тиску; Нагнітальний клапан ПНВТ*

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** _____ *Костянтин ЛУБКОВСЬКИЙ*
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи** _____ *Василь НАЛИВАЙКО*
(підпис) (прізвище та ініціали)

# АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення показників роботи суднового двигуна Wartsila 8L46 шляхом модернізації паливного насосу високого тиску. Розглянуто економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

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

*Ключові слова:* паливо, насос, клапан, ремонт.

The qualification work presents a set of measures to improve the performance of the Wartsila 8L46 marine engine by modernizing the high-pressure fuel pump. The economic analysis of the modernization implementation is considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

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

*Key words*: fuel, pump, valve, repair.

**ЗМІСТ**


**Вступ**..... 4

**Розділ 1. Застосування двигуна Wartsila 8L46 на паромі "FINNSTAR"**.... 5

**Розділ 2. Визначення напрямків вдосконалення паливної апаратури**..... 16

**Розділ 3. Вдосконалення паливного насосу високого тиску**..... 38

**Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізації**…….. 51

**Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці**..…… 55

**Висновки**..... 59

**Список використаної літератури**……..... 60

**Додаток А.** Загальний вигляд парому "FINNSTAR"……..……...…. 61

**Додаток Б.** Поперечний переріз двигуна Wartsila 8L46…… 62

**Додаток В.** Паливна система двигуна…….. 63

**Додаток Г.** Паливний насос високого тиску……... 64

**Додаток Д.** Нагнітальний клапан ПНВТ……...……..….... 65

# ВСТУП

Паливні насоси високого тиску (ПНВТ) є ключовими елементами суднових дизельних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), оскільки вони забезпечують подачу палива під необхідним тиском для ефективного згоряння. Вдосконалення ПНВТ є важливим завданням для підвищення економічності, надійності та екологічності суднових ДВЗ. Сучасні вимоги до зниження викидів, економії палива та підвищення терміну служби компонентів вимагають інноваційних рішень, таких як покращення матеріалів, застосування прецизійних технологій обробки та використання електронного управління для точнішого дозування палива. Ці заходи сприяють підвищенню ефективності роботи суднових двигунів і зниженню їх негативного впливу на довкілля.

Мета даної роботи – розробити умови по покращенню показників роботи суднового двигуна Wartsila 8L46 парому "FINNSTAR" модернізацєю паливного насосу високого тиску.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проведення комплексного аналізу для визначення напрямків вдосконалення середньообертового двигуна.

2. Модернізація паливного насосу високого тиску.

3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

***Об’єкт дослідження*** – паливний насос високого тиску.

***Предмет дослідження*** – параметри паливного насосу високого тиску.

# РОЗДІЛ 1
# ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА WARTSILA 8L46 НА ПАРОМІ "FINNSTAR"

Компанія FINCANTIERI розподілила будівництво п'яти суден серії поромів типу ro-pax між своїми верфями в Анконі та Кастелламмаре-ді-Стабія, кожна з яких доставила судно з першої пари, «FINNSTAR» (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) [1] та Finnmaid відповідно, на лінію Гельсінкі/Травемюнде, що належить їхньому власнику. Рекордна вантажопідйомність накатних суден, можливість розміщення причепів розміром 250×14 м на 4200 погонних метрах, а також місце для 62 автомобілів дають підстави стверджувати, що ці судна є найбільшими і найшвидшими суднами такого типу у світі.

Проект має надбудову, частково відведену під гараж для автомобілів відкритого типу, що займає більшу частину передньої палуби і забезпечує розміщення в 201 каюті для 573 пасажирів, для яких магазини, бари, сауни, дитячі ігрові кімнати, тренажерний зал та ігрова кімната, ресторани і лаунж-зони – все це пропонується в комфортному середовищі, посиленому парою активних стабілізаторів плавникового типу.

Рушійна установка розташована приблизно в три чверті довжини, а вихлопні гази виводяться у воронку по лівому борту. Система доступу до вантажу з гідравлічним приводом MacGregor пропонує дворівневий доступ з обох кінців судна: на кормі – односекційний кормовий пандус/двері довжиною 12,5 м (плюс 3 м стулки) і шириною 23 м на рівні головної палуби (№ 3), а на верхній палубі (№ 5) – двосекційний пандус/двері такої ж довжини і ширини (18 м).

В'їзд на головну палубу здійснюється через трисекційні носові двері/пандус на головній палубі загальною довжиною 19,4 м (плюс 2 м стулок) і під'їзною дорогою 2,7 м, а також через двері і козирок на носовому фальшборті на рівні верхньої палуби.

Рисунок 1.1 – Паром «FINNSTAR»

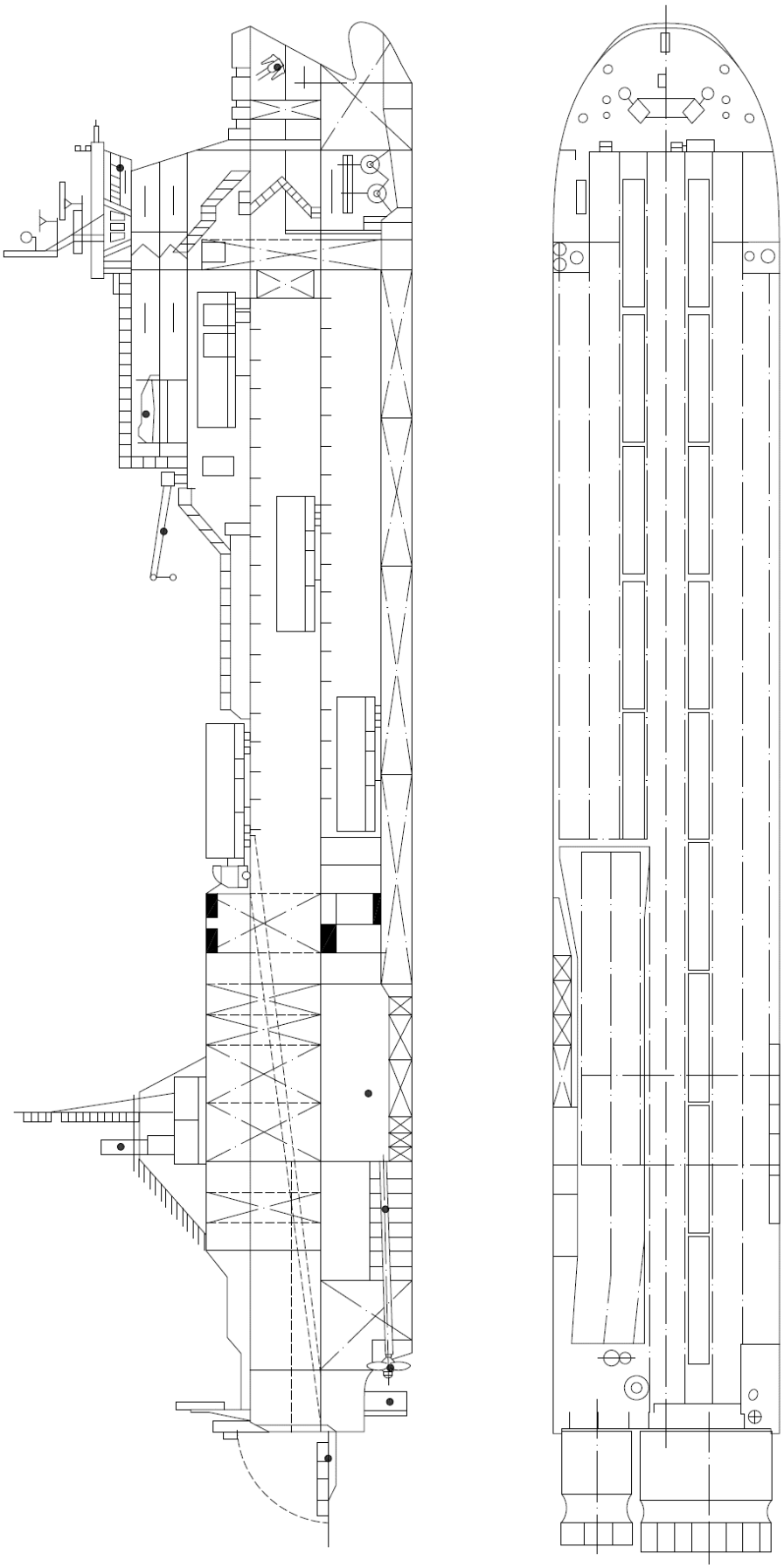

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд парома «FINNSTAR»

Внутрішнє переміщення транспортних засобів між палубами 2/3 і 5/7 здійснюється за допомогою стаціонарних і підйомних пандусів з водонепроникним/погодним покриттям, в той час як додаткове місце для зберігання забезпечується трипанельним підйомним настилом з торцевими шарнірами, який в опущеному стані є частиною стаціонарного пандуса між палубами №№ 2 і 3. Компанія MacGregor також поставила двоє гаражних воріт на палубі 7 з верхніми петлями. Головну рушійну установку забезпечують чотири восьмициліндрові двигуни L46D Wärtsilä потужністю 9240 кВт при 500 об/хв, попарно з'єднані гнучкими муфтами з двома редукторами з двома входами/одним виходом, а потім з гребним гвинтом, що працює зі швидкістю 150 об/хв. Сумарна потужність MCR становить приблизно 36960 кВт, а зареєстрована швидкість під час випробувань – 25 вузлів. Електроенергія виробляється трьома генераторами змінного струму від двигунів Wärtsilä 6L20, кожен з яких має потужність 1140 кВт при 1000 об/хв і працює на судновому дизельному паливі. Також передбачено два генератори змінного струму з валовим приводом, кожен з яких з'єднаний через первинний вал відбору потужності і видає 2200 кВт при 1500 об/хв. Встановлено два керма перекидного типу, а маневреність підвищується двома носовими рушіями СР потужністю 2000 кВт. Для швартування на носі встановлено два самонатяжних комбінованих якірних лебідки з електроприводом, а на кормі – чотири самонатяжних лебідки.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Довжина максимальна, м | 218,80 |
| Довжина між перпендикулярами, м | 199,00 |
| Проектна осадка, м | 7,00 |
| Дедвейт, т | 9300 |
| Швидкість судна, вуз | 25,00 |

**Опис двигуна Wartsila 8L46**

8L46 [2] – це чотиритактний середньообертовий двигун виробництва компанії WARTSILA (рис. 1.3), потужністю 9600 кВт. Його частота обертання становить 600 об/хв, швидкість поршня – 9,7 м/с, а середній ефективний тиск – 2,7 МПа. Маса двигуна становить 37 тонн, діаметр циліндра – 460 мм, а хід поршня – 580 мм. Витрата палива – 175 г/(кВт·год).

