

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



« 08 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення ефективності системи наддуву та покращення умов роботи газоповітряного тракту дизеля ЧН 23/30 фірми MAN

Виконав:

студент групи 63-ТЕМмаг-24

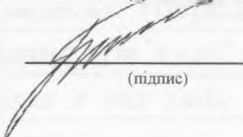

(підпис)

Рудь А.В.

Керівник роботи:

проф. кафедри ЕМ, д.т.н., проф.

(прізвище, науковий ступень, вчене звання)


(підпис)

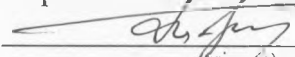
Білоусов Є.В.

Первомайськ - 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»
Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми


(підпис)
« 15 » 09 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту

Рудь Артем Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Підвищення ефективності системи наддуву та покращення умов роботи газоповітряного тракту дизеля ЧН 23/30 фірми MAN

Керівник роботи Білоусов Євген Вікторович, д.т.н., проф.

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

Затверджено: розпорядженням ПННІ НУК від 15.09.2025 року № 86.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 08.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: Як об'єкт дослідження пропонується розглянути можливість підвищення ефективності робочого процесу судових високообертових дизелів, за рахунок модернізації їх агрегатів наддуву шляхом використання нового спрямовуючого апарату турбіни з двоступеневим регулюванням перетинів та кутів виходу газів на колесо турбіни

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробці підлягають питання пов'язані з конвертацією систем подачі наддуву в високообертових дизелях з та змін необхідні для їх конвертації з метою покращення економічних показників на часткових навантаженнях.

9. Перелік графічного матеріалу Графічне відображення результатів аналізу й розрахункових досліджень (4-5 позицій), креслення, з розточуванням, обладнання перетин двигуна, схеми, матеріали що підтверджують ефективність запропонованих технічних заходів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання

«15» вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підготовка та проробка літературних джерел	16.09.2025	
2	Написання першого розділу	23.09.2025	
3	Виконання розрахунків та написання другого и третього розділу	07.10.2025	
4	Розробка заходів з охорони праці	28.10.2025	
5	Розробка заходів з охорони навколишнього середовища.	18.11.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі	25.11.2025	
7	Оформлення кваліфікаційної роботи та графічної частини	08.12.2025	

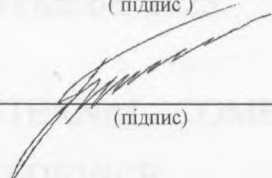
Студент


(підпис)

Рудь А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

д.т.н., проф. Білоусов Є.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Представлена кваліфікаційна робота містить 72 сторінки, 32 рисунки, 9 таблиць. При підготовці проекту було використано 20 джерел інформації.

У проекті розроблений комплекс заходів щодо вдосконалювання системи наддуву дизеля MAN 6L23/30 шляхом запровадження механізму зміни геометричних параметрів соплового апарату. Виконано розробку заходів з охорони праці під час модернізації турбокомпресору та заходи з охорони навколишнього середовища.

Результати кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на науково-технічній конференції «Modern Automotive Industry, Transport and Road Infrastructure 2025 (MAITRI 2025)» у жовтні 2025 року.

Ключові слова: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ЧАСТКОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СОПЛОВИЙ АПАРАТ

ABSTRACT

This qualification work contains 72 pages, 32 figures, and 9 tables. Twenty sources of information were used in preparing the project.

The project developed a set of measures to improve the turbocharging system of the MAN 6L23/30 diesel engine by implementing a mechanism for changing the geometric parameters of the nozzle assembly. Occupational safety measures for turbocharger modernization and environmental protection measures were developed.

The results of the qualification work were tested at the scientific and technical conference «Modern Automotive Industry, Transport, and Road Infrastructure 2025 (MAITRI 2025)» in October 2025.

Keywords: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, PARTIAL LOADINGS, PHASES GUIDING DEVICE

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА, ЙОГО СИСТЕМ, СИЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	7
1.1 Загальна характеристика судна.....	7
1.2 Силова установка судна.....	7
1.3 Аналіз конструкції двигуна L23/30 що працює в складі дизель-електричних агрегатів суднової електростанції.....	10
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТУРБОКОМПРЕСОРУ ТА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ ДВИГУНА НА РЕЖИМАХ ЧАСТКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	26
2.1 Аналіз конструкції турбокомпресора NR20/R.....	26
2.2 Аналіз шляхів вдосконалення соплових апаратів турбонагнітачів	29
2.3 Розрахунок робочого процесу двигуна з модернізованим турбокомпресором.....	32
2.4 Висновки за результатами теплового розрахунку.....	45
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРЕГАТИВ НАДДУВУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	46
3.1 Заходи що до модернізації турбокомпресора NR20/R.....	46
3.1.1 Вивід з експлуатації газотурбонагнітача.....	46
3.1.2 Демонтаж і монтаж глушника.....	50
3.1.3 Демонтаж і монтаж кожуха компресора, дифузора, вставки..	51
3.1.4 Демонтаж і монтаж картриджа.....	51
3.1.5 Демонтаж і монтаж колеса компресора.....	53
3.2 Аналіз факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики турбокомпресора двигуна L 23/30.....	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ У МАШИНО-КОТЕЛЬНОМУ ВІДДІЛЕНІ СУДНА ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	58
4.1 Охорона праці.....	58
4.1.1 Нормативно-правова база з охорони праці.....	58
4.1.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів у машинно-котельному відділенні судна.....	59
4.1.3 Заходи зі забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на суднах.....	62
4.2 Охорона навколишнього середовища.....	66
4.2.1 Вплив судна на навколишнє морське середовище.....	66
4.2.2 Розробка заходів із зниження соціально економічного та екологічного збитку навколишньому морському середовищу.....	68
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Перехід на важкі палива дозволив суттєво скоротити вартість морських перевезень. Спочатку завдання було вирішено для головних малооборотних двигунів. Однак це рішення не повною мірою вирішило проблему, тому що допоміжні двигуни продовжували працювати на легких сортах палива. Це вимагало мати на борту значні запаси обох палив. У зв'язку з цим двигунобудівні фірми всього світу провадили активні дослідження щодо переведення на важкі палива всіх типів двигунів які використовуються на флоті. В 1995 році фірма MAN вивела на ринок високооборотний двигун L23/30 здатний працювати на важких паливах. Даний двигун має всі переваги високооборотних дизелів. При помірній витраті палива він компактний, надійний, і простий в обслуговуванні.

У даній кваліфікаційній роботі розглядається особливості модернізації дизель-генераторної установки судна з комбінованим приводом рушіїв.

Ціль даної кваліфікаційної роботи – проаналізувати досвід експлуатації агрегатів наддуву суднових високооборотних двигунів L23/30 та розробити конструктивні рішення що дозволять відновлювати технічний стан агрегатів наддуву під час їх експлуатації.

Задачі, що розв'язуються в роботі полягають у наступному:

- проаналізувати особливості конструкції й експлуатації високо-оборотного двигуна на, що працює на важкому паливі. Проаналізувати причини засмічення компресорів і методи боротьби із цими засміченнями;
- розрахунковим шляхом визначити як засмічення турбокомпресорів впливає на характеристики двигуна та розробити конструктивні рішення щодо дозволять здійснювати очищення агрегатів наддування під час обслуговування та експлуатації;
- розробити заходи щодо охорони праці при експлуатації агрегатів наддування, розробити заходи щодо охорони навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА, ЙОГО СИСТЕМ, СИЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальна характеристика судна

Судно-контейнеровоз, «MED CESME» (номер ІМО 9256365), однокорпусне, з тринадцятьма палубами, необмеженого району плавання, за виключенням полярних і субполярних зон. Здатне взяти на борт 1744 контейнера, з яких 300 рефрижераторних. Має чотири трюми, два вантажні крани й один провізійний кран. Тоннаж судна – 23579 т (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні характеристики судна, «MED CESME»

Параметр	Значення
Довжина найбільша з бушпритом	175,4 м
Довжина корпусу найбільша	166,1 м
Ширина	27,4 м
Розрахункове осідання	не більше 10,9 м
Потужність головного двигуна	15785 кВт
Максимальне осідання від нижньої кромки кіля з	
Кількість місць на судні	30
Автономність плавання	
По запасах палива для забезпечення електроенергією	50 доби
Роботі головного двигуна	50 доби
По продовольству	45 діб
Швидкість ходу	18,3 вуз.

1.2 Силова установка судна

Механічна установка судна розміщена в кормовій частині. Загальний план розміщення устаткування в машинного відділення наведено на рис. 1.2.

Приміщення центрального поста розподілу електроенергії й поста керування розташовано напроти головного двигуна (ГД) палубою вище.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд контейнеровозу MED CESME

Три дизель-генератори розташовані в окремому приміщенні машинного відділення (МВ) (рис. 1.2). Між другим і третім перекриттям встановлено комбінований котел.

Для привода гвинта фіксованого кроку (ГФК) застосований двигун виробництва заводу «Hundong Heavy Machinery CO. LTD», Shanghai (CHN) MAN-B&W 7S60MC-C. Реверсивний двотактний, простої дії з безпосереднім упорскуванням палива в'язкістю до 380 cSt. Число циліндрів – 7, діаметр циліндра – 0,6 м, хід поршня – 2,4 м, максимальна тривала потужність – 15785 кВт (21447 к.с.). Частота обертання – 105 хв^{-1} . Пневматичний спосіб пуску, крейцкопфної конструкції.

На судні встановлено три дизель-генератори. Для приводів генераторів застосовані двигуни виробництва заводу MAN-B&W 6L23/30A, не реверсивні, чотиритактні прості дії з безпосереднім упорскуванням палива в'язкістю 380 cSt. Число циліндрів – 6. Максимальна тривала потужність – 960 кВт. Частота обертання – 900 хв^{-1} , частота струму – 60 Гц. Турбокомпресор виробництва фірми MAN, тип – NR20/R.

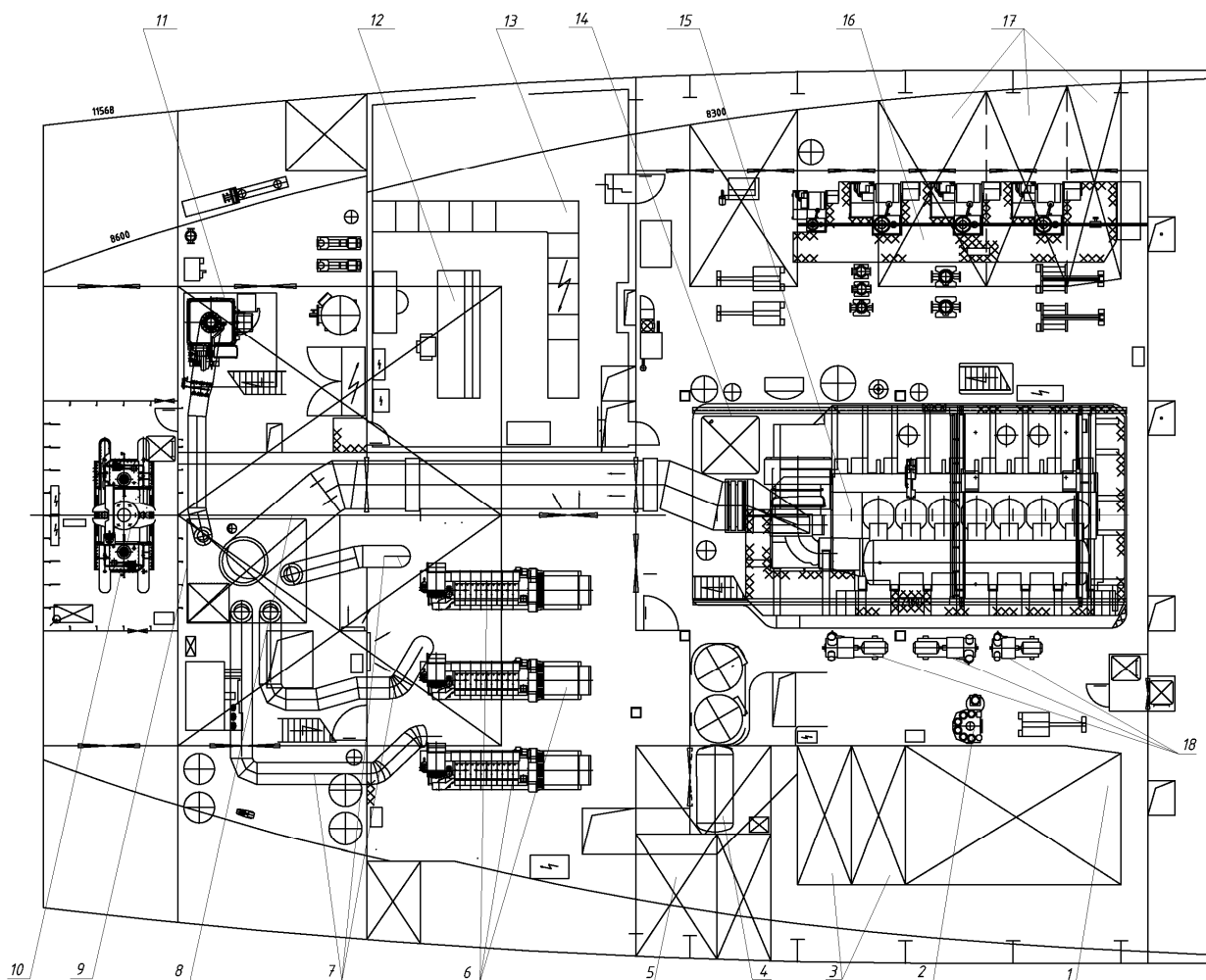


Рисунок 1.2 – Загальний план машинного відділення судна MED CESME:
 1 – цистерна запасів важкого палива для ГД; 2 – фільтр тонкого очищення масла; 3 – цистерни добового запасу палива; 4 – повітряні балони; 5 – цистерна легкого палива; 6 – дизель-генератори; 7 – газохід ДД; 8 – газохід ГД; 9 – шахта газоходів; 10 – рульова машина; 11 – інсінератор; 12 – ЦПК; 13 – електрощитова; 14 – цистерна масла для ТК; 15 – головний двигун; 16 – ділянка паливо підготовки; 17 – цистерни основного запасу; 18 – повітряні компресори

Передбачено один аварійний дизель-генератор (АДГ), встановлений в окремому приміщенні. Двигун виробництва фірми MAN, модель D2866TE Число обертів – 1800 хв^{-1} . Чотиритактний, V-подібний, основний пуск – електропневматичний. Потужність – 170 кВт, частота струму – 60 Гц.