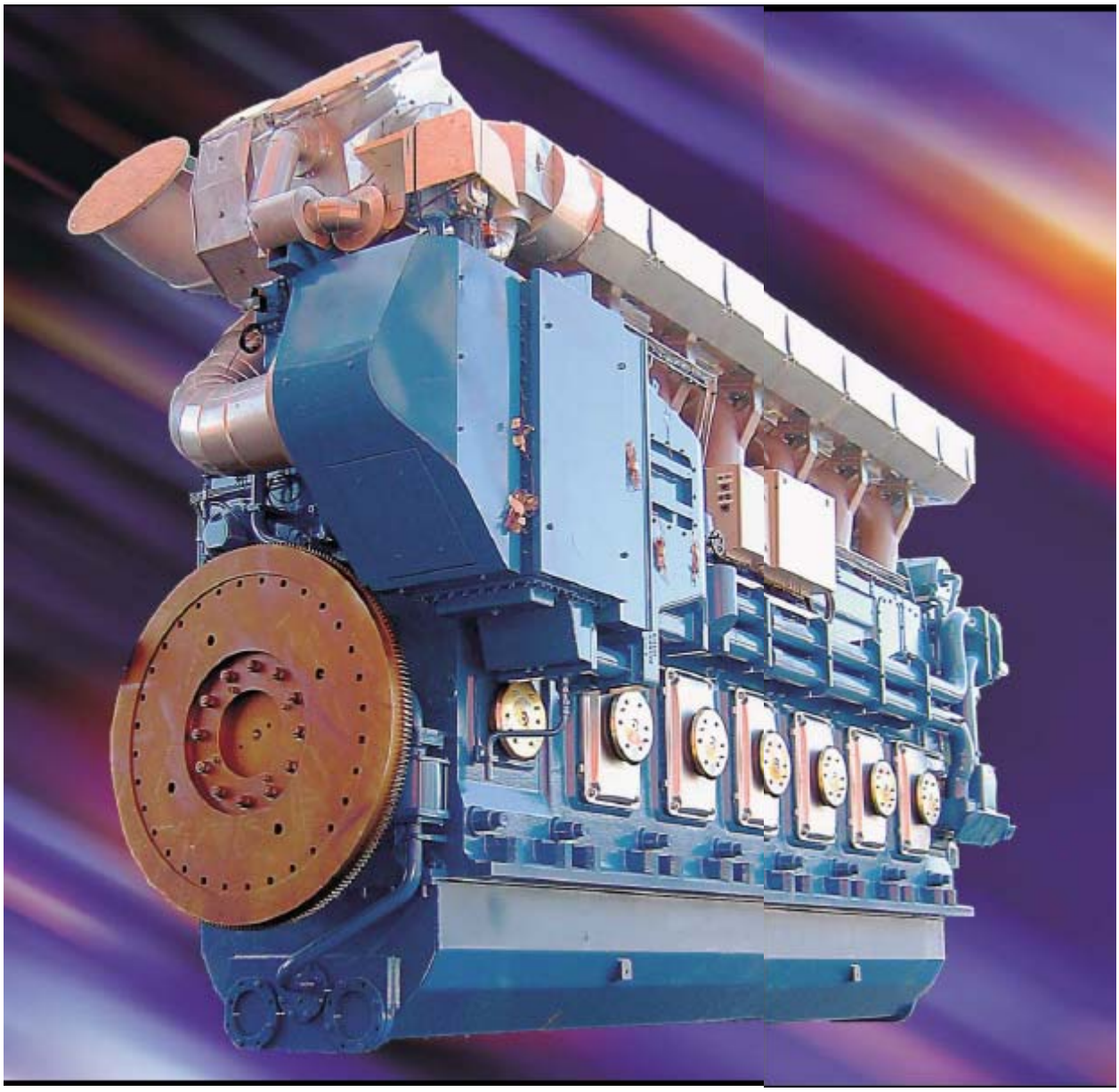

Рисунок 1.3 – Поперечний перетин двигуна Wartsila 8L46

Поршень (рис. 1.4) має складену конструкцію з низьким коефіцієнтом тертя. Його спідниця виготовлена з чавуну з кулястим графітом, а денце – зі сталі. Вбудований канал охолодження забезпечує ефективне охолодження та високу жорсткість днища, дозволяючи працювати з тисками понад 20 МПа. Верхня кільцева канавка загартована, що значно подовжує термін служби.

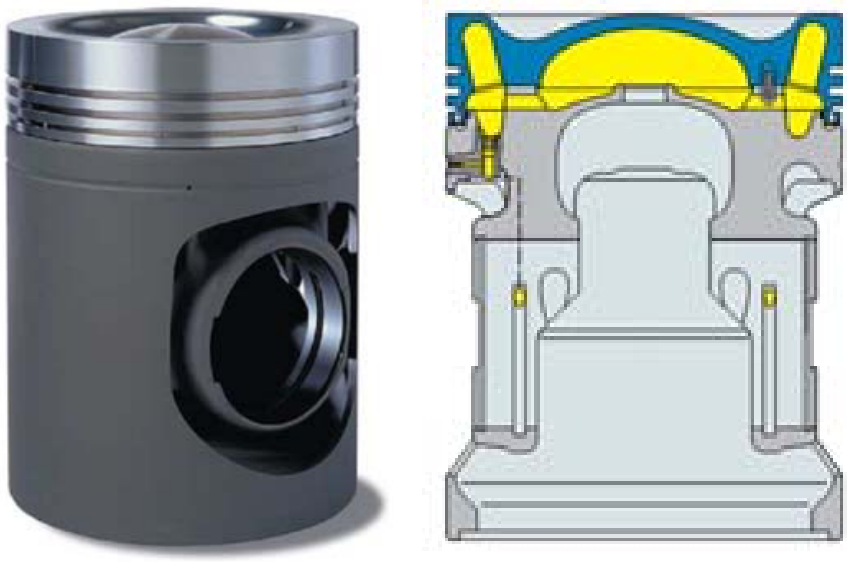

Рисунок 1.4 – Поршень

Система змащення поршня забезпечує:

- рівномірний розподіл чистої масляної плівки, яка запобігає задиру поршневих кілець і зменшує зношування;
- відсутність корозійних продуктів у маслоз'ємних кільцях та канавках;
- гідравлічне затухання похилих рухів, що формує масляний шар між гільзою і поршнем, знижуючи шум і знос.

Колінчастий вал (рис. 1.5) розрахований на високі тиски згоряння та стабільні навантаження на підшипники. Він:

- виготовлений методом кування як єдина деталь і повністю оброблений на верстатах;
- жорсткий завдяки оптимальному співвідношенню внутрішнього діаметра до ходу, великим пальцям і шийкам;

- оснащений противагами на кожному плечі кривошипа;
- спроєктований для передачі повної потужності та роботи з рухомими опорами.

Рисунок 1.5 – Колінчастий вал

Шатун (рис. 1.6) морської конструкції складається з трьох частин, що дозволяє рівномірно розподіляти сили згоряння по опорній поверхні і мінімізувати відносний рух між сполученими поверхнями.

Конструкція шатуна забезпечує зручність обслуговування:

- ремонт поршня виконується без демонтажу великого кінцевого підшипника;
- підшипник можна перевірити без зняття поршня;
- трикомпонентна конструкція зменшує обсяг робіт під час капітального ремонту.

Усі гайки шатуна затягуються за допомогою гідравлічного інструменту.

Рисунок 1.6 – Шатун

Завдяки спеціальному дизайну, який забезпечує відносно великий хід кільця, деформації в циліндрі (рис. 1.7) зведені до мінімуму. Круглий внутрішній діаметр втулки разом із якісним мастилом створюють сприятливі умови для роботи поршневих кілець і значно знижують знос. Для запобігання поліруванню внутрішньої поверхні втулка оснащена маслоз'ємним кільцем у верхній частині. Це кільце регулює шар карбонових відкладень на вершині поршня, залишаючи їх мінімальної товщини, щоб уникнути контакту між відкладеннями і стінкою втулки. Полірування втулки може призводити до локального зносу і збільшення витрат мастила.

Рисунок 1.7 – Втулка циліндра

Температурний розподіл у втулці циліндра є важливим як для тиску і деформацій, так і для зменшення швидкості зношування. Температура повинна залишатися в діапазоні, що перевищує точку роси сірчаної кислоти, щоб уникнути корозії, але водночас бути досить низькою для збереження ефективності мастила.

Втулка виготовлена зі спеціального сплаву сірого чавуну, що поєднує високу зносостійкість і міцність, розробленого на основі багаторічного досвіду.

Кришка циліндра (рис. 1.8) розроблена для забезпечення надійності та легкості технічного обслуговування. Вона має жорстку конструкцію, яка знижує периферичний контактний тиск між кришкою та гільзою циліндра.

Рисунок 1.8 – Кришка циліндра

Чотири кришки циліндра фіксуються затискними болтами, що спрощує обслуговування. Відсутність кожухів на клапанах підвищує надійність і створює додаткові можливості для оптимізації газодинамічних характеристик випускних клапанів. Для сідел випускних клапанів передбачене ефективне водяне охолодження.

Особливості поршневих кілець (рис. 1.9):

- набір з низьким коефіцієнтом тертя;
- спеціальне антикорозійне покриття для компресійних кілець;
- ретельно виміряні та профільовані для забезпечення максимальної герметизації і балансу тиску.

Рисунок 1.9 – Поршневі кільця

Розподільний вал (рис. 1.10) складається з секцій для кожного циліндра з інтегрованими кулачками. Ці секції з’єднуються через окремі опорні шийки, що дозволяє легко знімати окремі секції вала.

Рисунок 1.10 – Розподільний вал і клапанний механізм

Клапанний механізм включає штовхачі роликового типу з профілем рамки, який забезпечує рівномірний розподіл навантаження. Коромисла працюють із вилкоподібними опорами, спрямованими пальцями.

Як впускні, так і випускні клапани оснащені Rotorcaps, які забезпечують примусове обертання клапанів під час кожного циклу відкриття. Це дозволяє рівномірно розподіляти температуру і знос, зберігаючи ущільнювальну поверхню чистою від відкладень. У результаті досягається ефективна теплопровідність і стабільна робота.

Блок циліндрів виготовлений із чавуну з кулястим графітом, що забезпечує високу жорсткість і надійність конструкції, необхідні для пружного кріплення компонентів.

Корінний підшипник має підвісну конструкцію з гідравлічно затягнутими болтами. Для додаткової жорсткості корпус підшипника оснащений бічними болтами.

Рядний двигун обладнаний загальним повітряним ресивером, який відрізняється підвищеною жорсткістю, спрощеною конструкцією і легкістю обслуговування.

Вбудована модульна система випуску газів має достатню міцність для роботи з високим тиском і пульсаціями.

Турбонагнітач забезпечує максимальний доступний ККД. Він оснащений підшипниками ковзання, що працюють без потреби в охолоджуючій воді, а також пристроями для очищення турбінної та компресорної частин.

Скидний клапан вихлопу та повітряний перепусковий пристрій забезпечують дотримання вимог до робочих характеристик двигуна в діапазоні навантажень, зокрема при часткових навантаженнях.

Система турбонаддуву

Двигун використовує систему SPEX (єдина вихлопна труба) з високоефективним турбонагнітачем (рис. 1.11).

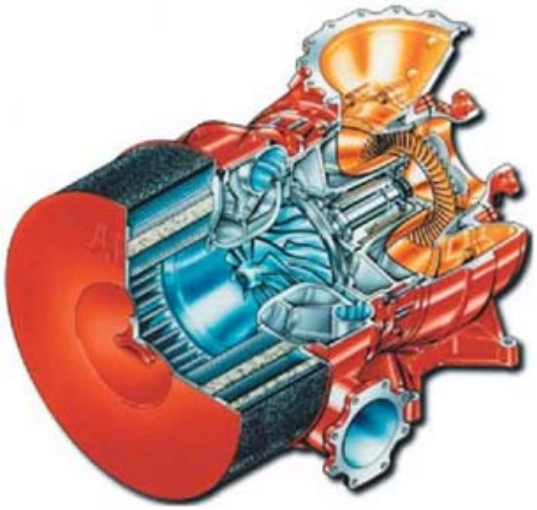

Рисунок 1.11 – Турбокомпресор

Ця система об'єднує переваги імпульсного і постійного тиску наддуву. У порівнянні із системою постійного тиску, SPEX покращує ефективність турбіни за рахунок використання енергії виштовхування вихлопних газів, що забезпечує кращу продуктивність на часткових навантаженнях.