1.3 Аналіз конструкції двигуна L23/30 що працює в складі дизель-електричних агрегатів суднової електростанції

Двигуни модельного ряду L23/30 були виведені фірмою МАН на ринок в 1995 році. Дана серія була задумана як двигуни нового покоління, що працюють на важких паливах до 700 сСт при 50°C, у діапазоні частот обертання 850...950 хв⁻¹. Основне призначення двигунів – робота в складі дизель-генераторів. Модельний ряд охоплює двигуни в 6, й 8 циліндровому виконанні, що перекривають діапазон потужностей від 960 кВт до 1280 кВт.

Загальне компонування двигуна показане на рис. 1.3, а його технічні характеристики наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики двигуна L23/30

Параметр	Одиниця вим.	Значення
Діаметр циліндра	см	23
Хід поршня	см	30
Частота обертання	хв ⁻¹	900
Ступінь стиску	—	13,5
Максимальний тиск циклу	МПа	13,5
Циліндрова потужність	кВт	160
Питома витрата палива	г/(кВт×год.)	195
Середній ефективний тиск	МПа	1,71
Середня швидкість поршня	м/с	9,6
Витрата масла	г/(кВт×год.)	1,00

Головна проблема при створенні високооборотних двигунів здатних працювати на високов'язкому паливі, це більша затримка самозапалювання, що пояснюється відносно невеликим вмістом у таких паливах летучих вуглеводневих фракцій. При розробці L23/30 використовувалося відразу кілька підходів що дозволяють домогтися якісного сумішоутворення й згорання важкого палива в циліндрах двигуна, навіть при роботі на режимах низьких навантажень не дивлячись на обмежені розміри камери згорання.

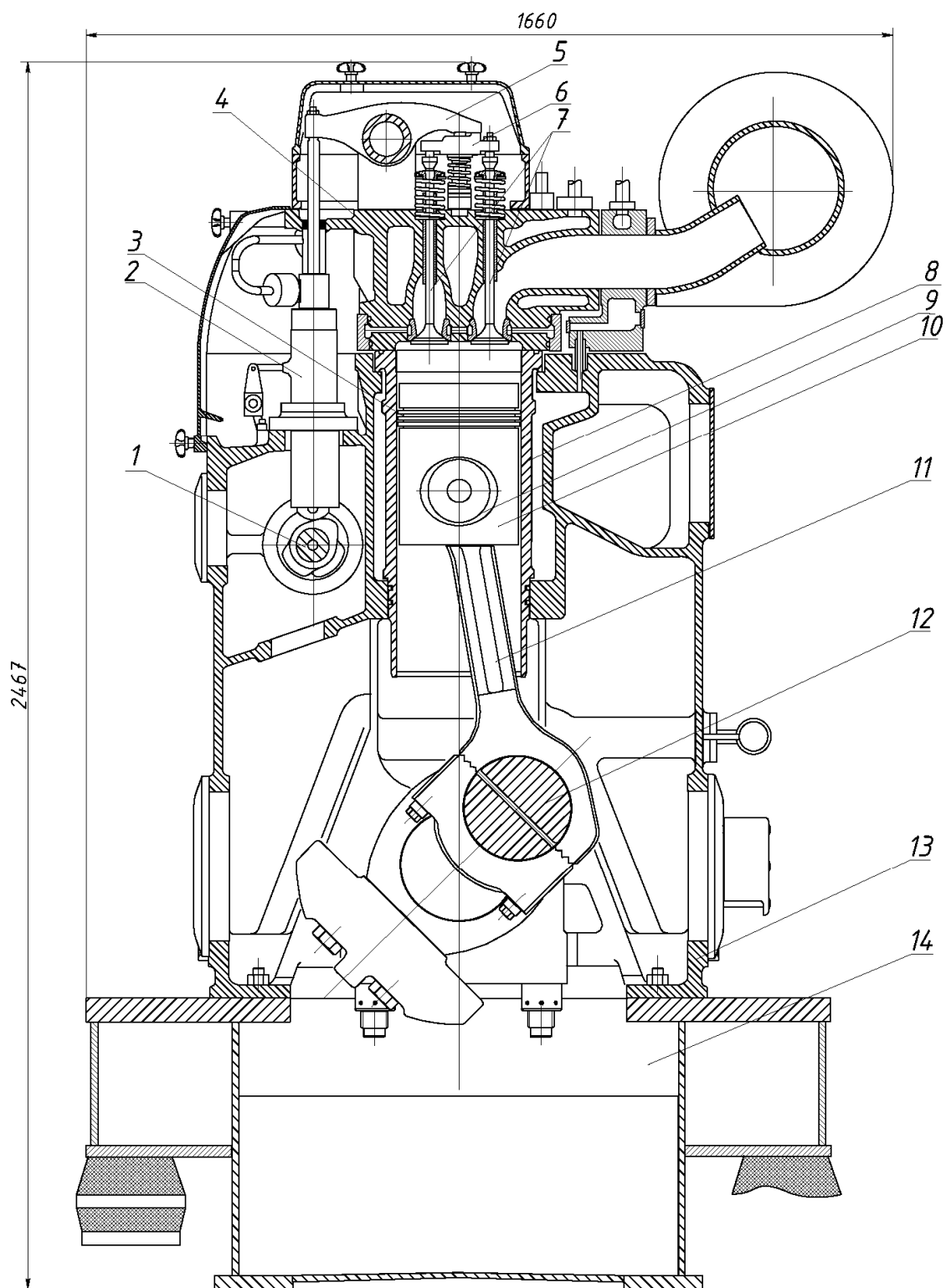


Рисунок 1.3 – Загальне компонування суднового чотиритактного високооборотного двигуна L23/30: 1 – розподільний вал привода клапанів та ПНВТ; 2 – ПНВТ; 3 – поршневі кільця; 4 – кришка циліндра; 5 – коромисло; 6 – штанга штовхача випускного клапана; 7 – випускний клапан; 8 – гільза циліндра; 9 – поршковий палець; 10 – поршень; 11 – шатун; 12 – колінчатий вал; 13 – картер; 14 – кришка картера;

До числа такого роду нововведень відноситься підвищення тиску упорскування палива до 150 МПа, більш високий тиск відкриття форсунки, використання розпилювачів із меншим прохідним перетином отворів, підвищення ступеня стиску до 13,5, збільшення максимального тиску згоряння до 13,5 МПа. Крім того, кришка циліндра була спроектована таким чином, щоб максимально турбулізувати потік повітря в циліндрі для більш якісного перемішування його із паливом. Для цього впускні колектора були з'єднані з підклапанним простором спеціально відпрофільваними каналами.

Переробці був підданий блок-картер двигуна: всі елементи, масляні й водяні насоси, охолоджувачі повітря, фільтри, пристрої безпеки й регулятор розмішені в спеціальній коробці в передній частині двигуна, що забезпечує доступ при технічному обслуговуванні й ремонті (рис. 1.4). Більшість каналів, виконані у вигляді свердлінь у блоці.

Такі зміни конструкції дозволили на 40% скоротити загальну кількість вузлів, у порівнянні із двигунами більш ранніх конструкцій.

Двигун і генератор встановлені на жорсткій підмоторній рамі, яка використовується як маслосбірник двигуна. Генератор виступає як спільна частина конструкції двигуна (рис. 1.4). Агрегат встановлюється на амортизатори з гумовими елементами під підмоторною рамою.

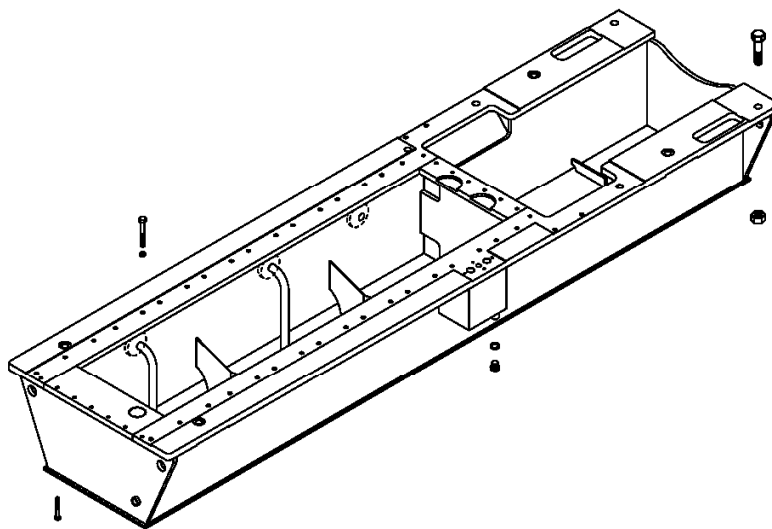


Рисунок 1.4 – Підмоторна рама

Блок-кртер двигуна. Висока жорсткість чавунного блок-кртера двигуна досягається тим, що всі деталі знаходяться під впливом стискального зусилля анкерних шпильок. Блок-кртер двигуна спроектовано таким чином, щоб найбільше оптимально розподілити потік зусиль від кришки циліндра до колінчатого вала, і звести до мінімуму передачу вібрацій на зовнішні поверхні двигуна (рис. 1.5).

Кулачковий вал розташований в блок-кртері. Він служить для привода клапанів газорозподілу та ПНВТ та встановлений з боку протилежного від випускного колектора й максимально піднятий, для скорочення довжини і як наслідок маси деталей приводу. Кришки по обидва боки блок-кртера забезпечують доступ до механізмів приводу клапанів і ПНВТ, деякі із кришок обладнуються запобіжними клапанами для скидання тиску в картері (наприклад, у випадку перегріву підшипників). У блок-кртері двигуна відсутні будь які водяні канали.

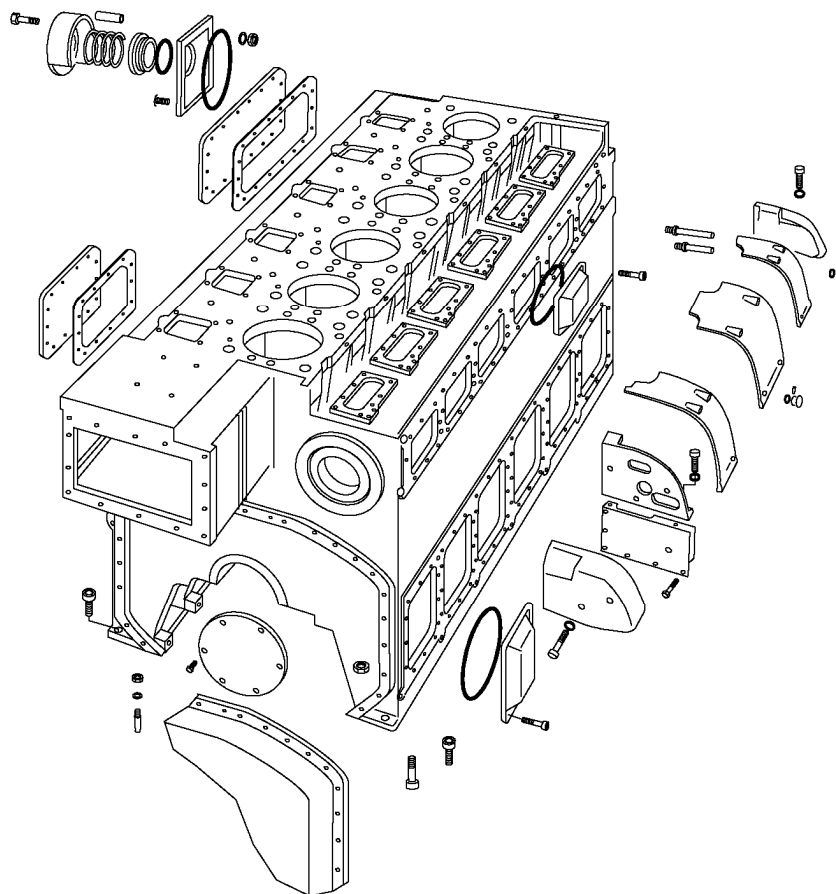


Рисунок 1.5 – Картер двигуна L23/30

Двигун спроектований так, щоб мінімізувати випромінювання шуму. Рамові підшипники колінчатого валу підвісного типу розташовані в нижній частині блок-картеру й кришках підшипників підвішених на анкерних шпильках. Кришки оснащено бічними напрямними та додатково стягнуто шпильками з гідравлічно ущільненими гайками.