Система SPEX має мінімальні перешкоди у продувці, що зменшує відхилення температури та рівномірно розподіляє вихлопні гази між циліндрами.

# РОЗДІЛ 2
# ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

Паливна апаратура є критичним елементом у забезпеченні ефективної та надійної роботи двигунів внутрішнього згоряння. Вдосконалення паливної апаратури спрямоване на підвищення її ефективності, надійності, екологічності та зниження витрат пального.

Основні напрямки вдосконалення можна окреслити наступним чином

**1. Підвищення точності дозування палива**

Підвищення точності дозування палива є одним із ключових напрямків вдосконалення паливної апаратури двигунів внутрішнього згоряння. Точне дозування забезпечує оптимальну подачу палива у різних режимах роботи двигуна, що позитивно впливає на його ефективність, економічність та екологічність.

Необхідність підвищення точності дозування палива

*Сучасні вимоги до двигунів включають:*

- Зниження витрати палива для покращення економічності.
- Підвищення ефективності згоряння палива для максимальної потужності двигуна.
- Зменшення рівня викидів шкідливих речовин ($CO_2$, NOx, сажа) для відповідності екологічним стандартам (Євро-6, Євро-7).

Точність дозування палива дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення паливно-повітряної суміші у камері згоряння, що є критично важливим для досягнення цих цілей.

*Технологічні підходи до підвищення точності дозування*

1. Використання електронно-керованих систем подачі палива

- Перехід від механічних систем до електронних дозволяє контролювати процес подачі палива з високою точністю.
- Прикладом є система Common Rail, яка забезпечує можливість точного регулювання тиску та кількості палива за допомогою електронних форсунок і датчиків.

2. Підвищення робочого тиску паливної системи

- Збільшення тиску впорскування (до 2500–3000 бар) дозволяє досягти кращого розпилювання палива та його рівномірного змішування з повітрям.
- Це сприяє більш повному згорянню палива та зменшенню витрат.

3. Застосування форсунок з багаторазовим впорскуванням

- Сучасні паливні форсунки можуть виконувати декілька циклів упорскування за один робочий такт.
- Це дозволяє більш точно дозувати кількість палива для різних умов роботи двигуна (холостий хід, часткове навантаження, повне навантаження).

4. Інтеграція датчиків та систем контролю

- Використання високочутливих датчиків тиску, температури та обертів дозволяє в реальному часі адаптувати подачу палива відповідно до поточних умов роботи двигуна.
- Модуль управління (ECU) обробляє дані з датчиків і оптимізує роботу форсунок.

5. Оптимізація програмного забезпечення

- Удосконалення алгоритмів управління подачею палива дає змогу підвищити точність дозування та швидкість реакції системи на зміни режиму роботи двигуна.
- Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє системі "вчитися" оптимізувати свою роботу залежно від умов експлуатації.

*Переваги підвищення точності дозування палива*

- Зниження витрати палива до 10–15%, що особливо важливо в умовах високих цін на паливо.
- Покращення екологічних характеристик, оскільки точне дозування зменшує викиди сажі та оксидів азоту.
- Підвищення ефективності двигуна, що проявляється в його потужності та крутному моменті.
- Зменшення зносу компонентів, оскільки оптимальний режим роботи двигуна знижує навантаження на його елементи.

*Висновок*

Підвищення точності дозування палива є важливим кроком у вдосконаленні паливної апаратури. Завдяки новітнім технологіям, таким як електронне управління, високоточні датчики, багаторазове впорскування та високий тиск подачі, вдається досягти значного покращення паливної ефективності, зниження викидів і підвищення довговічності двигунів. Цей напрямок є фундаментальним для розвитку сучасного машинобудування та відповіді на глобальні виклики в енергетиці та екології.

**2. Підвищення робочого тиску подачі палива**

Підвищення робочого тиску подачі палива є одним із найважливіших напрямків вдосконалення паливної апаратури двигунів внутрішнього згоряння. Це рішення дозволяє забезпечити ефективне розпилювання палива, поліпшити процес його згоряння та підвищити загальну продуктивність двигуна.

*Суть підвищення робочого тиску*

Подача палива під високим тиском сприяє:

- Покращенню розпилювання палива у форсунках, що забезпечує дрібнодисперсну структуру паливного струменя.
- Швидкому та повному змішуванню палива з повітрям у камері згоряння.

- Оптимізації процесу згоряння, що дозволяє зменшити витрати пального та знизити шкідливі викиди.

У сучасних паливних системах, таких як Common Rail, робочий тиск може досягати 2500…3000 бар, що значно перевищує показники старих систем подачі палива.

*Основні технологічні рішення для підвищення тиску*

1. Вдосконалення паливних насосів високого тиску

- Насоси сучасної конструкції забезпечують створення високого тиску з мінімальними втратами енергії.
- Оптимізовані системи регулювання тиску дозволяють адаптувати його до різних режимів роботи двигуна.

2. Використання системи Common Rail

- Паливо подається в загальну магістраль під високим тиском і розподіляється до форсунок.
- Це дозволяє незалежно регулювати тиск палива та час упорскування для досягнення максимальної точності.

3. Покращення конструкції форсунок

- Форсунки, здатні працювати під надвисоким тиском, забезпечують ідеальне розпилювання палива.
- Застосування багатоступеневих і багатократних впорскувань дозволяє краще контролювати процес згоряння.

4. Оптимізація паливних магістралей

- Високотехнологічні матеріали та покращена конструкція магістралей дозволяють витримувати високий тиск без деформацій і втрат.

*Переваги підвищення робочого тиску подачі палива*

1. Покращене розпилювання палива

Підвищений тиск дозволяє утворювати дрібні краплі палива, що забезпечує більш рівномірний його розподіл у камері згоряння.

2. Збільшення ефективності згоряння

Краща якість розпилювання та змішування палива з повітрям сприяє повнішому згорянню, що підвищує ефективність двигуна.

3. Зниження витрат палива

Оптимальне згоряння дозволяє економити паливо до 10–15%, що особливо важливо для комерційного транспорту та легкових автомобілів.

4. Зменшення шкідливих викидів

Підвищення тиску сприяє більш повному згорянню палива, що знижує рівень викидів сажі, $CO_2$ та оксидів азоту (NOx).

5. Покращення динамічних характеристик двигуна

Високий тиск подачі палива дозволяє покращити реакцію двигуна на зміну навантаження та підвищити його потужність.

*Сучасні виклики та рішення*

Підвищення робочого тиску потребує застосування новітніх технологій і матеріалів, здатних витримувати значні навантаження:

- Високоміцні матеріали для насосів, форсунок і паливних магістралей.
- Надійні ущільнення для запобігання витокам палива під високим тиском.
- Вдосконалене охолодження паливної системи для запобігання перегріву.

*Висновок*

Підвищення робочого тиску подачі палива є стратегічним напрямком у розвитку паливної апаратури. Воно дозволяє підвищити ефективність двигунів, знизити витрати пального та мінімізувати шкідливі викиди. Сучасні технології, такі як системи Common Rail та інноваційні паливні насоси, забезпечують необхідні технічні рішення для роботи в умовах високого тиску. Цей підхід є важливим кроком до створення більш економічних та екологічно чистих двигунів внутрішнього згоряння.

## 3. Вдосконалення конструкції форсунок

Форсунки є одним із ключових елементів паливної апаратури, оскільки вони забезпечують подачу палива в камеру згоряння у вигляді дрібнодисперсного струменя. Вдосконалення їх конструкції є важливим напрямком у підвищенні ефективності роботи двигунів внутрішнього згоряння, зменшенні витрат палива та мінімізації шкідливих викидів.

*Основні завдання вдосконалення конструкції форсунок*

1. Забезпечення рівномірного та якісного розпилювання палива для створення однорідної паливно-повітряної суміші.

2. Оптимізація впорскування палива для різних режимів роботи двигуна.

3. Зменшення витрат енергії на роботу форсунки та підвищення її довговічності.

4. Підвищення швидкодії для забезпечення багатократного впорскування палива за один цикл.

5. Зниження рівня шкідливих викидів завдяки оптимальному процесу згоряння.

*Основні напрями вдосконалення конструкції форсунок*

1. Багатоступеневе впорскування

- Сучасні форсунки дозволяють виконувати декілька впорскувань палива за один робочий цикл (попереднє, основне, додаткове).
- Це дозволяє більш точно контролювати процес згоряння та знижувати утворення шкідливих речовин.
- Попереднє впорскування сприяє плавнішому підвищенню тиску в камері згоряння, а додаткове впорскування допомагає спалити залишки палива.

2. Зменшення діаметра отворів форсунки

- Удосконалення конструкції передбачає зменшення діаметра вихідних отворів форсунки, що забезпечує більш дрібнодисперсне розпилювання палива.

- Покращене розпилювання призводить до швидкого та рівномірного змішування палива з повітрям.

3. Підвищення тиску впорскування

- Сучасні форсунки працюють при тиску до 2500–3000 бар, що дозволяє досягти високої якості розпилювання.
- Оптимальний тиск дозволяє скоротити час упорскування та зменшити витрати палива.

4. Електронне управління форсунками

- Перехід до форсунок з електромагнітним або п'єзоелектричним управлінням дозволяє більш точно контролювати час, кількість та тривалість упорскування палива.
- П'єзоелектричні форсунки забезпечують високу швидкодію та точність, що особливо важливо для сучасних систем Common Rail.

5. Оптимізація геометрії розпилювача

- Покращена конструкція розпилювальних отворів дозволяє отримати контрольовану форму паливного струменя, що оптимізує процес згоряння.
- Форсунки з багатоструменевим розпилом забезпечують рівномірний розподіл палива в камері згоряння.

6. Використання нових матеріалів і технологій обробки

- Форсунки працюють в екстремальних умовах (високий тиск, температура, корозійне середовище), тому для їх виготовлення використовуються високоміцні сплави та спеціальні покриття.
- Сучасні технології, як-от лазерна обробка або мікродугове окислення, дозволяють досягти високої точності та зносостійкості форсунок.

7. Самоочищувальні технології

- Для запобігання засміченню отворів форсунок впроваджуються системи самоочищення або покриття, стійкі до забруднення. Це забезпечує стабільну роботу форсунок упродовж тривалого часу.

*Переваги вдосконаленої конструкції форсунок*

- Покращення ефективності згоряння завдяки точному розпилюванню та оптимальному змішуванню палива з повітрям.
- Зниження витрати палива до 10–15% завдяки більш економічному режиму впорскування.
- Зменшення рівня шкідливих викидів, особливо сажі та NOx, що дозволяє відповідати екологічним стандартам.
- Підвищення потужності та продуктивності двигуна завдяки ефективнішому використанню палива.
- Довговічність і надійність системи подачі палива завдяки сучасним матеріалам та технологіям виробництва.