Колінчатий вал і рамові підшипники. Цільнокутий колінчатий вал підвішано у підвісних підшипниках. Рамові підшипники триміталічного типу, покриті пріпрацьовочним шаром. Для досягнення прийнятного рівня тиску в підшипниках і вібрації колінчатий вал обладнаний противагами, які закріплені до колінчатого вала на шпильках (рис. 1.6).

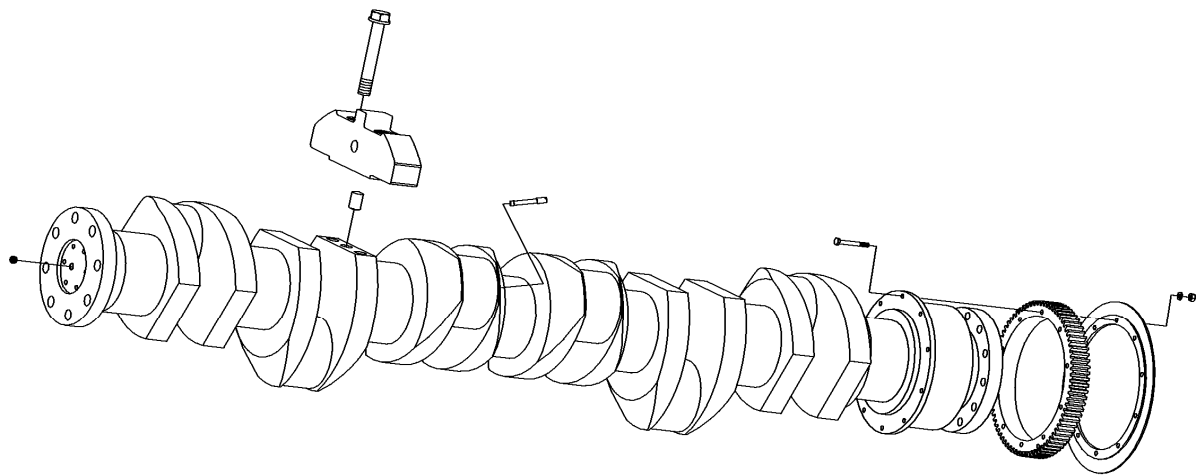


Рисунок 1.6 – Колінчатий вал

З боку маховика колінчатий вал обладнаний зубчастим колесом, що через дві проміжні шестірні приводить розподільний вал. Тут же також установлений фланець для приєднання генератора. На передньому торці двигуна є зубчасте колесо для приводу масляного й водяного насосів.

Масло в рамові підшипники поступає по свердліннях у блок-картері двигуна. З рамових підшипників масло проходить по свердліннях у колінчатому валу до мотильових підшипників, а відтіля через канали в шатунах на змащення поршневих пальців й охолодження поршнів.

Демпфер вібрації. Демпфер вібрації встановлений на колінчатому валу для обмеження крутильних коливань. Демпфер складається з первинної й вторинної частин. Між ними розташовані групи пакетів циліндричних пружин,

які затиснуті по зовнішніх кінцях (рис. 1.7)

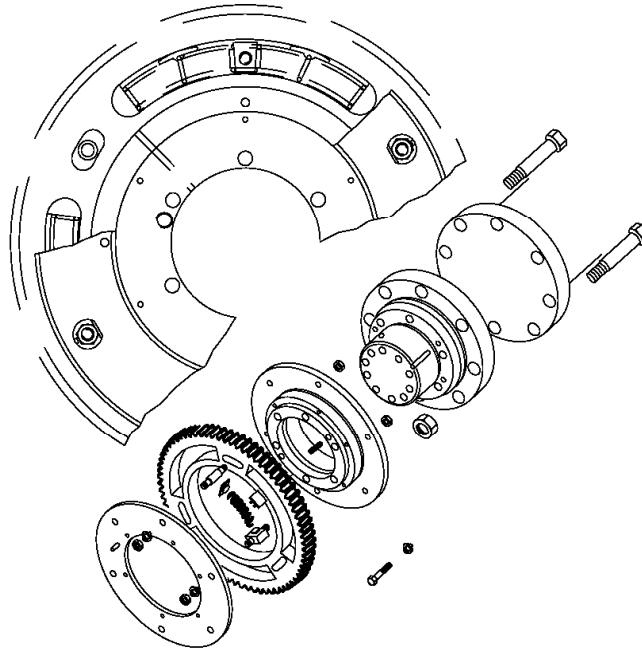


Рисунок 1.7 – Демпфер крутильних коливань

Ці пружинні пакети утворюють разом з первинними й вторинними деталями камери, які заповнені маслом. Якщо зовнішня деталь вібрує стосовно внутрішньої деталі, ці циліндричні пружини вигинаються й нагнітають масло з однієї камери в іншу, загальмовуючи відносний рух цих двох деталей й у такий спосіб демпфуючи крутильні коливання. Для захисту циліндричних пружин від перевантаження їхнє відхилення обмежується буферами.

Пружність визначається ретельним вибором циліндричних пружин, а коефіцієнт демпфірування зазором між первинними й вторинними деталями.

Поршень. Поршень, охолоджуваний маслом, виготовлений з кулястого чавуну стійкого до деформації. На поршні встановлені два компресійних й одне маслос'ємне кільця в загартованих поршневих канавках (рис. 1.8).

Компресійні кільця із різними бочкоподібними перетинами й хромованими робочими поверхнями оптимізовані для забезпечення максимальної щільності й мінімального зношування. У донці й у зоні поршневих кілець поршня розташована порожнина охолоджувального масла. Теплопередача й, отже, охолодження засновані на ефекті збовтування, що виникає при русі поршня. Як охолодне використовується масло системи змащення двигуна. Масло поступає в

охолоджувальну порожнину через отвір у середині шатуна до днища поршня, а зливається з охолоджувальної порожнини через канали, розташовані діаметрально до вхідних каналів.

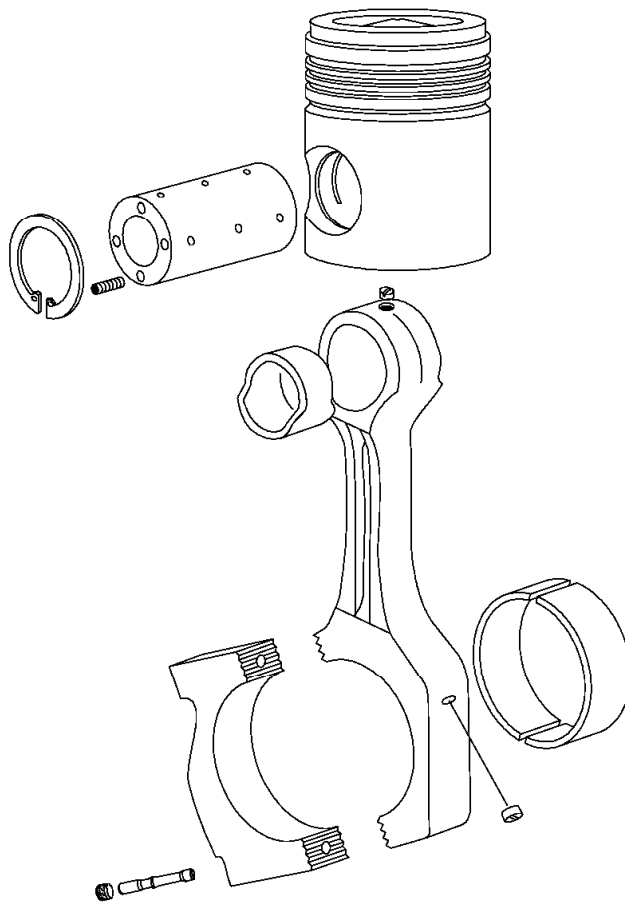


Рисунок 1.8 – Поршень, шатун і поршневий палець

Поршневий палець плаваючого типу втримується в осьовому напрямку двома стопорними кільцями.

Шатун кутий, його мотильова головка з косим розніманням. Шатун і поршень демонтуються із втулкою циліндра, таким чином забезпечується великий діаметр підшипника й низький питомий тиск на нього (рис. 1.8). Шатун має канали подачі масла з мотильової головки до верхньої.

Мотильовий підшипник біметалічного типу, покритий пріпрацьовочним шаром. Підшипник верхньої головки – біметалічного типу запресований у шатун. Втулка має внутрішню кругову канавку, а також кишеню для розподілу масла по самій втулці й для підведення масла до втулок пальця.

Кришка циліндра. Кришка циліндра є сталевим виливком. Вона має

товстостінне днище з каналами охолодження (рис. 1.9).

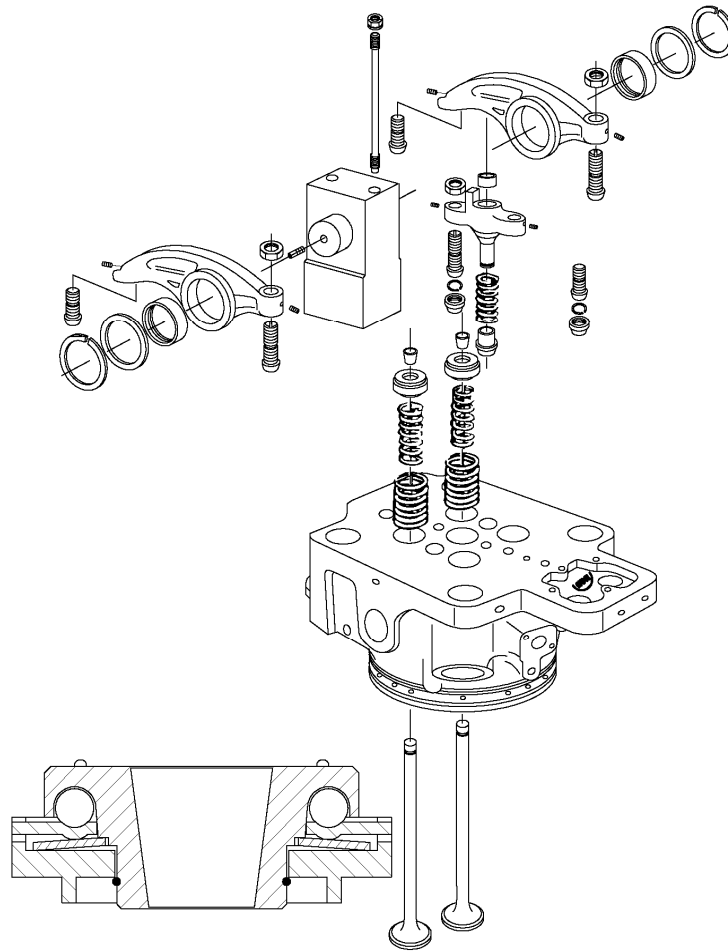


Рисунок 1.9 – Кришка циліндра

Уздовж осі циліндра в кришці є отвір для форсунки, а по периферії – отвори для чотирьох клапанів з перехресним потоком, що забезпечує високий коефіцієнт наповнення циліндра. Інтенсивне водяне охолодження в області кінчика сопла дозволило відмовитися від безпосереднього охолодження форсунки. Канали підведення наддувочного повітря повернуті на 20° до осі клапана, що забезпечує закручування повітря на вході.

Кришка циліндра кріпиться за допомогою чотирьох гайок і чотирьох шпильок, укручених у блок-картер двигуна. Гайки затягуються за допомогою гідродомкратів. Зверху на кришці циліндра закріплена кришка (кожух). Вона має дві основні функції: забезпечення герметичності клапанної коробки й зменшення випромінювання шуму. Напрямні клапанів є ідентичними й тому взаємозамінними.

Втулка циліндра. Втулка циліндра відлита зі спеціального чавуну й

установлена в розточенні блок-кртера двигуна. Вона притиснута кришкою циліндра й лежить своїм фланцем на водяній сорочці (рис. 1.10).

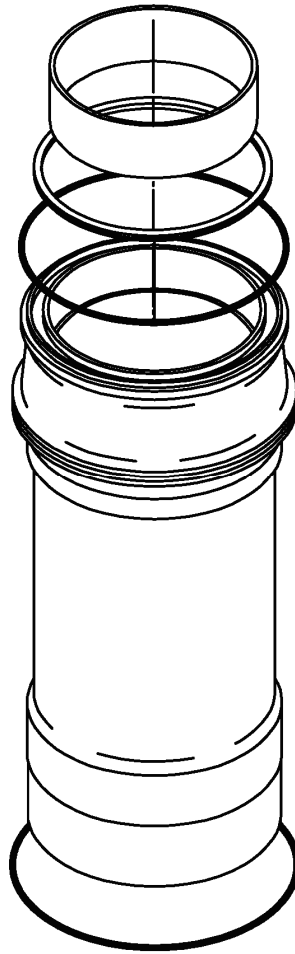


Рисунок 1.10 – Втулка циліндра

Висота фланця є однаковою з областю охолоджуваною води, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл температури по всій поверхні втулки. Нижня частина втулки неохолоджувана для забезпечення достатнього запасу від холодної корозії. В області картера відсутня охолодна вода. Втулка має можливість вільного подовження при нагріванні під час роботи двигуна. Ущільнення між втулкою й кришкою складається зі сталевого кільця.

Водяна (охолодна) сорочка. Основне призначення полягає в тому, що вона поєднує в собі водяну сорочку та фланець кріплення. Вона прикріплюється до кришки циліндра п'ятьма болтами. Це забезпечує вільний доступ зверху, і дозволяє робити демонтаж кришки циліндра разом з водяною сорочкою.

Розподільний вал і його привод. Впускний і випускний клапани, а також

паливні насоси двигуна приводяться розподільним валом (рис. 1.11).

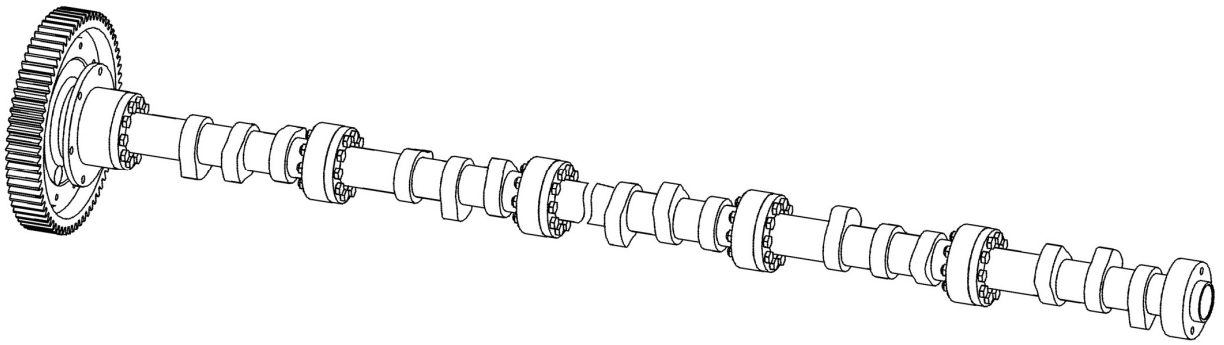


Рисунок 1.11 – Вал приводу клапанів газорозподілу та ПНВТ

Розподільний вал розміщений в блок-кртері двигуна на стороні впуску, у самому верхньому положенні, що забезпечує жорсткість приводу клапанів й зменшення рухомі мас. Вал складається із секцій на окремий циліндр і секцій підшипників, що дозволяє робити розбирання однієї секції циліндра через бічні люки картера. Вал й регулятор приводяться зубчастою передачею, що розміщена в районі маховика двигуна. Він обертаються із частотою обертання у два рази меншої, ніж колінчатий вал.

Розподільний вал розміщено у втулках підшипника, які встановлені в розточеннях блок картеру. Кожен підшипник є замінним і стопориться в положенні в блок-кртері двигуна за допомогою стопорного болта.

Приводний механізм клапанів. Коромисла приводяться через ролики, штовхачі й штанги (рис. 1.12). Штовхачі впускного й випускного клапанів установлені у в окремому корпусі. Для демонтажу знімається бічна кришка на камері штанги.

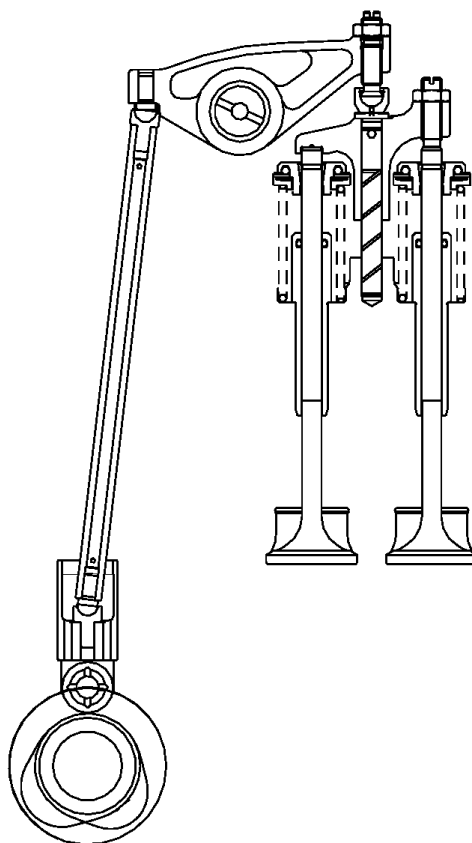


Рисунок 1.12 – Приводний механізм клапанів

Кожне коромисло впливає на шпинделі двох клапанів через траверсу упорними гвинтами й гвинтами для регулювання зазору клапана. Приводний механізм клапана змащується маслом під тиском від циркуляційної масляної системи двигуна й через свердління у водяній сорочці. Масло надходить у вал коромисла й до його підшипника.

Штовхачі. Паливні насоси високого тиску й коромисла впускних і випускних клапанів приводяться від кулачків розподільного вала через штовхачі. Штовхачі випускного й впускного клапанів розташовуються в отворах у водяній сорочці кожного циліндра. Ролик обертається на осі на втулці запресованій у штовхач, що і застопорена стопорним гвинтом.

Впускні й випускні клапани. Стрижні клапанів виготовлені з жароміцного матеріалу, а посадкові поверхні тарілок клапанів наплавлені електродом із твердого сплаву. Всі шпинделі клапанів обладнані ротокапами для їхнього обертання під час роботи. Обертання шпинделів забезпечує рівномірний розподіл температури на тарілках клапанів і запобігає

відкладенням нагару на їхніх посадкових поверхнях.

Кришка циліндра обладнана змінними сідлами. Сідла випускного клапана охолоджуються водою для зниження температури клапана. Вони виготовлені з жароміцної сталі. Посадкові поверхні загартовані для зниження зношування й запобігання викрашування.

Приводний механізм паливних насосів високого тиску (ПНВТ). Насоси високого тиску, які змонтовані безпосередньо на блок-кртері двигуна, приводяться в дію через упори штовхача. Штовхач убудований у ПНВТ у вигляді одного вузла. Ролик притискається до кулачка пружиною, що встановлена між штовхачем й опорною плитою ПНВТ.

Паливна система. Внутрішня паливна система складається із вхідних паливопроводів, паливних насосів високого тиску, трубок високого тиску, а також труб повернення палива. Протічки відпрацьованого масла й палива направляються в коробку із сигналізатором витоків.

Система упорскування палива. Двигун має один ПНВТ, форсунку й трубку високого тиску на кожен циліндр. Паливний насос установлюється на блок-кртері двигуна. ПНВТ складається з корпусу насоса, що включає в себе штовхач, центрально розташовану плунжерну пару (втулку й плунжер). Насос приводиться в дію паливним кулачком. Кількість палива, що поступає до форсунки, регулюється поворотом плунжера (рис.1.13).

Паливна форсунка. Паливна форсунка штангового типу, розташована у втулці в центральному отворі кришки циліндра. Відкриття форсунки регулюється тиском палива, а закривається вона під дією пружини (рис. 1.13). Трубка високого тиску, проведена через свердління в кришці циліндра, закрита захисною трубкою.

Захисна трубка використовується також як зливний канал для видалення всіх витоків від форсунки й трубки високого тиску. Паливні апаратури, включаючи паливні насоси і трубки високого тиску, ретельно закрити знімними кришками.

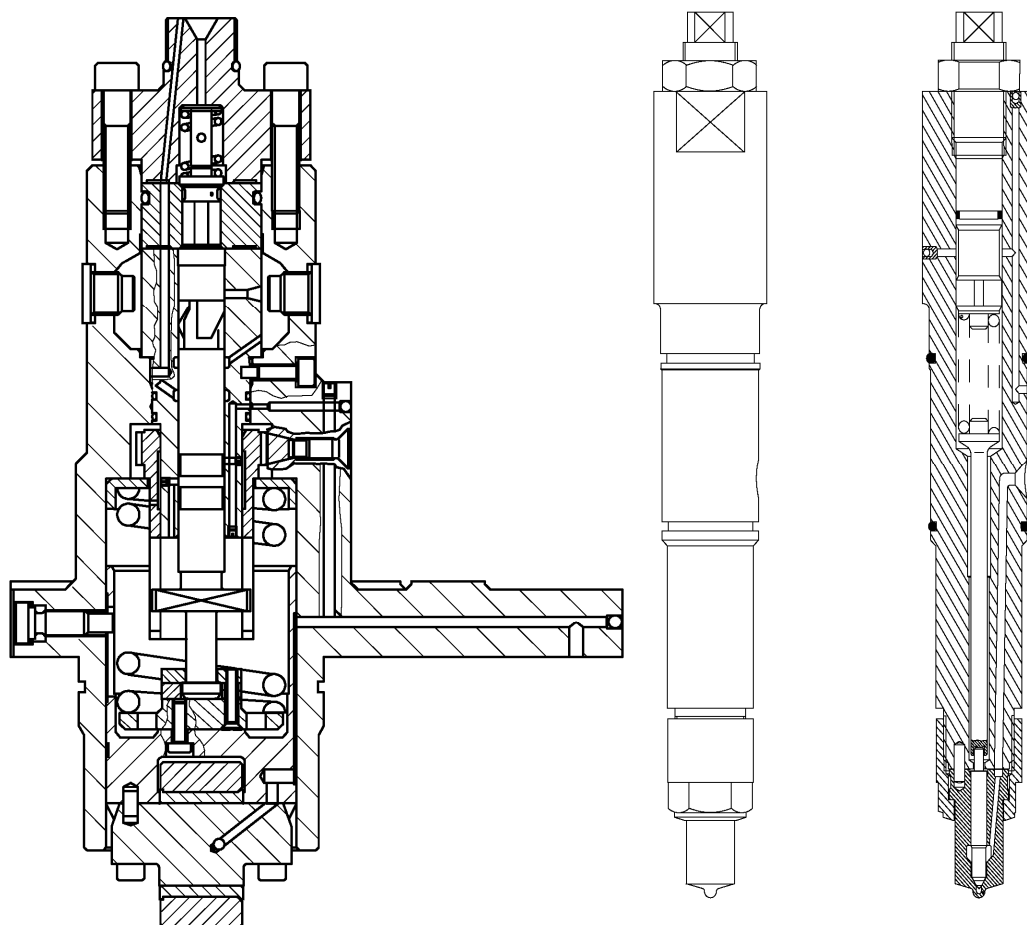


Рисунок 1.13 – ПНВТ двигуна та форсунка

Паливний фільтр на вході. Паливний фільтр має тонкість фільтрації 5,0 мк і розташований на входному трубопроводі. Він становить одне ціле зі зливною коробкою й сигналізатором витоку палива. Фільтр служить для видалення забруднень у паливній трубі між захисним фільтром і двигуном у період приробляння (обкатування).

Регулятор. Частота обертання двигуна регулюється гідравлічним або електронним регулятором з гідравлічними приводами. Регулятор розташований на стороні маховика двигуна й приводиться від розподільного вала через циліндричне прямозубе колесо й комплект конічних шестірень.

Регулювальний вал. Рухи регулятора передаються через підпружинена тягу до регулювального валу ПНВТ, що розташований уздовж дизеля.

Підпружинена тяга дозволяє регулятору давати повне переміщення, навіть якщо стоп-циліндр системи керування втримує регулювальний вал ПНВТ у нульовому положенні. Кожен ПНВТ приєднаний до загального регулювального

вала за допомогою підпружиненого важеля (повідця).

У випадку зависання плунжера у втулці ПНВТ (заблокована напрямна регулювання) надійне регулювання інших ПНВТ може тривати завдяки підпружинній тязі між заблокованим ПНВТ і регулювальним валом.

Система турбонаддуву. Система турбонаддуву двигуна є системою постійного тиску й складається з колектора випускних газів, турбонагнітача, охолоджувача наддувочного повітря, ресивера наддувочного повітря й вологоулавлювача (рис. 1.14).

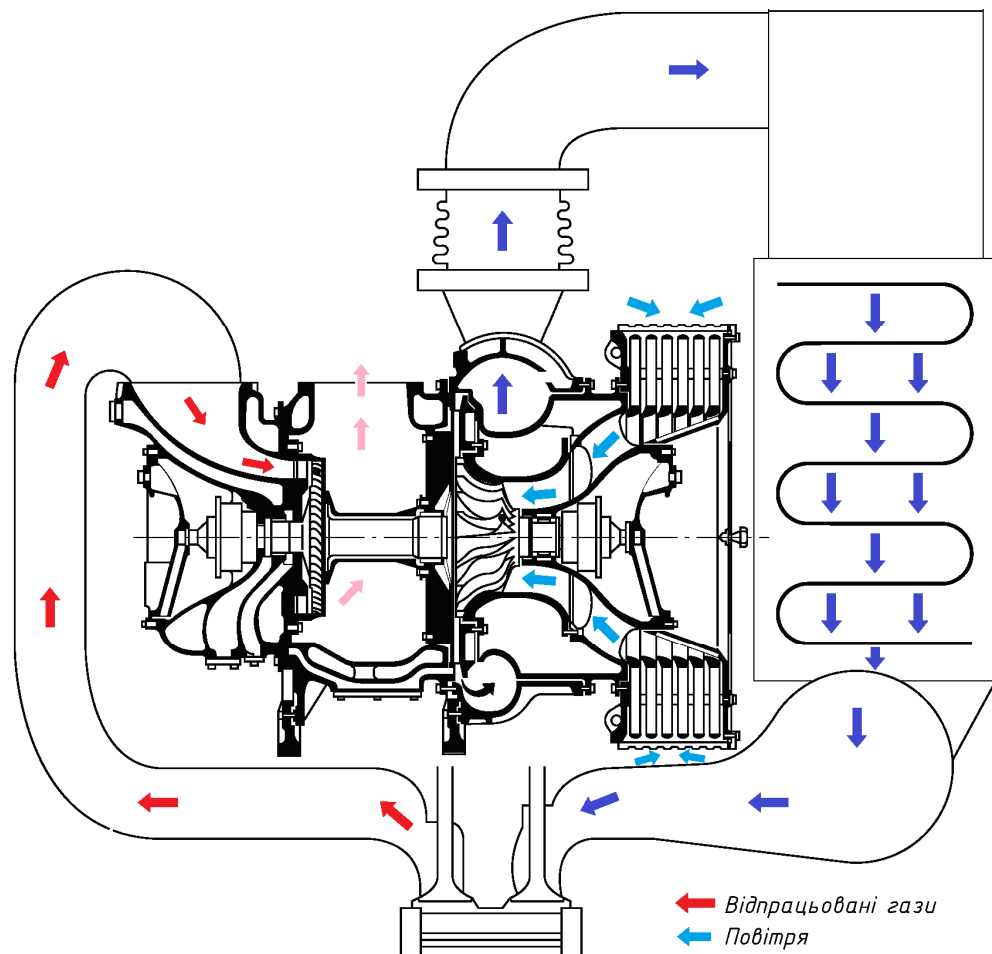


Рисунок 1.14 – Схема системи наддуву

Колесо турбіни приводиться випускними газами двигуна. Від турбіни приводиться компресор, встановлений на тому же валу. Компресор всмоктує повітря з машинного відділення через повітряні фільтри.