*Висновок*

Вдосконалення конструкції форсунок є одним із ключових напрямків розвитку паливної апаратури, що забезпечує підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння. Завдяки новітнім технологіям, таким як багатоступеневе впорскування, електронне управління, підвищений тиск і оптимізація геометрії, сучасні форсунки дозволяють досягти економічності, екологічності та надійності двигунів. Ці інновації є критично важливими для відповідності сучасним вимогам автомобільної промисловості та екологічним стандартам.

**4. Електронне управління процесом подачі палива**

Електронне управління процесом подачі палива є одним із найважливіших напрямків вдосконалення паливної апаратури сучасних двигунів внутрішнього згоряння. Ця технологія дозволяє забезпечити високу точність дозування палива, гнучке регулювання режимів роботи двигуна та підвищення його ефективності при одночасному зниженні витрат пального та шкідливих викидів.

*Суть електронного управління паливною системою*

Електронне управління передбачає використання електронного блоку управління (ECU), який контролює та регулює подачу палива на основі даних з різноманітних датчиків.

ECU (Engine Control Unit) отримує інформацію про:

- Температуру двигуна і навколишнього середовища.
- Тиск і витрату повітря.
- Оберти колінчастого вала.
- Навантаження на двигун та положення педалі акселератора.

На основі цих даних ECU розраховує оптимальні параметри подачі палива: кількість, тиск та час впорскування.

*Основні технологічні особливості електронного управління*

1. Системи зворотного зв'язку

- Завдяки використанню датчиків і системи зворотного зв'язку, блок управління постійно контролює роботу форсунок і вносить коригування в режим реального часу.
- Це забезпечує точне дозування палива відповідно до робочих умов двигуна.

2. Електромагнітні та п’єзоелектричні форсунки

- Електронне управління працює в поєднанні з форсунками, що дозволяють швидко й точно впорскувати паливо.
- П’єзоелектричні форсунки забезпечують високу швидкодію і точність, дозволяючи здійснювати декілька впорскувань за один такт.

3. Система Common Rail

- Електронне управління є невід'ємною частиною системи Common Rail, де паливо подається в загальну магістраль під високим тиском, а блок управління регулює впорскування палива в кожен циліндр окремо.
- Це дозволяє незалежно контролювати час, кількість та тиск палива.

4. Адаптивне управління

- Сучасні системи можуть адаптувати параметри подачі палива до зміни умов роботи двигуна (наприклад, навантаження, температура, якість палива).
- Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє підвищити ефективність управління.

5. Оптимізація часу впорскування

- Завдяки електронному управлінню паливо може впорскуватися в кілька етапів: попереднє, основне та додаткове впорскування, що сприяє більш повному згорянню та зниженню шумності роботи двигуна [3].

*Переваги електронного управління процесом подачі палива*

1. Точність дозування палива

- Електронне управління забезпечує високу точність дозування палива для будь-якого режиму роботи двигуна, що підвищує ефективність його роботи.

2. Зниження витрат палива

- Завдяки оптимізації процесу впорскування пального досягається економія палива на 10–20% залежно від умов експлуатації.

3. Покращення екологічних характеристик

- Оптимальне згоряння палива дозволяє знизити рівень шкідливих викидів, таких як $CO_2$, NOx та сажі. Це забезпечує відповідність сучасним екологічним стандартам (Євро-6, Євро-7).

4. Підвищення потужності та динаміки двигуна

- Точний контроль часу та тиску впорскування сприяє підвищенню потужності двигуна та швидшій реакції на натискання педалі акселератора.

5. Гнучкість та адаптивність системи

- Система може миттєво адаптувати роботу двигуна під зміну навантаження, умов руху чи якості пального.

6. Зниження шумності та вібрацій

- Рівномірне впорскування палива в кілька етапів зменшує шумність роботи двигуна та вібрації.

*Виклики та перспективи*

- Надійність системи: Електронне управління вимагає високої надійності датчиків, форсунок та самого блоку управління.
- Вартість: Впровадження складних електронних систем потребує додаткових інвестицій.
- Розвиток програмного забезпечення: Подальше вдосконалення алгоритмів управління та інтеграція штучного інтелекту дозволять досягти ще вищої ефективності.

*Висновок*

Електронне управління процесом подачі палива є ключовим напрямком вдосконалення паливної апаратури. Воно дозволяє забезпечити точний контроль процесу впорскування палива, що призводить до зниження витрат пального, підвищення продуктивності двигуна та зменшення шкідливих викидів. Завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як п'єзоелектричні форсунки та система Common Rail, електронне управління стало основою для створення ефективних і екологічно чистих двигунів нового покоління.

**5. Покращення матеріалів і технологій виробництва**

Покращення матеріалів і технологій виробництва є важливим напрямком у вдосконаленні паливної апаратури, оскільки вона працює в умовах високого тиску, температури та агресивного середовища. Впровадження новітніх матеріалів і передових технологій дозволяє підвищити надійність, довговічність та ефективність роботи паливної системи [4].

*Необхідність покращення матеріалів і технологій*

Паливна апаратура, зокрема паливні насоси, форсунки та магістралі, піддається значним навантаженням під час роботи:

- Високий тиск (до 2500–3000 бар у системах Common Rail).
- Високі температури та термічні цикли.
- Знос від механічного тертя і корозії.
- Вплив агресивних компонентів палива (особливо при використанні біопалива).

Щоб забезпечити надійну та тривалу роботу паливної апаратури, необхідно впроваджувати нові матеріали з високою міцністю, стійкістю до зносу та корозії, а також застосовувати інноваційні технології виробництва.

*Основні напрямки покращення матеріалів і технологій виробництва*

1. Використання високоміцних сплавів

- Для виробництва ключових компонентів паливної апаратури (насосів високого тиску, форсунок) застосовують сплави на основі сталі, нікелю, титану та інших міцних матеріалів.
- Підвищена міцність дозволяє витримувати високі навантаження без деформацій та руйнувань.
- Приклади: нержавіючі сталі, високолеговані сплави, сплави з високою твердістю.

2. Застосування керамічних матеріалів

- Кераміка має високу стійкість до зносу, корозії та температурних впливів.
- Керамічні компоненти (наприклад, ущільнення або розпилювачі форсунок) зменшують тертя та продовжують термін служби паливної апаратури.

3. Нанотехнологічні покриття

- Використання нанопокриттів дозволяє підвищити стійкість поверхонь до зносу та корозії.
- Покриття на основі алмазоподібного вуглецю (DLC) забезпечує високу твердість, мінімальне тертя та знижене утворення відкладень.

4. Лазерна та прецизійна обробка

- Використання лазерної технології для мікропросвердлювання отворів форсунок дозволяє досягти надзвичайно високої точності геометрії.
- Прецизійна обробка деталей забезпечує мінімальні відхилення від заданих параметрів, що критично важливо для роботи при високому тиску.

5. Адитивні технології (3D-друк)

- Використання 3D-друку для виробництва складних елементів паливної апаратури дозволяє виготовляти деталі з оптимізованою геометрією та мінімальною вагою.
- Адитивні технології скорочують витрати на виробництво та дозволяють впроваджувати індивідуальні рішення для складних систем.

6. Високоточне лиття та кування

- Технології точного лиття дозволяють отримати деталі з мінімальними відхиленнями та підвищеною щільністю матеріалу.
- Високоточне кування забезпечує високу міцність компонентів при збереженні їх механічних властивостей.

7. Поліпшення систем ущільнень

- Нові матеріали для ущільнювальних елементів (полімерні композити, фторопласти) забезпечують герметичність системи навіть при високих тисках і температурних перепадах.

*Переваги покращення матеріалів і технологій виробництва*

1. Підвищення довговічності компонентів паливної апаратури завдяки стійкості до зносу та корозії.

2. Зниження тертя і втрат енергії, що покращує загальну ефективність системи.

3. Забезпечення стабільної роботи в умовах високих тисків і температур.

4. Зменшення ваги компонентів, що особливо важливо для транспортних засобів.

5. Зниження витрат на технічне обслуговування завдяки тривалішому терміну служби.

6. Підвищення точності дозування палива, що впливає на економічність і екологічність двигуна.

*Висновок*

Покращення матеріалів і технологій виробництва є стратегічним напрямком у розвитку паливної апаратури. Застосування високоміцних сплавів, нанотехнологічних покриттів, керамічних матеріалів і передових методів обробки дозволяє створювати надійні, ефективні та довговічні системи подачі палива. Ці інновації сприяють зниженню витрат пального, зменшенню шкідливих викидів і підвищенню продуктивності сучасних двигунів, відповідаючи зростаючим вимогам автомобільної промисловості та екологічним стандартам.

**6. Зменшення механічних та гідравлічних втрат**

Зменшення механічних та гідравлічних втрат є важливим напрямком вдосконалення паливної апаратури сучасних двигунів внутрішнього згоряння. Ці втрати негативно впливають на ефективність роботи системи подачі палива, збільшують витрати енергії та знижують продуктивність двигуна. Оптимізація конструкції та технологій дозволяє мінімізувати втрати, що забезпечує підвищення загальної ефективності паливної системи.

*Суть механічних та гідравлічних втрат*

1. Механічні втрати – енергія, що втрачається через тертя між рухомими деталями паливної апаратури (плунжери, клапани, штовхачі, ущільнення).

2. Гідравлічні втрати – енергія, що витрачається на подолання опору потоку палива в системі, особливо в паливних магістралях, насосах і форсунках.

Зниження цих втрат є необхідним для досягнення:

- Вищої ефективності паливної системи.
- Зменшення витрат енергії на роботу насосів та інших компонентів.

- Покращення точності подачі палива і швидкодії системи.

*Основні напрямки зменшення механічних та гідравлічних втрат*

1. Оптимізація конструкції паливних каналів

- Покращення геометрії паливних магістралей, форсунок та інших елементів дозволяє мінімізувати опір потоку палива.
- Застосування гладких поверхонь і зменшення турбулентності у каналах сприяє зниженню гідравлічних втрат.
- Використання технологій лазерної обробки та прецизійного лиття для створення ідеально рівномірних каналів.

2. Використання нових матеріалів

- Застосування матеріалів із низьким коефіцієнтом тертя (спеціальні сплави, кераміка, покриття DLC – алмазоподібний вуглець) для рухомих елементів системи.
- Зниження зносу та тертя між компонентами забезпечує триваліший термін служби та мінімальні втрати енергії.

3. Застосування високоефективних ущільнень

- Оптимізація ущільнень та використання самозмащувальних матеріалів дозволяє знизити тертя й забезпечити надійну герметичність системи.
- Використання полімерних композитів і наноматеріалів для ущільнень зменшує механічні втрати.

4. Вдосконалення паливних насосів

- Оптимізація конструкції насосів високого тиску для зменшення енергетичних втрат під час стискання палива.
- Використання плунжерів із низьким тертям та покращених ущільнень.
- Впровадження технологій регулювання тиску, що дозволяє знизити непотрібне навантаження на насос.

5. Зменшення інерційних втрат у форсунках

- Використання п'єзоелектричних форсунок замість традиційних електромагнітних, оскільки вони мають меншу масу рухомих елементів і забезпечують швидке реагування.
- Оптимізація часу відкривання-закривання форсунок для зниження втрат енергії.