Турбонагнітач подає повітря через охолоджувач наддувочного повітря в ресивер. З ресивера повітря надходить у кожен циліндр через впускні клапани. Охолоджувач наддувочного повітря є компактним двоступінчастим

охолоджувачем трубчастого типу з великою поверхнею охолодження. Вода високої температури проходить через перший щабель охолоджувача, а вода низької температури проходить через другий щабель. У кожному щаблі охолоджувача наддувочного повітря вода проходить через охолоджувач двічі, оскільки кінцеві кришки спроектовані з перегородками, які змушують охолодну воду повертатися. Подача води для охолоджувача наддувочного повітря регулюється залежно від тиску наддувочного повітря, щоб забезпечити прийнятну температуру для згоряння важкого палива.

Колектор випускних газів виготовлений із секцій труб, по одній на кожен циліндр, з'єднаних один з одним за допомогою компенсаторів для запобігання надлишкових напруг у трубах через теплові розширення.

Щоб уникнути надмірних теплових втрат і для забезпечення прийнятної низької температури поверхні колектор випускних газів ізолюються.

Турбонагнітач. Турбонагнітач із одноступінчастою радіальною турбіною й одноступінчастим радіальним компресором.

Система циркуляції. Масляний насос всмоктує масло з маслозбірника й подає його через охолоджувач і фільтр у головний канал мастила, звідки масло розподіляється до різних точок змащення. Від точок змащення масло стікає в маслозбірник. Тиск масла регулюється запобіжним пружинним клапаном, убудованим у систему.

Охолоджувач масла. Охолоджувач масла є охолоджувачем пластинчастого типу, він установлений на коробці з переднього кінця.

Фільтр масла. Масляний фільтр є повнопотічним фільтром зі здвоєним паперовим патроном з тонкістю очищення 10...15 мікронів, а запобіжний фільтр із тонкістю очищення 60 мікронів.

Система охолоджувальної води. Система охолоджувальної води складається з низько- і високотемпературних контурів. Обидва низько- і високотемпературні контури проохолоджуються прісною водою.

Термостатичні клапани. Термостатичні клапани є повністю автоматичними триходовими клапанами з установкою термостатичних

елементів при фіксованих температурах.

Система стислого повітря. Система стислого повітря двигуна складається із систем пуску, керування пуском і захисту. Крім того система подає повітря в систему підкрутки турбонагнітача.

Система пуску. Двигун запускається за допомогою убудованого повітряного стартера, що складається з турбіни з редукторною передачею, запобіжної муфти й вала привода із шестірнею.

Пружний монтаж дизель-генератора. При пружному монтажі дизель і генератор дизель-генератора розміщаються на загальній жорсткій фундаментній рамі, встановленій на судновому фундаменті за допомогою амортизаторів конічного типу (рис. 1.15).

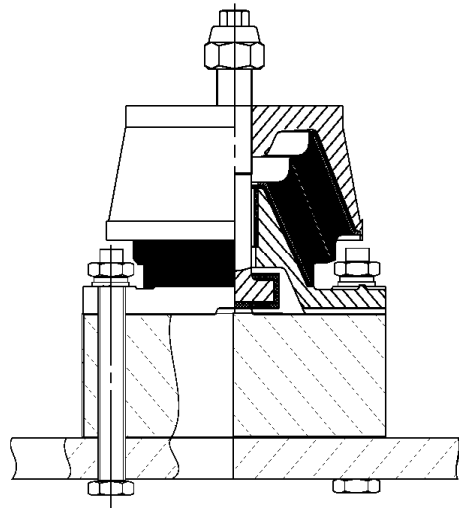


Рисунок 1.15 – Амортизатор дизель-генератору

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТУРБОКОМПРЕСОРУ ТА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ ДВИГУНА НА РЕЖИМАХ ЧАСТКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Аналіз конструкції турбокомпресора NR20/R

Турбонагнітач (ТН) із одноступінчастою радіальною турбіною й одноступінчастим радіальним компресором. Ротор опирається на два плаваючі підшипники ковзання, розташованих усередині корпусу.

Колесо турбіни, що становить єдине ціле з валом, і колесо компресора встановлені на одному валу. Компресор з одним вихідним патрубком. Глушник або кожух встановлено на вході повітря. Система змащення підшипників турбонагнітача, об'єднана з масляною системою двигуна. Турбонагнітач не охолоджується водою.

Система турбонаддуву двигуна є системою постійного тиску й складається з колектора випускних газів, турбонагнітача, охолоджувача наддувочного повітря, ресивера наддувочного повітря й вологоуловлювача.

Колесо турбіни ТН приводиться випускними газами двигуна, а колесо турбіни приводить компресор ТН, установлений на тому же валу. Компресор всмоктує повітря з машинного відділення через повітряні фільтри.

Турбонагнітач подає повітря через охолоджувач в ресивер наддувочного повітря звідки воно надходить у кожен циліндр через впускні клапани.

Від випускних клапанів відпрацьовані гази проходять через колектор де пульсація тиску від окремих циліндрів вирівнюється, і направляються до ТН при постійному тиску, а далі на випуск і до глушника.

Основні данні ТН NR20/R фірми MAN наведено у табл. 2.1, загальний вигляд на рис. 2.1

Таблиця 2.1 – Основні параметри турбокомпресора

Параметр	Значення
Максимально припустима частота обертання, хв^{-1} .	60000
Максимальна температура випускних газів перед турбіною, $^{\circ}\text{C}$	500
Діапазон шкали вказівника тахометра, хв^{-1}	0...70000
Тиск мастила, при використанні SAE 30 при 60°C або SAE 40 при 65°C , заміряне безпосередньо перед приєднанням на корпусі підшипника, МПа	0,15+/-0,02
Витрата мастила (SAE 30 при 60°C або SAE40 при 65°C), л/год.	1000
Розмір часток домішок після фільтрації мастила, менше ніж, мм	0,05
Припустима температура масла при повному навантаженні двигуна на вході, $^{\circ}\text{C}$	75
Припустима температура масла при повному навантаженні двигуна на виході, $^{\circ}\text{C}$	105
З'єднання трубопроводів, мм	
Випускний газ	
Вхід у газовпускний кожух	115
Вихід з кожуха турбіни	300×160
Наддувочне повітря	
Вхід у кожух прийому повітря, при наявності	360×125
Вихід з кожуха компресора	105
Масло	
Вхід у корпус підшипника, сполучний фланець труби	15×1,5
Вихід з корпусу підшипника, фланець сполучної труби	30×2
Додаткове змащення (при наявності) у корпусі підшипника	6×1
Система підкрутки (при наявності)	
Горизонтальне фланцеве з'єднання до кожуха компресора	25×2

Маса основних компонентів турбокомпресора

Маса основних складових елементів турбокомпресора приводиться в табл. 2.2.

На дані показники маси необхідно орієнтуватися при виборі піднімально-транспортних механізмів при виконанні профілактичних та ремонтних робіт в машинному відділені.

Таблиця 2.2 – Маса основних компонентів системи наддування, кг

Елемент системи наддування	Маса
Газотурбонагнітач, у зборі із глушником.	190
Газотурбонагнітач, у зборі з кожухом прийому повітря	180
Газовпускний кожух, у зборі.	35
Газовипускний кожух, у зборі.	43
Сопловий вінець турбіни, у зборі	3
Корпус підшипника, у зборі	40
Ротор, у зборі (ротор турбіни 4 кг колесо компресора 3 кг).	7
Дифузор	2
Глушник, у зборі (при наявності).	23
Кожух прийому повітря (при наявності)	13
Кожух компресора, у зборі	36
Замінний картридж, у зборі	47

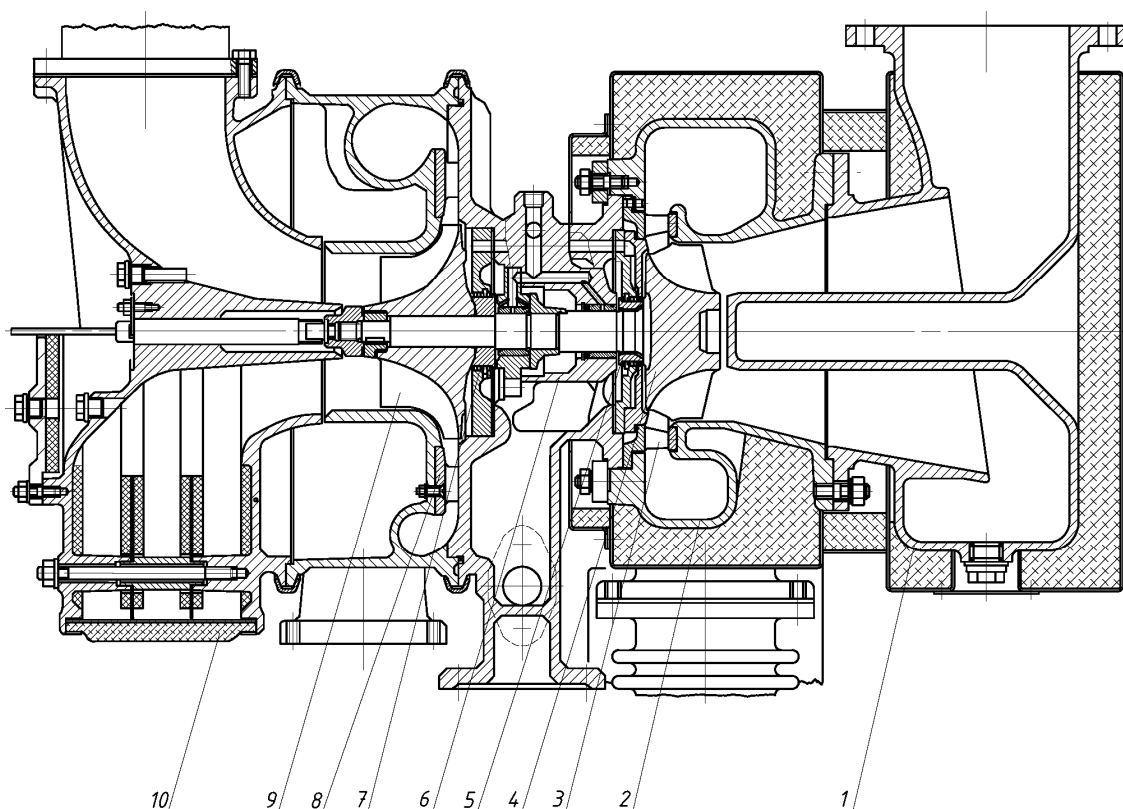


Рисунок 2.1 – Турбокомпресор NR20/R. 1 – газоприйомний патрубок; 2 – вулітка; 3 – колесо радіальної турбіни; 4 – направляючий апарат турбіни; 5 – ущільнення зі сторони турбіни; 6 – підшипниковий вузол; 7 – ущільнення зі сторони компресора; 8 – колесо радіального компресора; 9 – дифузор компресора; 10 – повітряний фільтр

2.2 Аналіз шляхів вдосконалення соплових апаратів турбонагнітачів

Сопловий апарат турбіни відіграє важливу роль у формуванні характеристик, як турбіни, так і в цілому всього турбокомпресорного агрегату. У сопловому апараті відбувається початкове збільшення швидкості газового потоку і формується кут його входу на лопатки турбінного колеса. Відхилення від цього кута значно збільшує втрати енергії від удару газового потоку по лопаткам турбіни, як внаслідок ефективність турбіни різко падає.

На турбінах агрегатів наддуву сучасних СДВЗ застосовують соплові апарати, як з нерухомими, так і рухливими лопатками.

Нерухомі соплові решітки простіше по конструкції, проте, високу ефективність турбіни вони забезпечують тільки в досить вузькому діапазоні режимів роботи. Конструктивно, нерухомий сопловий апарат зазвичай складається із внутрішнього і зовнішнього кілець, між якими встановлено лопатки (рис. 2.2). Лопатки, виготовлені зі сталей аустенітного класу. Вони можуть кріпитися до кілець за допомогою шипів або монтується в спеціальних формах і заливається чавуном, утворюючи внутрішнє і зовнішнє кільця.



Рисунок 2.2 – сопловий апарат осьової турбіни турбонагнітача з нерухомою лопатковою решіткою: 1 – зовнішнє кільця; 2 – внутрішнє кільце; 3 – лопатки

По колу кільця виконуються компенсаційні надрізи, які йдуть від центру внутрішнього кільця до лопаток. Для узгодження режимів сумісної роботи

турбокомпресора та двигуна більшість виробників випускає для кожного агрегату кілька різних соплових апаратів, які відрізняються кутами встановлення лопаток і площами прохідного перетину.

Щоб узгодити характеристики турбокомпресора з характеристиками двигуна в широкому діапазоні режимів роботи, застосовують соплові апарати із змінною геометрією. Зміна геометрії може здійснюватися як ступеневе, так і плавно шляхом розвороту лопаток.

Турбокомпресори з радіально-осьовими турбінами, як у прототипу, обладнуються регульованими сопловими апаратами з поворотними лопатками, які дозволяють змінювати швидкість і кут виходу потоку з лопаточної решітки. Це дає можливість регулювати режим роботи турбокомпресора в залежності від кількості газів, що надходять від двигуна. Здійснити таке регулювання в радіально-осьовій турбіні, досить не складно, так як соплові лопатки розташовані між двома нерухомими поверхнями, перпендикулярними осі обертання лопаток, тому відстані між нерухомими поверхнями і лопатками при зберіганні постійними (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Регульований сопловий апарат радіально-осьової турбіни

Лопатковий апарат дифузору компресорів радіально-осьового типу також виконується як нерухомим, так і із змінною геометрією каналів. Конструктивно нерухомі апарати дифузорів виконуються у вигляді кільця з розташованими на їх поверхні лопатками. Кільця розташовуються в проточці корпусу, а лопатки притискаються вільним кінцем до поверхні повітряних кожухів утворюючи

проточні канали дифузора.

Конструктивно дифузори радіально-осьових компресорів зі змінною геометрією не відрізняються від соплових апаратів радіально-осьових турбін. Наявність такого пристрою дає змогу оптимізувати кут входження газів на лопатки робочого колеса, знижуючи вірогідність виникнення «помпажу». Це явище пов'язано з виникненням у каналах компресора хвиль тиску, що виникають із за різниць тисків на різних сторонах лопаток. При цьому спостерігаються зриви потоків в окремих каналах компресорного колеса. Робота компресору супроводжується гучним шумом через коливання тиску на всмоктуванні. Як наслідок виникає вібрація ротора, яка може призвести до пошкоджень лопаток і підшипників.

Виходячи з наведеного вище аналізу можна запропонувати модернізацію турбокомпресорів типу NR20/R шляхом установки на них направляючого апарату зі східчастим регулюванням. Подібні пристрої фірма MAN випускає серійно для турбокомпресорів більш пізнього випуску. Всі елементи які підлягають заміні повністю уніфіковані з елементами конструкції базового турбокомпресора. Приклад модернізованої радіальної турбіни із ступінчастою зміною перетину соплового апарату показаний на рис. 2.4. При роботі на малих навантаженнях використовується сопловий апарат з малим прохідним перетином, а при переході на повні навантаження – апарат з більшим прохідними перерізами та меншими кутами входу. Обидва комплекти лопаток розміщуються в корпусі турбіни і переміщаються пневматичним поршнем в залежності від навантаження двигуна.

Оптимізація направляючого апарату дозволить покращити роботу турбокомпресорів на режимах часткових навантажень. Такі режими є характерними для двигунів дизель-генераторних установок морських суден.

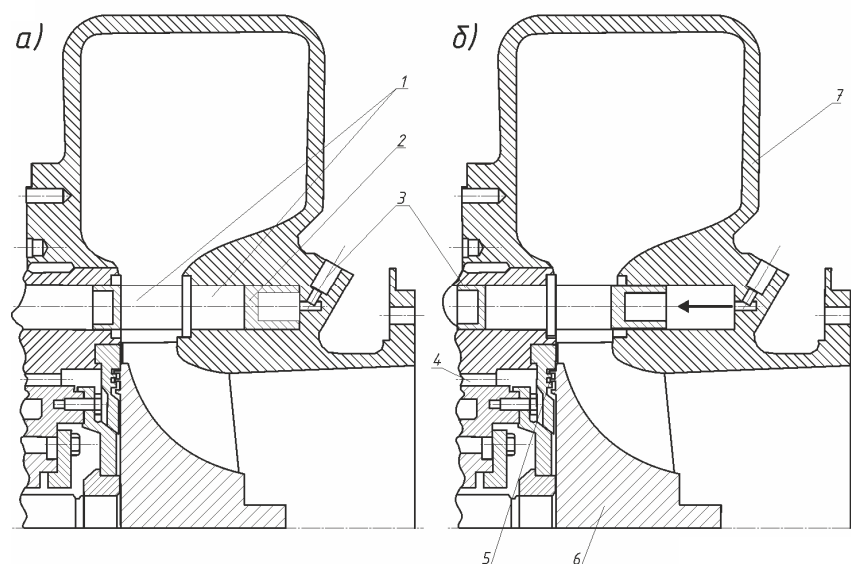


Рисунок 2.4 – Ступінчата зміна геометрії соплового апарату турбокомпресора: *а* – часткові навантаження; *б* – близький до повної потужності навантаження: 1 – лопатки з різним прохідним перерізом; 2 – пневматичний перемикач; 3 – підведення повітря на перемикання; 4 – підведення повітря на ущільнення; 5 – лабіринтове ущільнення; 6 – колесо компресора; 7 – повітряна камера

2.3 Розрахунок робочого процесу двигуна з модернізованим турбокомпресором

За даними фірми MAN, використання змінного направляючого апарату дозволить поліпшити постачання двигуна повітрям, збільшивши на 5...7% коефіцієнт надлишку повітря та тиск наддуву, що, безумовно, підвищить паливну економічність двигуна та покращить екологічні показники.

Для перевірки цього припущення зробимо тепловий розрахунок робочого процесу двигуна на режимі навантаження, що складає 75% від номіналу. Для порівняння проведемо розрахунок робочого процесу з базовим та модернізованим турбокомпресором.

Для розрахунку приймемо дані взяті з технічної документації на двигун. З метою скорочення обсягів розрахунків далі наводиться розрахунок тільки модернізованого двигуна. Початкові данні наведено у табл. 2.3

Відповідно до аналізу технічної документації двигуна [2,3], визначимо основні вхідні данні для виконання теплового розрахунку (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Вхідні данні для теплового розрахунку

Параметр	Значення
Діаметр циліндра D , м	0,225
Хід поршня S , м	0,300
Кількість циліндрів i	6
Ефективна потужність двигуна N_e , кВт	720
Частота обертання n , хв. ⁻¹	900,0
Кут закриття впускних клапанів $\varphi_{зк}$, град.	12,0
Геометричний ступінь стискання ε	13,5
Довжина шатуна l , м	0,550

Визначимо долю втраченого ходу на лінії стискання:

$$\psi_a = h_a / S$$

$$h_a = R \left[(1 - \cos \varphi_{зк}) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi_{зк}) \right]$$

де R – радіус кривошипу $R = S / 2 = 0,300 / 2 = 0,150$ м.

λ – постійна КШМ, $\lambda = R / l = 0,150 / 0,550 = 0,273$

$$h_a = 0,150 \times \left[(1 - \cos 12^\circ) + \frac{0,273}{4} \times (1 - \cos 2 \times 12^\circ) \right] = 0,004$$

$$\psi_a = 0,004 / 0,300 = 0,014$$

Дійсна ступінь стискання:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon (1 - \psi_a) + \psi_a = 13,50 \times (1 - 0,014) + 0,014 = 13,33$$

Визначимо склад палива (табл. 2.4)

Таблиця 2.4 – Основні приведені характеристики палива

Елементарний склад палива:	Парам.
- вуглець, С	0,88
- водень, Н	0,111
- кисень, О	0,004
- сірка, S	0,005
Середня молекулярна маса, кг/кмоль	200
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	42500
Коефіцієнт надлишку повітря	1,95

Теоретично необхідна кількість повітря:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,88}{12} + \frac{0,11}{4} + \frac{0,01}{32} + \frac{0,004}{32} \right) =$$

$$= 0,486 \text{ кмоль}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \times 0,880 + 8 \times 0,111 + 0,005 - 0,004 \right) =$$

$$= 14,10 \text{ кг/кг}$$

Кількість свіжого заряду:

$$M_1 = \alpha L_0 = 1,95 \times 0,486 = 0,948 \text{ кмоль.}$$

Кількість продуктів згоряння

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,880}{12} = 0,073 \text{ кмоль,}$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,111}{2} = 0,056 \text{ кмоль,}$$

$$M_{S_2} = \frac{S}{32} = \frac{0,005}{32} = 0,000156 \text{ кмоль},$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_o = 0,210(2,0 - 1) \times 0,486 = 0,097 \text{ кмоль},$$

$$M_{N_2} = 0,79 \alpha L_o = 0,790 \times 2,0 \times 0,486 = 0,749 \text{ кмоль},$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M = 0,073 + 0,056 + 0,000156 + 0,0970 + 0,7489 = 0,9749 \text{ кмоль}.$$

Значення тиску повітря на виході з компресора p_k :

$$p_k = (2,5 \dots 3,8)p_0 = 1,8 \times 0,103 = 0,185 \text{ МПа},$$

де p_0 – тиск навколишнього середовища ($p_0 = 0,103$ МПа).

Температура повітря на виході з компресора:

$$T'_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}} = 288,0 \left(\frac{0,185}{0,103} \right)^{\frac{2,00 - 1}{2,00}} = 386,4 \text{ К},$$

де T_0 – температура навколишнього середовища ($T_0 = 288,0$ К);

n_k – показник політропи стискування повітря у турбокомпресорі, $n_k = 2,0$.

Температура у впускному ресивері після компресора:

$$T_k = T'_k - \sigma_{ox}(T'_k - T'_a) = 386,4 - 0,950 \times (386,4 - 288) = 292,9 \text{ К}.$$

де T'_a – температура забортної води ($T'_a = 288,0$ К);

σ_{ox} – ступінь охолодження повітря в повітроохолоджувачі ($\sigma_{ox} = 0,950$).

Тиск залишкових газів для двигунів з високим наддуванням приймають:

$$p_r = (0,75 \dots 0,98)p_k = 0,980 \times 0,185 = 0,182 \text{ МПа};$$

Щільність заряду в циліндрі:

$$\rho_k = \frac{p_k \times 10^6}{R_g T_k} = \frac{0,185 \times 10^6}{287,0 \times 292,9} = 2,205 \text{ кг/м}^3;$$

де $R_g = 287$ кДж/(кг×К) газова постійна повітря.

Втрати тиску за рахунок опору впускної системи:

$$\Delta p_a = c \frac{\omega_{вп}^2}{2} \rho_{\kappa} \times 10^{-6} = 4,0 \frac{50,0^2}{2} 2,205 \times 10^{-6} = 0,011 \text{ МПа},$$

де $R_g = 287$ кДж/(кг×К) газова постійна повітря;

c – коефіцієнт опору впускної системи ($c = 4,0$);

$\omega_{вп}$ – середня швидкість повітря в прохідних перетинах впускних органів ($\omega_{вп} = 50,00$ м/с).

Тиск у робочому циліндрі на початку стиснення:

$$p_a = p_{\kappa} - \Delta p_a = 0,185 - 0,011 = 0,174 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт залишкових газів:

$$\gamma_r = \frac{(T_{\kappa} + \Delta T) \times p_r}{T_r \times (\epsilon_0 p_a - p_r)} = \frac{(292,9 + 10) \times 0,182}{750,0 \times (13,33 \times 0,174 - 0,182)} = 0,034 \text{ МПа}.$$

де ΔT – ступінь зміни температури заряду у впускному тракті ($\Delta T = 10$ К);

T_r – температура залишкових газів ($T_r = 750,0$ К).

Температура наприкінці процесу впуску:

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{292,9 + 10 + 0,034 \times 750,0}{1,0 + 0,034} = 317,5 \text{ К}.$$

Коефіцієнт наповнення циліндру:

$$\eta_v = \frac{T_{\kappa}}{(T_{\kappa} + \Delta T) \times (\epsilon_0 - 1)} \left(\frac{\epsilon_0 p_a}{p_{\kappa}} - \frac{p_r}{p_{\kappa}} \right) =$$
$$= \frac{292,9}{(292,9 + 10) \times (13,33 - 1)} \left(\frac{13,33 \times 0,174}{0,185} - \frac{0,182}{0,185} \right) = 0,906$$

Тиск наприкінці процесу стиску:

$$p_c = p_a \times \epsilon^{n_l} = 0,174 \times 13,33^{1,390} = 6,50 \text{ МПа},$$

де n_1 – показник політропи стиску ($n_1 = 1,390$).