6. Вдосконалення мастильних систем

- Забезпечення ефективного змащування компонентів паливної апаратури дозволяє мінімізувати механічне тертя.
- Використання інноваційних мастильних покриттів і сумішей для підвищення ефективності.

7. Аеродинамічна оптимізація паливного струменя

- Покращення конструкції розпилювальних отворів форсунок для мінімізації втрат енергії на виході струменя.
- Застосування багатоструменевого розпилу забезпечує ефективне змішування палива з повітрям при мінімальному опорі [5].

*Переваги зменшення механічних та гідравлічних втрат*

1. Підвищення ефективності паливної системи – зменшення втрат дозволяє оптимізувати витрату енергії, що надходить до системи подачі палива.

2. Зниження витрат палива – мінімізація втрат забезпечує кращу продуктивність двигуна при меншій витраті палива.

3. Збільшення довговічності компонентів – зменшене тертя й оптимізовані потоки продовжують термін служби паливних насосів, форсунок та інших деталей.

4. Поліпшення динамічних характеристик двигуна – зниження інерційних і гідравлічних втрат сприяє точному дозуванню палива та швидкому реагуванню на зміни навантаження.

5. Зменшення шумності роботи паливної апаратури – оптимізована конструкція забезпечує плавніший потік палива та менші вібрації.

*Висновок*

Зменшення механічних та гідравлічних втрат у паливній апаратурі є важливим напрямком її вдосконалення, що забезпечує підвищення ефективності роботи двигуна, зниження витрат палива та зменшення зносу компонентів. Завдяки впровадженню новітніх матеріалів, інноваційних технологій обробки й оптимізації конструкції сучасні паливні системи можуть працювати з мінімальними втратами, що відповідає вимогам підвищеної надійності, економічності та екологічності.

**7. Екологічна адаптація**

Екологічна адаптація паливної апаратури є одним із ключових напрямків її вдосконалення, зумовленим посиленням глобальних екологічних вимог та необхідністю зменшення негативного впливу двигунів внутрішнього згоряння на довкілля. Сучасні стандарти, такі як Євро-6 та майбутні Євро-7, а також екологічні норми інших країн, вимагають значного зниження викидів шкідливих речовин – оксидів азоту (NOx), вуглекислого газу ($CO_2$), сажі та незгорілих вуглеводнів (HC). Це стимулює впровадження новітніх технологій у конструкції паливної апаратури [6].

*Основні цілі екологічної адаптації*

1. Зменшення шкідливих викидів: оптимізація процесу подачі та згоряння палива для мінімізації викидів $CO_2$, NOx та сажі.

2. Підвищення ефективності згоряння: забезпечення повнішого використання палива для зменшення втрат енергії.

3. Сумісність із альтернативними видами палива: адаптація паливної апаратури до біопалива, синтетичного палива та інших екологічно чистих альтернатив.

*Основні напрямки екологічної адаптації паливної апаратури*

1. Покращення точності дозування палива

- Застосування систем Common Rail та форсунок із багатоступеневим упорскуванням дозволяє оптимізувати подачу палива для різних режимів роботи двигуна.
- Багатократне впорскування сприяє зниженню викидів NOx за рахунок контрольованої температури згоряння та зменшення утворення сажі.

2. Застосування систем впорскування під надвисоким тиском

- Підвищення робочого тиску до 2500–3000 бар забезпечує кращий розпил палива, що дозволяє досягти повнішого згоряння та мінімізувати кількість незгорілих частинок.

3. Використання п’єзоелектричних форсунок

- Форсунки з п'єзоелектричним управлінням забезпечують надзвичайно швидке та точне впорскування палива, що дозволяє контролювати процес згоряння та знижувати кількість шкідливих викидів.

4. Адаптація до альтернативних видів палива

- Сучасна паливна апаратура розробляється для роботи на біопаливі, синтетичному паливі та паливі з низьким вмістом сірки.
- Впровадження матеріалів та покриттів, стійких до агресивного середовища альтернативних палив, забезпечує надійність системи.

5. Оптимізація процесу згоряння

- Електронне управління паливною апаратурою дозволяє точно регулювати час впорскування, кількість палива та форму паливного струменя, що зменшує утворення NOx та інших викидів.
- Використання алгоритмів на основі штучного інтелекту для адаптації системи до умов роботи двигуна.

6. Системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR)

- Екологічна адаптація включає інтеграцію систем EGR для зниження температури згоряння, що мінімізує утворення оксидів азоту.

7. Застосування фільтрів і каталізаторів

- Вдосконалення паливної апаратури тісно пов'язане із впровадженням систем сажових фільтрів (DPF) та каталітичних нейтралізаторів, які очищають вихлопні гази.

8. Зниження витрати палива

- За рахунок підвищення ефективності паливної системи (точне дозування, менші втрати енергії), забезпечується зниження споживання палива, що безпосередньо скорочує обсяги викидів $CO_2$.

*Переваги екологічної адаптації паливної апаратури*

1. Зменшення рівня шкідливих викидів, що дозволяє відповідати сучасним та майбутнім екологічним стандартам (Євро-6, Євро-7).

2. Підвищення паливної ефективності, що знижує витрати пального та експлуатаційні витрати.

3. Сумісність із альтернативними паливами, що сприяє переходу до більш екологічно чистих технологій.

4. Зниження впливу на довкілля, завдяки зменшенню викидів $CO_2$, сажі та оксидів азоту.

*Висновок*

Екологічна адаптація є стратегічним напрямком вдосконалення паливної апаратури, спрямованим на мінімізацію шкідливих викидів та підвищення екологічної ефективності двигунів внутрішнього згоряння. Використання інноваційних технологій, таких як надвисокий тиск упорскування, п’єзоелектричні форсунки, системи EGR та адаптація до альтернативних палив, дозволяє забезпечити сучасні вимоги до чистоти вихлопних газів і сприяє глобальній боротьбі зі змінами клімату.

**8. Інтеграція з гібридними та електрифікованими системами**

Інтеграція паливної апаратури з гібридними та електрифікованими системами є одним із сучасних напрямків її вдосконалення. Цей процес пов'язаний зі зростаючою потребою в підвищенні паливної ефективності,

зниженні шкідливих викидів та адаптації до нових умов роботи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) у складі гібридних транспортних засобів. У таких системах паливна апаратура повинна працювати в тісній взаємодії з електричними компонентами, забезпечуючи оптимальну продуктивність та екологічність.

*Особливості роботи паливної апаратури в гібридних системах*

1. Змінні режими роботи ДВЗ

- У гібридних автомобілях ДВЗ працює в оптимальних режимах, а в інших випадках вимикається, коли енергія надходить від електричного приводу.
- Паливна апаратура повинна швидко реагувати на перезапуск двигуна та підтримувати точну подачу палива навіть у нестабільних режимах роботи.

2. Оптимізація роботи для підвищення ефективності

- Паливна система повинна працювати в режимі мінімального споживання пального, оскільки в гібридних автомобілях основна частина навантаження на низьких швидкостях перекладається на електродвигун.
- Точне дозування палива дозволяє забезпечити ефективну роботу при часткових навантаженнях.

3. Швидкий запуск і зупинка двигуна

- У гібридних системах широко застосовується технологія Start-Stop, яка часто вимикає ДВЗ на короткі проміжки часу для економії палива.
- Сучасна паливна апаратура повинна забезпечувати миттєве підвищення тиску палива та швидкий запуск двигуна без втрати продуктивності.

4. Адаптація до роботи на знижених обертах

- Оскільки гібридні системи часто працюють із постійною швидкістю обертання ДВЗ (в оптимальному діапазоні для зменшення

споживання палива), паливна апаратура має забезпечувати ефективну роботу при мінімальних витратах та низьких навантаженнях.

5. Електрифікація допоміжних систем

- Допоміжні агрегати, такі як паливний насос, можуть електрифікуватися, що дозволяє точніше регулювати тиск подачі палива в залежності від потреб двигуна, знижуючи механічні втрати.

*Інноваційні рішення для інтеграції паливної апаратури*

1. Електронне управління паливною системою

- Сучасні блоки управління (ECU) інтегровані з електронною системою гібридного приводу, забезпечують оптимальне управління подачею палива залежно від режиму роботи електродвигуна та ДВЗ.
- Це дозволяє синхронізувати роботу паливної системи з електричним приводом.

2. Оптимізація тиску та дозування палива

- Використання системи Common Rail з електронним контролем тиску та п'єзоелектричними форсунками дозволяє підтримувати ефективну роботу двигуна при мінливих навантаженнях.

3. Високоефективні паливні насоси з електроприводом

- Перехід до електропривідних паливних насосів, які працюють незалежно від обертів двигуна, дозволяє знизити енергоспоживання та забезпечити точну подачу палива.

4. Сумісність з альтернативними видами палива

- Гібридні системи можуть використовувати екологічно чисті види палива (біодизель, синтетичне паливо), що вимагає адаптації паливної апаратури до їх фізико-хімічних властивостей.

5. Інтелектуальне управління в реальному часі

- Застосування штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання дозволяє аналізувати умови роботи транспортного засобу й

оптимізувати роботу паливної системи для зниження витрат та шкідливих викидів.

*Переваги інтеграції з гібридними та електрифікованими системами*

1. Зниження витрат палива

Завдяки оптимізації роботи паливної системи у гібридному режимі досягається значна економія палива.

2. Зменшення шкідливих викидів

Часте відключення ДВЗ у гібридних системах та ефективна робота паливної апаратури забезпечують мінімізацію викидів $CO_2$, NOx та сажі.

3. Підвищення ефективності роботи двигуна

Гібридизація дозволяє працювати ДВЗ у найбільш ефективних режимах, що забезпечує підвищення ККД системи.

4. Гнучкість і адаптивність

Паливна апаратура в гібридних системах легко адаптується до різних режимів роботи, забезпечуючи оптимальну продуктивність у будь-яких умовах.

5. Подовження ресурсу двигуна

Завдяки зменшенню навантаження на двигун у гібридних системах та стабільній роботі паливної апаратури ресурс його компонентів значно зростає [7].

*Висновок*

Інтеграція з гібридними та електрифікованими системами є ключовим етапом у вдосконаленні паливної апаратури для відповідності сучасним вимогам до економічності та екологічності. Оптимізація роботи паливної системи в поєднанні з електроприводами дозволяє досягти ефективного використання палива, зменшити викиди шкідливих речовин та підвищити загальну продуктивність двигуна. Цей напрямок є важливим кроком у розвитку автомобільної промисловості на шляху до сталого майбутнього.

# РОЗДІЛ 3
# ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ

## Тепловий розрахунок двигуна WARTSILA 8L46

*Методика розрахунку робочого циклу двигуна*

Метод Гриневецького-Мазінга є одним із наближених методів для розрахунку робочого циклу двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Цей метод дозволяє аналізувати процеси, що відбуваються в циліндрах двигуна під час згоряння паливно-повітряної суміші, а також розраховувати основні параметри робочого циклу для оцінки ефективності роботи двигуна.

Метод заснований на спрощеному підході, що дозволяє замінити реальні процеси робочого циклу більш доступними для розрахунку моделями, забезпечуючи достатню точність для інженерних розрахунків.

Розрахунок робочого циклу методом Гриневецького-Мазінга базується на поділі робочого процесу на окремі фази та використанні ідеалізованих процесів (політроп, ізохорний або ізобарний підходи), що дозволяє отримати математично зручні вирази для тиску, температури, об'єму та інших параметрів газу в циліндрі.