Температура наприкінці процесу стиску:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 317,5 \times 13,33^{1,390-1} = 876,22 \text{ К.}$$

Коефіцієнт молекулярної зміни заряду під час згоряння:

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma M_1}{M_1 + \gamma M_2} = \frac{0,975 + 0,034 \times 0,948}{0,948 + 0,034 \times 0,975} = 1,026$$

Рівняння згоряння для дизелів має вигляд:

$$\frac{\xi_z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + (\mu c'_v + 8,314\lambda) t_c = \mu(c''_v + 8,314) t_z$$

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння в діапазоні температур 1000...2800 °С:

$$c''_v = 27,0211 + 0,002039 t_z - 2,234\alpha$$

Підставивши у рівняння згоряння отримаємо:

$$\begin{aligned} & \frac{0,860 \times 42500}{0,95 (1 + 0,034)} + (1,026 \times 22,15 + 8,314 \times 1,850) \times 603,1 = \\ & = 1,022 \times ((27,02110 + 0,002039 \times t_z - 2,234 \times 1,950) + 8,314) t_z \end{aligned}$$

Після перетворення отримаємо квадратне рівняння виду:

$$A + B t_z - C = 0:$$

$$0,002084 t_z^2 + 31,66756 t_z - 60030,15 = 0,$$

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A},$$

$$t_z = \frac{-31,66756 + \sqrt{31,66756^2 + 4 \times 0,002084 \times 60030,15}}{2 \times 0,002084} = 1696,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$T_z = t_z + 273,15 = 1696,8 + 273,15 = 1969,9 \text{ K}.$$

Тиск наприкінці згоряння:

$$p_z = p_c \lambda = 6,50 \times 1,850 = 12,02 \text{ МПа},$$

де λ – ступінь підвищення тиску ($\lambda = 1,850$).

Ступінь попереднього розширення:

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,022}{1,850} \times \frac{1969,9}{876,2} = 1,24.$$

Ступінь наступного розширення:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13,50}{1,24} = 10,87.$$

Тиск наприкінці розширення:

$$p_e = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{12,02}{10,87^{1,210}} = 0,670 \text{ МПа}.$$

Температура наприкінці розширення:

$$T_e = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1969,91}{10,87^{1,210-1}} = 1193,6 \text{ K}.$$

де n_2 – показник політропи розширення ($n_2 = 1,210$).

Уточнимо температуру залишкових газів:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{1193,6}{\sqrt[3]{\frac{0,670}{0,182}}} = 772,6 \text{ K}.$$

Визначимо погрішність прийнятого припущення:

$$\Delta = \frac{772,6 - 750,0}{(750 / 100)} = 3,01 \%$$

Теоретичний середній індикаторний тиск циклу:

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

$$= \frac{6,50}{13,50 - 1} \left[\frac{1,85 \times 1,242}{1,210 - 1} \left(1 - \frac{1}{10,87^{1,210 - 1}} \right) - \frac{1}{1,390 - 1} \left(1 - \frac{1}{13,50^{1,390 - 1}} \right) + \right.$$

$$\left. + 1,85 (1,242 - 1) \right] = 1,624 \text{ МПа.}$$

Дійсний середній індикаторний тиск циклу:

$$p_i = \varphi p'_i = 0,960 \times 1,624 = 1,560 \text{ МПа.}$$

де φ – коефіцієнт повноти індикаторної діаграми ($\varphi = 0,960$).

Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \frac{p_i l_0 \alpha}{\rho_k H_u \eta_v} = \frac{1,560 \times 14,05 \times 1,95}{2,205 \times 42500 \times 0,906} = 0,517$$

Питома індикаторна витрата рідкого палива:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} = \frac{3600}{42,500 \times 0,517} = 163,76 \text{ г/(кВт×год.)},$$

де H_u підставляємо в МДж/кг.

Середній тиск механічних втрат:

$$p_m = A_p + B_p V_{п.ср.} \text{ МПа,}$$

де $V_{\text{п.ср.}}$ – середня швидкість поршня:

$$V_{\text{п.ср.}} = Sn / 30 = (0,255 \times 900) / 30 = 7,650 \text{ м/с};$$

A_p, B_p – коефіцієнти. При попередніх розрахунках можна приймати наступні значення: $A_p = 0,105$; $B_p = 0,0120$.

$$p_m = 0,105 + 0,0120 \times 7,650 = 0,197 \text{ МПа.}$$

Середній ефективний тиск:

$$p_e = 1,560 - 0,197 = 1,363 \text{ МПа.}$$

Механічний ККД двигуна:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{1,363}{1,560} = 0,874$$

Ефективний ККД:

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,517 \times 0,874 = 0,452$$

Питома витрата палива:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{163,765}{0,874} = 187,42 \text{ г/(кВт×год.)}$$

Уточнемо основні параметри й показники двигуна:

- об'єм робочого циліндра двигуна

$$V_{\text{лц}} = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} = \frac{3,142 \times 255,0^2 \times 300}{4 \times 10^6} = 15,32 \text{ дм}^3;$$

- повний об'єм двигуна

$$V_{\text{л}} = V_{\text{лц}} i = 15,32 \times 6,0 = 91,9269 \text{ дм}^3;$$

- ефективна потужність одного циліндра

$$N_{e_{\text{ц}}} = \frac{p_e V_{\text{л}} n}{30 \tau} = \frac{1,347 \times 11,88 \times 900}{30 \times 4} = 120,000 \text{ кВт};$$

- повна потужність:

$$N_e = N_{e_{\text{ц}}} i = 120,000 \times 6,0 = 720,00 \text{ кВт};$$

- обертовий момент:

$$M_e = \frac{3 \times 10^4 \times N_e}{\pi n} = \frac{3 \times 10^4 \times 720,00}{3,142 \times 900} = 7669 \text{ Н} \times \text{м};$$

- годинна витрата палива

$$G_{\text{т}} = N_e \times g_e \times 10^{-3} = 720,00 \times 187,42 \times 10^3 = 137,0 \text{ кг/год.}$$

Побудова індикаторної діаграми.

- об'єм камери згоряння

$$V_c = \frac{V_{\text{л}_{\text{ц}}}}{\varepsilon - 1} = \frac{15,321}{13,50 - 1} = 0,951 \text{ дм}^3;$$

- повний об'єм циліндра

$$V_a = V_c + V_{\text{л}_{\text{ц}}} = 0,95 + 15,32 = 16,27 \text{ дм}^3$$

Проміжне значення тисків визначимо по формулах:

- на лінії стиску

$$p_{ci} = p_c \left(\frac{V_c}{V_i} \right)^{n_1}$$

- на лінії розширення

$$p_{ei} = p_z \left(\frac{V_z}{V_i} \right)^{n_2}$$

Представимо отримані значення з кроком розбивки всього об'єму на 40 ділянок (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Дані для побудови індикаторної діаграми

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ε	V_i	P_{ci}	P_{vi}
0,0	1,00	12,83	0,17	0,67
1,0	1,02	12,54	0,18	0,69
2,0	1,05	12,24	0,19	0,71
3,0	1,07	11,94	0,19	0,73
4,0	1,10	11,64	0,20	0,75
5,0	1,13	11,34	0,21	0,78
6,0	1,16	11,04	0,21	0,80
7,0	1,19	10,75	0,22	0,83
8,0	1,23	10,45	0,23	0,86
9,0	1,26	10,15	0,24	0,89
10,0	1,30	9,85	0,25	0,92
11,0	1,34	9,55	0,26	0,96
12,0	1,38	9,26	0,27	0,99
13,0	1,43	8,96	0,29	1,03
14,0	1,48	8,66	0,30	1,08
15,0	1,53	8,36	0,32	1,12
16,0	1,59	8,06	0,33	1,17
17,0	1,65	7,77	0,35	1,23
18,0	1,71	7,47	0,37	1,29
19,0	1,79	7,17	0,39	1,35
20,0	1,86	6,87	0,41	1,42
21,0	1,95	6,57	0,44	1,50
22,0	2,04	6,28	0,47	1,59
23,0	2,14	5,98	0,50	1,68
24,0	2,25	5,68	0,54	1,79

Продовження таблиці 2.5.

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ε	V_i	P_{ci}	P_{vi}
25,0	2,37	5,38	0,58	1,91
26,0	2,51	5,08	0,63	2,04
27,0	2,67	4,79	0,68	2,20
28,0	2,84	4,49	0,74	2,37
29,0	3,04	4,19	0,82	2,57
30,0	3,27	3,89	0,91	2,81
31,0	3,54	3,59	1,01	3,09
32,0	3,86	3,30	1,14	3,43
33,0	4,24	3,00	1,30	3,84
34,0	4,70	2,70	1,50	4,35
35,0	5,27	2,40	1,76	5,00
36,0	6,00	2,10	2,10	5,86
37,0	6,97	1,81	2,59	7,02
38,0	8,31	1,51	3,31	8,68
39,0	10,29	1,21	4,45	11,24
40,0	13,50	0,91	6,50	12,02

Отримана в такий спосіб розрахункова індикаторна діаграма робочого процесу представлена на рис. 2.5.

Розрахункову індикаторну діаграму скругляємо, так як в реальному двигуні за рахунок випередження впорскування палива робоча суміш запалюється до приходу поршня у ВМТ і підвищує тиск наприкінці процесу стиску. Відкриття випускного клапана до приходу поршня у ВМТ знижує тиск наприкінці розширення, а також має місце процес випуску й наповнення робочого циліндра. Положення точки c' залежить від кута початку впорскування палива у камеру згорання c'' , а положення точки c орієнтовно визначається по формулі:

$$p_c^* = (1,15 \dots 1,25)p_c = 1,283 \times 6,50 = 8,34 \text{ МПа.}$$

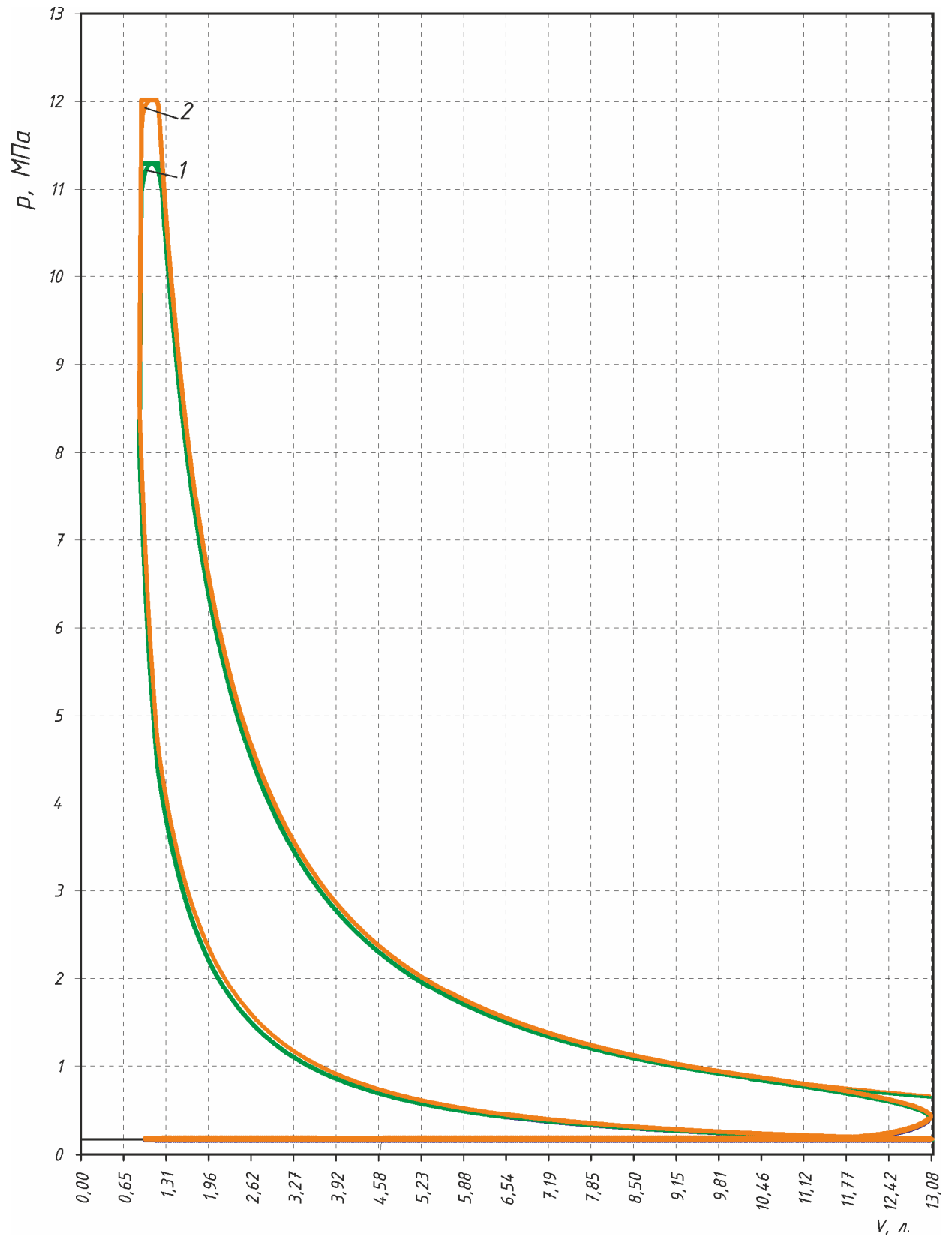


Рисунок 2.5 – Індикаторна діаграма робочого процесу в p - v -координатах.
1 – базовий ТК; 2– модернізований ТК;

Положення крапки z' залежить від ступеня попереднього розширення.
Положення крапки b визначає кут випередження випуску.