Переваги методу Гриневецького-Мазінга

- Простота розрахунків – метод дозволяє отримати достатньо точні результати за допомогою спрощених математичних моделей.
- Гнучкість – можливість моделювання різних умов роботи двигуна (ступінь стиснення, надлишок повітря, параметри палива).
- Інженерна зручність – метод дозволяє швидко оцінити основні характеристики циклу та ефективність роботи двигуна.

Недоліки методу

- Наближеність результатів – метод не враховує реальні тепловтрати, динаміку хімічних реакцій та складний характер робочого процесу.

- Використання ідеалізованих процесів – реальні відхилення від ізохорних чи політропних моделей можуть знизити точність розрахунків.

Метод Гриневецького-Мазінга є ефективним інструментом для наближеного розрахунку робочого циклу двигунів внутрішнього згоряння. Він дозволяє аналізувати зміни основних параметрів газу в циліндрі та визначати термічний ККД двигуна, забезпечуючи необхідну точність для інженерних розрахунків. Завдяки своїй простоті та зручності метод широко застосовується у практиці проектування та оптимізації двигунів [8].

*Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна*

*Температура навколишнього повітря* $T_0$. Приймаємо $T_0$ = 293 К (за найгірших умов експлуатації).

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

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

*Коефіцієнт надлишку повітря* $\alpha$. 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 $\alpha$ робиться з вибором оптимального значення $\Pi_к$. З урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha$ = 2,38.

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

*Коефіцієнт використання теплоти в точці z* ($\xi_z$), *та в точці b* ($\xi_b$). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначати після аналізу теплового балансу двигу-

нів, близьких до проектованого. Для СОД ці коефіцієнти лежать у межах: $\xi_z$ = 0,85 - 0,95; $\xi_b$ - 0,90 - 0,98.

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

*Ступінь підвищення тиску при згорянні* $\lambda$. Ступінь підвищення тиску $\lambda$ залежить від бистрохідності двигуна, ступеня наддуву, організації процесів сумішоутворення та ряду інших факторів. Приймаємо $\lambda = 1{,}2$.

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

*Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми* $\zeta$. 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* $\Delta P_{охл}$. Повітроохолоджувач являє собою опір на шляху повітря, тому у ньому відбувається зменшення тиску повітря. У числовому виразі $\Delta P_{охл} = 0{,}004$ 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* $Q_н$. Приймаємо $Q_н = 42700$ (кДж/кг).

*Результати розрахунку циклу двигуна*

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

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[ 1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0}\right)^{0{,}286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 473{,}722$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 320{,}108$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = 337{,}361$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0{,}396$$

$$P_a = 0{,}98 \times P_s = 0{,}386$$

$$\eta_н = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = 0{,}972$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_1 = 1{,}363$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_1} = 15{,}489$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1 - 1} = 902{,}256$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0{,}21} \times \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = 1{,}177$$

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1{,}0269$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = 1{,}0263$$

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

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

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

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

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

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

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

$$T_z = 1813$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 18{,}587$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = 1{,}717$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = 8{,}735$$

$$n_2 = 1{,}284$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} = 980$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = 1{,}15$$

Визначення індикаторних показників

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right) \quad \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}\right)\right] = 2{,}735$$

$$P_i = P_i' \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2{,}708$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_н}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 0{,}163$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_н} = 0{,}517$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2{,}491$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0{,}475$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = 0{,}177$$

$$N_e = 13{,}1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 9612{,}3$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N_e^{'}}{N_e} \times 100\% = 0{,}127\%$$

Визначення дійсного $\Pi_к$ компресора на даному режимі роботи двигуна

Універсальна газова стала $R = 287$, Дж/кг*К

$$G = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4}\right) \times S_c \times \left(\frac{P_s \times 10^6}{R \times T_s}\right) \times \eta_н \times i \times z \times \left(\frac{n}{60}\right) \times \varphi_a = 16{,}15$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 16{,}624$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0{,}367$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b}\right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}} = 760{,}806$$

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

$$R_t = \frac{1}{\frac{C}{12 \times M_s \times 189} + \frac{H}{2 \times M_s \times 461{,}6} + \frac{0{,}21 \times (\alpha - 1) \times L_0}{M_s \times 259{,}8} + \frac{0{,}79 \times \alpha \times L_0}{M_s \times 296{,}8}} = 287{,}463$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8{,}314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = 1{,}377$$

$$\Pi_k = \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1}\right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0}\right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}}\right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_в}{k_в - 1}\right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}}\right]^{\frac{1}{0{,}286}} = 3{,}951$$

$$P_{kd} = П_к \times P_0 = 0{,}4003$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = 0{,}066\%$$

**Вдосконалення паливного насосу високого тиску**

Стандартний паливний насос високого тиску складається з корпусу, кришки, втулки плунжера, яка встановлена у корпусі насоса з можливістю регулювального переміщення вздовж осі, плунжера та нагнітального клапана. Останній розташований у верхній частині втулки плунжера з радіальним зазором 0,01…0,04 мм, а його бічна циліндрична поверхня контактує з внутрішньою поверхнею втулки плунжера. У корпусі нагнітального клапана передбачено 8 приймальних каналів, через які порожнина низького тиску з'єднується з порожниною високого тиску через отвори посадкового поля на торцевій поверхні корпусу клапана. Нагнітальний клапан включає пластину і пружину, розташовані у внутрішній камері, яка формується торцевою поверхнею корпусу клапана та його бічними стінками.

Основною метою модернізації насоса є покращення можливостей ремонту та якості обслуговування паливного насоса у суднових умовах. Це досягається завдяки забезпеченню легкого доступу до посадкового поля на торці корпусу нагнітального клапана та пластині. Крім того, модернізація сприяє збільшенню моторесурсу, підвищенню ефективності та надійності роботи насоса, покращенню пускових і реверсивних характеристик двигуна та підвищенню економічності за рахунок повного згоряння палива.

Основною проблемою стандартного насоса є конструкція нагнітального клапана, яка унеможливлює доступ до посадкового поля пластини та клапана під час проведення ремонтних робіт у суднових умовах.

Через велику площу посадкового поля пластини та посадкового поля на торці корпуса нагнітального клапана існує підвищений ризик потрапляння на них твердих частинок.

Згідно з технічними умовами заводу-виробника, клапан встановлено у верхній частині втулки плунжера з радіальним зазором 0,01…0,04 мм. При цьому в конструкції не передбачено забезпечення гідравлічної щільності між деталями у зоні високого тиску (75 МПа) агресивного середовища. Через це, навіть за умови дотримання допустимого зазору, паливний насос не забезпечує необхідного високого тиску, достатнього для якісного розпилення та повного згоряння палива. Під час подачі сірчистих мазутів на високих швидкостях відбувається руйнування корпуса клапана та зниження тиску палива, що призводить до перевитрати палива до 15% від паспортної норми, теплових перевантажень, пошкодження основних деталей, викиду у атмосферу сажі, що горить, та інших негативних наслідків. Це значно погіршує пускові та реверсивні характеристики двигунів, що створює загрозу безпеці судноплавства.

У цій роботі поставлено завдання вдосконалити конструкцію паливного насоса високого тиску. Зокрема, це передбачає створення доступу до посадкового поля пластини та корпуса нагнітального клапана, зменшення площі посадкового поля корпуса нагнітального клапана, а також впровадження радіальних ущільнень, наприклад, металевих, що працюють завдяки різниці коефіцієнтів лінійного розширення.

Поставлене завдання вирішується завдяки тому, що в паливному насосі високого тиску, який містить корпус насоса, кришку, втулку плунжера, розташовану в корпусі з можливістю осьового регулювання, плунжер та нагнітальний клапан, встановлений у верхній частині втулки плунжера, конструкція удосконалена наступним чином. Корпус нагнітального клапана з'єднаний своєю боковою циліндричною поверхнею з внутрішньою поверхнею втулки плунжера і містить камеру, де розміщені пластина і

пружина. Корпус клапана виконано рознімним з можливістю від'єднання камери, що полегшує доступ до внутрішніх елементів.

У корпусі нагнітального клапана передбачено додаткові приймальні канали та додаткові отвори посадкового поля на торцевій поверхні. Для підвищення герметичності на з'єднанні бокової циліндричної поверхні корпуса клапана з внутрішньою поверхнею втулки плунжера розміщені радіальні ущільнення у вигляді кілець, встановлених у канавках на поверхні корпуса клапана. Відстань між кільцями уздовж осі і ширина кожного кільця вибрані у діапазоні 0,19…0,37 та 0,055…0,064 від зовнішнього діаметра корпуса клапана відповідно, а висота кожного кільця становить 2/3 його ширини. Кільця можуть бути виготовлені з міді, а канавки на циліндричній поверхні виконані з поперечним профілем у формі "ластівчиного хвоста".

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю запропонованих ознак і технічним результатом полягає в наступному:

Виконання корпуса нагнітального клапана рознімним з можливістю відокремлення камери, де розміщені пластина і пружина, забезпечує зручний доступ до посадкового поля пластини та торця корпуса клапана. Це значно покращує ремонтопридатність паливного насоса і якість його обслуговування у суднових умовах, а також сприяє підвищенню моторесурсу паливного насоса.

Виконання додаткових приймальних каналів у корпусі нагнітального клапана та додаткових отворів посадкового поля на його торці дозволяє зменшити площу посадкового поля. Це, у свою чергу, знижує ймовірність потрапляння твердих часток і підвищує надійність роботи паливного насоса.

Розміщення радіального ущільнення на з’єднанні бокової циліндричної поверхні корпуса клапана з внутрішньою поверхнею втулки плунжера у вигляді кілець, встановлених у канавках, забезпечує необхідну герметичність трьома способами одночасно: за рахунок запресування з натягом у холодному

стані, лінійного розширення ущільнень і утворення гідравлічного ущільнення між металевими поверхнями.

Оптимальна відстань між кільцями вздовж осі, що дорівнює 0,19…0,37 зовнішнього діаметра корпуса клапана, дозволяє розмістити необхідну кількість ущільнень (наприклад, чотири), що забезпечує ефективне ущільнення.

Ширина кілець, що складає 0,055…0,064 зовнішнього діаметра корпуса клапана, а висота кожного кільця, що дорівнює 2/3 його ширини, забезпечують мінімальні зусилля при їх первинному запресуванні вздовж осі насоса та гарантують необхідну радіальну герметичність.

Виконання канавок на циліндричній поверхні корпуса клапана з поперечним перерізом у формі «ластівчиного хвоста» підвищує надійність фіксації ущільнювальних кілець.

Виготовлення кілець з міді є технологічно зручним при їх закочуванні роликом на верстаті у відповідні канавки. Завдяки лінійному розширенню міді забезпечується надійне ущільнення при роботі на важкому паливі.

Паливний насос високого тиску (рис. 3.1) складається з корпусу насоса 1, кришки насоса 2, втулки плунжера 3, що встановлена в корпусі 1 з можливістю осьового регулювального переміщення, плунжера 4 і нагнітального клапана 5, розташованого у верхній частині втулки плунжера 3.

Нагнітальний клапан 5 включає корпус 6 (рис. 3.2), бокова циліндрична поверхня 7 якого стикується з внутрішньою поверхнею втулки плунжера 3. У корпусі 6 передбачені приймальні канали 8, які через дев’ять отворів 9 посадкового поля на торці 10 корпусу 6 з’єднують порожнину низького тиску з порожниною високого тиску. Усередині корпусу 6 нагнітального клапана розташована пластина 11 та пружина 12, що знаходяться в камері 13. Конструкція клапана 5 виконана рознімною: камера 13 відділяється завдяки частині корпуса 14, яка фіксується до основного корпуса 6 за допомогою стопорних гвинтів 15.

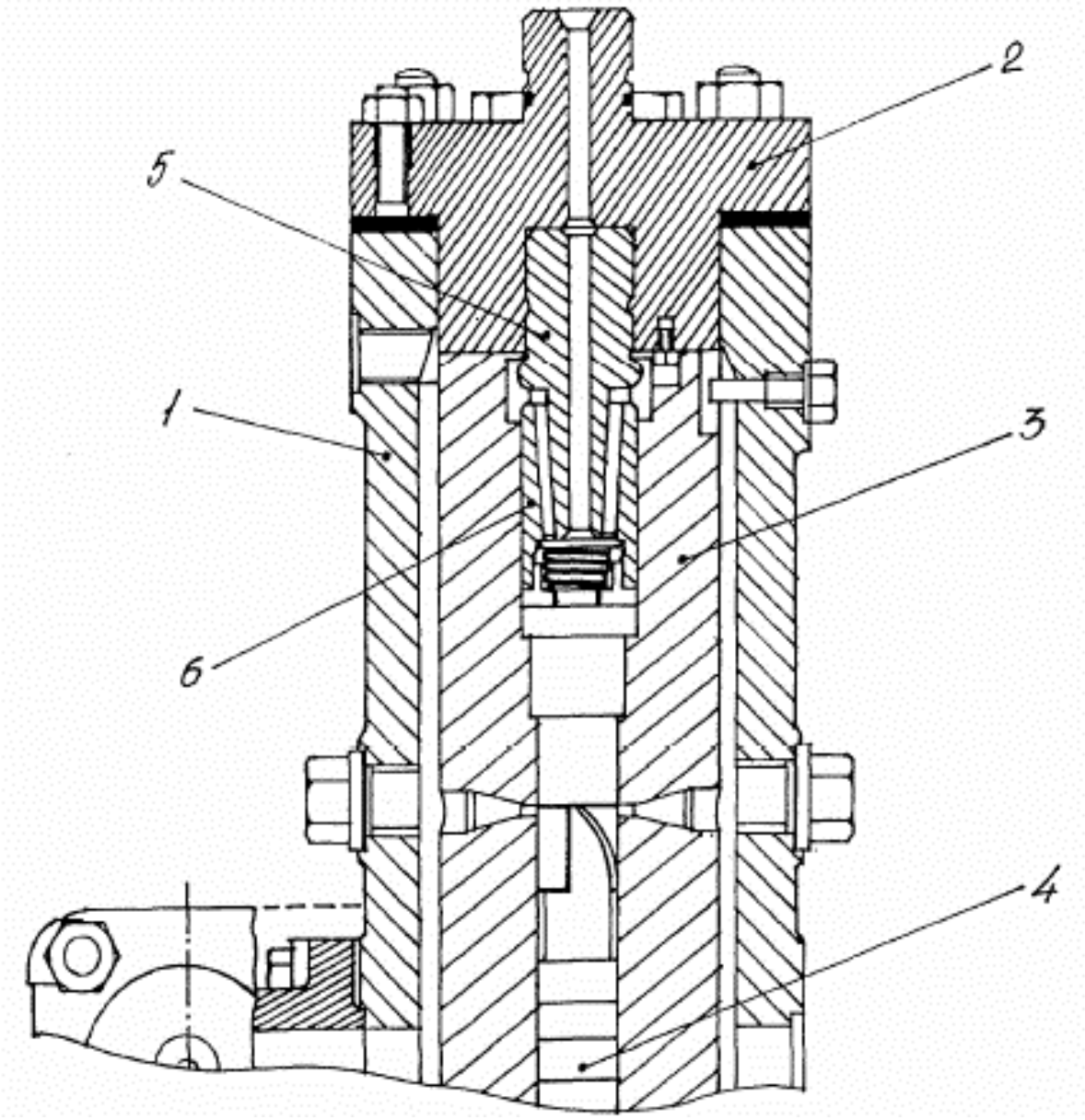


Рисунок 3.1 – Паливний насос високого тиску

На з’єднанні бокової циліндричної поверхні 7 корпусу 6 клапана з внутрішньою поверхнею втулки плунжера 3 розміщено радіальне ущільнення 16. Воно виконане у вигляді чотирьох мідних кілець, встановлених у канавках 17 на боковій поверхні 7. Відстань між ущільненнями 16 вздовж осі та їх ширина становлять 0,19…0,37 і 0,055…0,064 зовнішнього діаметра корпусу 6 відповідно, а висота кожного ущільнення дорівнює 2/3 його ширини. Канавки 17 мають поперечний перетин у формі «ластівчиного хвоста», що забезпечує надійне утримання кілець.

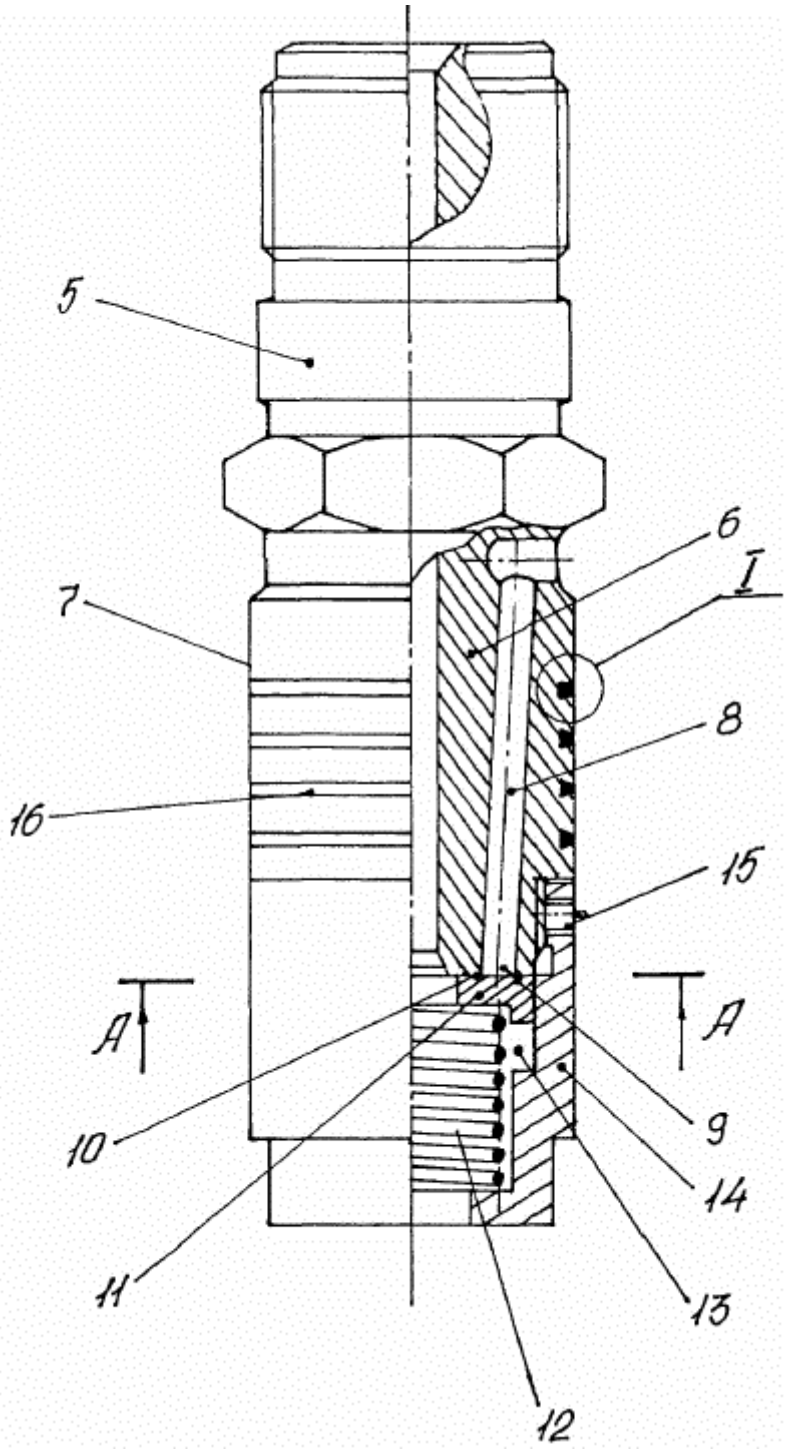


Рисунок 3.2 – Нагнітальний клапан насоса

Під час роботи паливного насоса високого тиску паливо з надплунжерного простору подається до форсунок (не показані на схемі) через нагнітальний клапан 5. У процесі подачі палива клапан відключає порожнину низького тиску від робочої камери насоса.

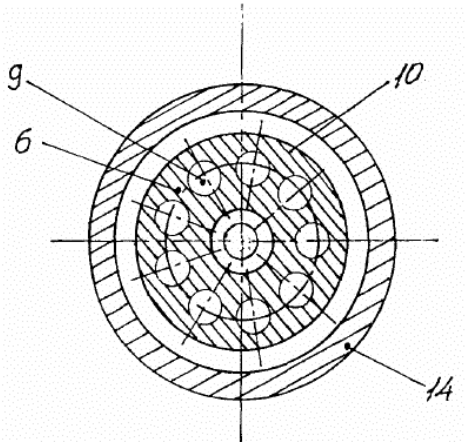


Рисунок 3.3 – Переріз нагнітального клапана

Для проведення огляду чи ремонту посадкового поля торця 10 корпусу і пластини 11 необхідно зняти кришку насоса 2, вийняти клапан 5 із втулки 3, відкрутити гвинти 15 і роз’єднати основний корпус 6 клапана від його знімної частини 14.

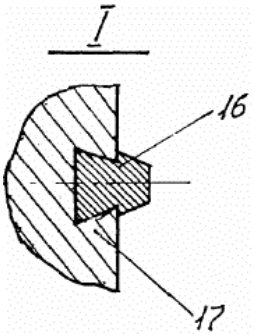


Рисунок 3.3 – Вузол установки кільця в корпусі нагнітального клапана

**За дослідними даними, при використанні вдосконаленного паливного насосу високого тиску питома ефективна витрата палива зменшується на 1,5 % (3 г/(кВт×год)).**

# РОЗДІЛ 4
# ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Оскільки модернізація стосується лише паливного насоса, враховуються лише витрати на заміну обладнання. Відповідно, для економічної оцінки достатньо розрахувати додаткові інвестиційні витрати.

У рамках роботи було модернізовано систему подачі палива двигуна. Внаслідок цього швидкість руху та необхідність поточного ремонту залишаються незмінними, тоді як витрати на паливо, амортизацію та загальні експлуатаційні витрати зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

– двигун марки Wartsila 8L46 загальною вартістю $ 5,2 млн.;

– зменшення питомої витрати палива зі 177 до 174 г/(кВт×год), при роботі двигуна з модернізованим паливним насосом.

Визначення додаткових витрат на впровадження модернізації

Оптова ціна двигуна після його модернізації визначається по формулі:

$$Ц_н = Ц_б - \sum_{i=1}^{m} Ц_{бі} + \sum_{j=1}^{n} Ц_{нj},$$

де $Ц_б$, $Ц_н$ – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) $;

$Ц_{бі}$ – сумарна ціна елементів що підлягають заміні ($Ц_{бі}$ = 0 $);

$Ц_{нj}$ – сумарна ціна нових елементів ($Ц_{нj}$ = 32000 $);

$$Ц_н = 5200000 – 0 + 32000 = 5232000 \$$$

Замість визначення ціни штатного і модернізованого двигуна, знаходимо їх різницю, оскільки лише два члени у цієї формули будуть розрізнятися і саме ця різниця складе додаткові інвестиції:

$$К_{дп} = \sum_{j=1}^{n} Ц_{нj} – \sum_{i=1}^{m} Ц_{бі}.$$

$$К_{дп} = 32000×1 – 0×1 = 32000 \$$$

Для визначення витрат на вдосконалення використовуємо показники: робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу робіт, у залежності від їх складності (10 $ - для України,  для закордонних виробників – від 70 до 100 $). Додаткові інвестиції зводимо до таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції**

| Вид робіт | Тривалість, людино-години | Вартість нормо-год., $ | Вартість робіт ($К_в$), $ |
|---|---|---|---|
| Монтаж ПНВТ | 12 | 100 | 1200 |
| Налаштування ПНВТ | 2 | 95 | 190 |
| Випробування двигуна | 12 | 110 | 1320 |
| Регулювання ПНВТ | 16 | 130 | 2080 |
| Всього | 42 | - | 4790 |

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

$$К_д = К_{дп} + К_в$$

$$К_д = 32000 + 4790 = 36790 \$.$$

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

$$В_{ам} = 20/100 \times К_д$$

$$В_{ам} = 20/100 \times 36790 = 7358{,}0 \$.$$

Витрати на паливо та масла розраховуються при 100 % навантаженні двигуна.

Витрати на паливо:

$$В_{пал} = N \times g_e \times T_e \times В_п,$$

де N – потужність двигунів (для базового та модернізованого двигуна при 100% навантаженні – 9600 кВт) [розділ 1];

$g_e$ – питома витрата палива при роботі двигуна (для базового при 100% навантаженні – 0,177 кг/кВт×год; для модернізованого двигуна – 0,174 кг/кВт×год);

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

$В_п$ – вартість 1 кг палива, $, (1).

$$Впал(Б) = 9600×0,177×4000×1 = 6796800,0 \$$$

$$Впал(М) = 9600×0,174×4000×1 = 6681600,0 \$$$

Питомі витрати масла для двигуна складають 0,2 % витрат на паливо.

Витрати на мастильні матеріали, $ рік:

$$В_{мм} = В_{пал} × 0,2\%$$

$$В_{мм}(Б) = В_{пал}(Б) × 0,002 = 6796800,0 × 0,002 = 13593,6 \$$$

$$В_{мм}(М) = В_{пал}(М) × 0,002 = 6681600,0 × 0,002 = 13363,2 \$.$$

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, $**

| Стаття витрат | Базове рішення | Нове рішення | Відхилення |
|---|---|---|---|
| Амортизаційні відрахування $В_{ам}$ | – | 7358,0 | - 7358,0 |
| Витрати на паливо $В_{пал}$ | 6796800,0 | 6681600,0 | 115200,0 |
| Витрати на мастильні матеріали $В_{пал}$ | 13593,6 | 13363,2 | 230,4 |
| Всього | 6810393,6 | 6702321,2 | 108072,4 |

Загальний балансовий річний прибуток Пб розраховують за формулою:

$$Ер = ΔВ – Вам$$

$$ΔВ = (Впал(Б) + Вмм(Б)) – (Впал(М) + Вмм(М))$$

$$Ер = ((6796800,0 + 13593,6) – (6681600,0 + 13363,2)) – 7358,0 = 108072,4 \$$$

Чистий прибуток (Пч) визначається як різниця між балансовим прибутком (Пб) та податком на прибуток:

$$Пч = Пб – (0,18×Пб) = 0,82× Пб$$

$$Пч = 0,82 × 108072,4 = 88619,4 \$$$

Термін окупності додаткових інвестицій (ТОК) визначається за формулою:

$$Т_{ОК} = Кд / Пч$$

$$Т_{ОК} = 36790 / 88619,368 = 0,42 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в роботі заходи дозволяють зменшити витрати на $ 88619,4 в рік, в результаті підвищення економічності. Термін окупності модернізації становить 0,42 року.

# РОЗДІЛ 5
# ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

## Основні напрями забезпечення безпечних умов праці на суднах

Забезпечення безпечних умов праці на суднах є важливою складовою морської галузі, яка спрямована на збереження здоров'я та життя моряків, а також на попередження аварійних ситуацій. Основними напрямами цієї діяльності є [9]:

*Розробка та дотримання нормативно-правової бази*

Виконання міжнародних і національних норм, таких як Конвенція МОП (Міжнародної організації праці) про працю в морському судноплавстві, є основою для забезпечення безпечних умов праці. Регламенти щодо охорони праці, санітарії, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища повинні бути строго дотримані.

*Система навчання та підготовки екіпажу*

Моряки повинні проходити регулярне навчання та тренування з питань безпеки, включаючи дії в надзвичайних ситуаціях, роботу з аварійно-рятувальним обладнанням, пожежогасіння тощо. Це забезпечує готовність екіпажу до можливих ризиків і знижує ймовірність аварій.

*Оцінка ризиків та профілактика*

На суднах повинна здійснюватися постійна оцінка можливих ризиків під час виконання робіт. До профілактичних заходів належать організація безпечних маршрутів переміщення, використання захисного обладнання та дотримання техніки безпеки.

*Забезпечення технічної справності судна*

Регулярне обслуговування і перевірка всіх систем і механізмів судна знижують ризик аварій та поломок. Особлива увага приділяється паливній системі, навігаційним приладам, системам вентиляції та освітлення.

*Контроль за санітарними умовами*

На судні має бути забезпечено належний рівень гігієни, чистота приміщень, вентиляція та якісне харчування. Це сприяє збереженню здоров'я екіпажу та зниженню ризику захворювань.

*Організація роботи та відпочинку*

Графіки роботи та відпочинку екіпажу повинні дотримуватися встановлених норм, щоб уникнути перевтоми, яка може призвести до помилок або нещасних випадків.

*Забезпечення аварійно-рятувальним обладнанням*

Кожне судно повинно мати справне аварійно-рятувальне обладнання, включаючи рятувальні шлюпки, жилети, сигнальні пристрої та медичні комплекти. Екіпаж має бути навченим його використанню.

*Моніторинг умов праці та своєчасне реагування*

Систематичний моніторинг умов праці дозволяє виявляти та усувати небезпечні фактори на ранніх етапах. Також важливо швидко реагувати на зауваження екіпажу та інспекційні перевірки.

***Дотримання цих напрямів сприяє підвищенню рівня безпеки праці на суднах, зниженню ризику аварій і травматизму, а також створенню комфортних умов для ефективної роботи екіпажу.***

**Основні принципи охорони екіпажу судна**

Охорона екіпажу судна є однією з головних складових забезпечення безпеки мореплавства. Ефективна система охорони спрямована на створення безпечних умов для роботи та життя моряків, запобігання аварійним ситуаціям і збереження здоров'я екіпажу. Основні принципи охорони екіпажу включають наступні аспекти [10]:

*Пріоритет життя та здоров’я*

Збереження життя та здоров’я членів екіпажу є найвищим пріоритетом. Всі заходи на борту судна повинні бути спрямовані на мінімізацію ризиків для людей під час виконання їхніх обов'язків.

*Комплексний підхід до безпеки*

Охорона екіпажу охоплює всі аспекти життя та роботи на судні: від фізичної безпеки до створення сприятливих умов праці, включаючи технічне обслуговування судна, забезпечення гігієни, харчування, медичного догляду та організацію відпочинку.

*Дотримання міжнародних стандартів і регламентів*

Безпека екіпажу базується на виконанні міжнародних норм, таких як Конвенція МОП про працю в морському судноплавстві (MLC) і Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS). Судно повинно відповідати стандартам, які регулюють умови праці, розміщення екіпажу та використання захисного обладнання.

*Профілактика ризиків і небезпек*

Оцінка ризиків і їх мінімізація є основою для забезпечення охорони екіпажу. Це включає регулярні перевірки технічного стану судна, моніторинг погодних умов, використання захисного обладнання та дотримання правил безпеки під час виконання робіт.

*Навчання та підготовка екіпажу*

Члени екіпажу повинні проходити регулярні тренування, спрямовані на підвищення рівня їхньої готовності до надзвичайних ситуацій. Важливим є навчання методам пожежогасіння, евакуації, роботи з рятувальним обладнанням і надання першої медичної допомоги.

*Забезпечення якісного медичного обслуговування*

На борту судна повинно бути передбачене надання першої медичної допомоги, а також забезпечення необхідними медикаментами. Крім того, моряки мають проходити обов'язкові медичні огляди перед виходом у рейс.

*Організація безпечного робочого середовища*

Всі зони на судні повинні відповідати нормам безпеки. Це стосується правильної організації робочих процесів, наявності захисного обладнання, належного освітлення та вентиляції.

*Забезпечення психологічного благополуччя*

Робота на судні часто пов’язана зі стресом та ізоляцією. Важливо створити умови для підтримання позитивного психологічного стану екіпажу, забезпечити належні умови для відпочинку та зв'язок з рідними.

*Підтримання аварійної готовності*

Судно повинно бути оснащене аварійно-рятувальним обладнанням, яке регулярно перевіряється на справність. Члени екіпажу повинні знати, як діяти в надзвичайних ситуаціях, таких як пожежа, витік води чи евакуація.

*Відповідальність та контроль*

Відповідальність за охорону екіпажу лежить як на керівництві судна, так і на кожному члені екіпажу. Регулярні інспекції та аудит систем безпеки допомагають виявити недоліки та своєчасно їх усунути.

***Дотримання цих принципів сприяє створенню безпечного робочого середовища, зменшенню травматизму та підвищенню ефективності роботи екіпажу на борту судна.***

# ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даної кваліфікаційної роботи було проаналізовано конструктивні особливості суднового двигуна Wartsila 8L46, проведено аналіз сучасних напрямків вдосконалення паливної апаратури. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що одним з перспективних способів підвищення економічних, екологічних та експлуатаційних показників двигуна є модернізація паливного насоса.

Модернізація насоса дозволила покращити ремонт та якість обслуговування паливного насоса у суднових умовах. Це досягається завдяки забезпеченню легкого доступу до посадкового поля на торці корпусу нагнітального клапана та пластині. Крім того, модернізація сприяє збільшенню моторесурсу, підвищенню ефективності та надійності роботи насоса, покращенню пускових і реверсивних характеристик двигуна та підвищенню економічності за рахунок повного згоряння палива.

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження модернізації.

В розділі охорони праці розглянуті основні напрями забезпечення безпечних умов праці на суднах та основні принципи охорони екіпажу судна.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ


1. Significant ships of 2006. The Royal Institution of Naval Architects, 2006. pp. 54 - 55.

2. Wartsila 8L46. Project guide, 2015. 231 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.