Таблиця 2.4 – Порівняння результатів розрахунку модернізованого і базового двигуна

Параметр	Од. виміру	Базовий	Новий
Ефективна потужність, N_e	кВт	720	720
Коефіцієнт надлишку повітря, α	—	1,83	1,95
Максимальний тиск згоряння, p_z	МПа	11,3	12,02
Максимальна температура циклу, t_z	°С	1741,6	1696,8
Температура залишкових газів, t_e	°С	786,30	772,60
Середній індикаторний тиск, p_i	МПа	1,529	1560
Середній ефективний тиск, p_e	МПа	1,333	1,363
Питома ефективна витрата палива, g_e	г/(кВт×год.)	192,00	187,42

2.4 Висновки за результатами теплового розрахунку

За результатами розрахунків робочого процесу можна зробити ряд висновків:

- при модернізації трохи не суттєво збільшився максимальний тиск циклу з 11,3 до 12,02 МПа, тобто на 6,3 %;

- максимальна температура циклу декілька зменшилась з 1741,6 °С, до 1696,8 °С, тобто на 2,6 %;

Найбільш істотним є те, що вдалося знизити на 2,44 %, витрати палива, з 192,00 до 187,42 г/(кВт×год.)

Всі перераховані факти вказують на зменшення теплової й механічної напруженості робочого процесу, що безумовно повинне позначитися на загальному ресурсі двигуна, та на його екологічних показниках.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРЕГАТІВ НАДДУВУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

3.1 Заходи що до модернізації турбокомпресора NR20/R

3.1.1 Вивід з експлуатації газотурбонагнітача

При необхідності механічного чищення або для проведення профілактичних робіт періодично, приблизно раз у 10...12 тис. годин виникає необхідність у розбиранні турбокомпресора. Модернізацію турбокомпресора доцільно поєднати з плановим ремонтом або обслуговуванням. Для цього двигун необхідно зупинити, послідовно знизивши навантаження до мінімуму, протягом однієї години. Після цього необхідно дочекатися поки двигун повністю охолоне. Підготовка турбокомпресора до демонтажу провадиться в послідовності наведеної нижче.

- 1) Віддайте всі з'єднання для виїмки картриджа (рис. 3.1).
- 2) Зніміть глушитель або кожух на прийомі повітря, кожух компресора й картриджам. Сопловий вінець турбіни 5 залишіть на місці.
- 3) Прикріпіть кришку закриття 4 шипами 3, стопорними шайбами 1 і шестигранними гайками 2 до газовпускного кожуха 6.
- 4) Заглушіть трубопровід масла й труби системи підкрутки ТН (при наявності).

У зв'язку з тим, що високошвидкісні компоненти ТН досить чутливі до дисбалансу, ремонт ротора звичайно провадиться спеціалізованими майстернями. З метою швидкого відновлення ТН на місці й скорочення трудомісткості при його зборці пропонується заміна роторів у зборі (cartridge).

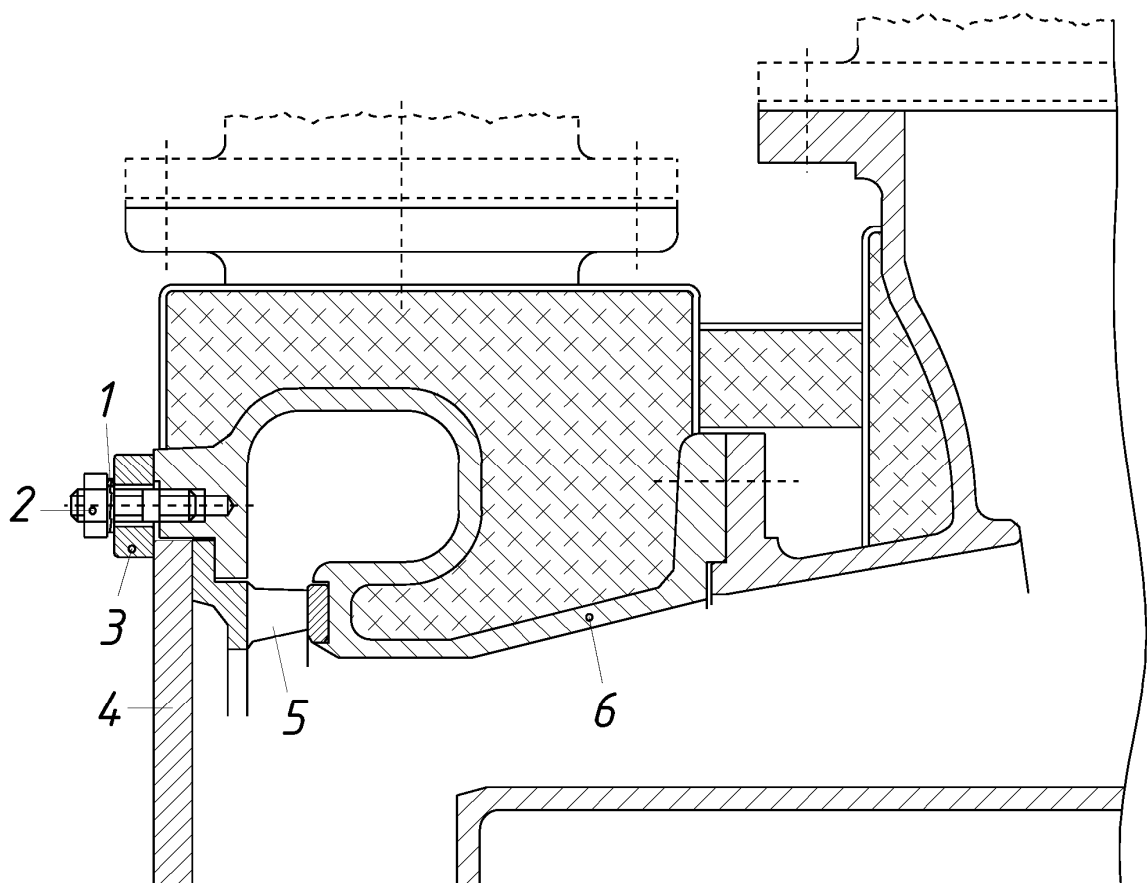


Рисунок 3.1 – Порядок підготовки турбокомпресора до демонтажу.
1 – стопорні шайби; 2 – гайки; 3 – шипи; 4 – кришка; 5 – сопловий вінець турбіни; 6 – газовпускний кожух

Картридж складається з корпусу підшипника в зборі із двома підшипниками й збалансованим ротором, готового до використання. Це дозволяє зробити перебирання ТН легкою й надійною.

Тому ми рекомендуємо придбати запасний картридж, щоб при необхідності мати його в наявності.

Картридж, що був демонтований, може бути направлений для ремонту.

Для підтримки газотурбонагнітача в гарному надійному стані потрібно оглядати й перевіряти його в різних місцях і через інтервали, установлені програмою обслуговування.

Для різних робіт з обслуговування турбонагнітача є окремі робочі карти стічними інструкціями про послідовності необхідних операцій.

Залежно від специфічних умов у машинному відділенні вибирається спосіб розбирання. Для виконання технічного обслуговування й перевірки в більшості випадків досить демонтувати складальні вузли турбонагнітача. Демонтаж усього турбонагнітача із двигуна звичайно потрібно тільки при капітальному ремонті.

При капітальному ремонті турбонагнітача або ремонтних робіт, що зачіпають найважливіші складові частини, рекомендується записувати стан окремих складальних вузлів і заносити цю інформацію в експлуатаційний журнал двигуна.

Виникаюче зношування й ушкодження, що особливо впливають на міцність або точність балансування й, отже, плавність роботи обертових частин, вимагають заміни фірмовими запасними частинами або ремонту в спеціалізованих майстернях або на заводах. Складові частини ротора, що висилають для ремонту, повинні бути належним чином упаковані й захищені від корозії, щоб запобігти подальшому ушкодженню під час перевезення.

Якщо при розбиранні болти й гайки неможливо послабити відразу через заїдання, уникайте прикладати надмірне зусилля, тому що можна зруйнувати деталі, і їх доведеться замінити. Може також виявитися необхідним висвердлювати зламані болти з корпусів і заново нарізати висвердлені різьблення. Заїдання в більшості випадків можуть бути ослаблені змазуванням різьблення дизельним паливом або спеціальними малов'язкими змащеннями (таким як Caramba й Omnigloss) і легким постукуванням молотком по головці болта.

Зазначені розчинники варто наносити рясно, забезпечивши їхній вплив на болтове або гвинтове з'єднання протягом деякого часу (не менш як на півгодини), щоб вони змогли проникнути в різьблення. Слід дотримуватися рекомендацій постачальників цих розчинників.

Болти, гайки й стопорні шайби в з'єднаннях на стороні турбіни, піддані впливу підвищених температур, виготовлені з жароміцних матеріалів, не утворюючи окалини. Щоб не плутати болти й гайки з таких матеріалів зі

звичайними, вони промарковані на своїй поверхні (SM, VM або 4923, Z1 або 4828). Під час розбирання такі деталі варто відкласти окремо до зборки. Усі пари стопорних шайб, використовуваних у з'єднаннях на стороні турбіни, виготовлені з матеріалів, не утворюючих окалини, але не промарковані.

Для виключення заїдання болтів і гайок і полегшення їхнього демонтажу надалі болтові з'єднання й місця їхньої установки повинні бути обов'язково покриті високотемпературним змащенням (такий як Molykote HSC) перед кожною зборкою. Перед нанесенням цього змащення ретельно очищайте різьблення. На різьблення шпильок змащення не наноситься.

Всі болтові й гвинтові з'єднання турбонагнітача повинні бути перед зборкою в бездоганному стані або повинні замінятися. При зборці пар стопорних шайб (пара складається із двох ідентичних шайб) переконаєтеся, що довгі клинові поверхні прилягають друг до друга (зсередини), інакше не буде забезпечене стопоріння. Неналежним чином затягнуті й закріплені болти й гайки можуть ослабнути під впливом вібрації й затягнуті в ТН потоком повітря або газу, викликаючи серйозні ушкодження.

По окремому замовленню постачається основний комплект запасних частин у якості так званих «резервних деталей». На номери по переліку варто посылатися при замовленні, і вони повинні збігатися з номерами, якими промарковані деталі. Всі деталі, поки вони залишаються впакованими, повинні бути на час зберігання добре змазані консистентним змащенням. Деталі з відкладеннями іржі повинні бути очищені й покриті змащенням. Рекомендується кожен із запасних частин замовляти знову відразу після установки в ТН, маючи на увазі, що транспортні причини (і очищення від мит) можуть викликати значні затримки в поставці деталей. Термінові ремонти залежать від наявності необхідних деталей у момент потреби в них.

Інструмент, що поставляє із ТН, упакований у ящик і занесений у таблицю переліку, прикріпленого до кришки інструментального ящика. При обігу з інструментом і його повторним замовленням варто дотримувати тих же інструкцій, які дані для запасних частин.

3.1.2 Демонтаж і монтаж глушника

Демонтаж глушника в зборі:

- 1) Підвісьте глушитель за допомогою талі й каната.
- 2) Зніміть затискач на обох сторонах окружності.
- 3) Пересуньте глушитель в осьовому напрямку й укладете його на дерев'яну підкладку.

Якщо датчик частоти обертання встановлений: послабте шестигранні гайки, видалите утримуючу шайбу й акуратно витягніть датчик частоти обертання.

Будьте акуратні, щоб не деформувати двополюсні наконечники на кінці датчика частоти обертання.

Послабте затискач на обох сторонах окружності.

Зніміть кожух на прийомі повітря й укладете на дерев'яну підкладку.

Монтаж глушника в зборі:

Монтаж виробляється в порядку, зворотному демонтажу.

Крутний момент затягування затискача на обох сторонах 8 (Н×м).

Розбирання, очищення й повторна зборка глушника

- 1) Зніміть мат повітряного фільтра почистите його.
- 2) Послабте шестигранні гайки й видалите шайби.
- 3) Зніміть передню стінку захисні ґрати аркуші, що демпфірують, проставочну втулки окремо. Це звільнить задню стінку з угвинченими шпильками.

Очищення повстяних обкладинок переважно здійснюється стисненим повітрям або щіткою: вона не занадто скрутна, якщо забруднення сухе. Липкий бруд може бути вилучено дизельним паливом. Розчинники, що містять ацетон й, особливо, трихлоретілен (або його замінники), не повинні використатися, тому що вони розчиняють з'єднання (стики). Повстяні обкладинки, які стають настільки хвилястими, що звужують площу поперечного перерізу на вході повітря, повинні бути замінені.

Повторна зборка виконується в порядку, зворотному розбиранню.

Приєднаєте до датчика й показчика частоти обертання в клемній коробці від'єднанні кінці. Зняття натягу й заземлення кабелю досягається затискачем сітки, що екранує, між конічними кільцями. Для ущільнення використається ущільнювач типу Adaptol.

3.1.3 Демонтаж і монтаж кожуха компресора, дифузора, вставки

Демонтаж:

1) Прикріпіть кожух компресора до каната й підвісьте за допомогою талі, обережно натягніть канат.

2) Послабте затискач на обох сторонах окружності, обережно відведіть кожух компресора в осьовому положенні й укладіть на дерев'яну підкладку.

Будьте обережні, не зашкодіть лопати колеса компресора.

3) Якщо дифузор повинен бути демонтований: послабте шестигранну гайку, зніміть пружинне кільце, гвинт із потайною головкою й дифузор в осьовому напрямку.

4) Якщо вставка передбачена й підлягає демонтажу: послабте шестигранні гайки й зніміть вставку в осьовому напрямку.

Монтаж:

Монтаж здійснюється в порядку, зворотному демонтажу.

Упевніться, що ущільнювальні кільця в належному стані. Ущільнювальне кільце є тільки, якщо передбачено "підкрутку".

Крутний момент затягування затискача на обох сторонах окружності 8 (Н×м).

3.1.4 Демонтаж і монтаж картриджа

Демонтаж (рис. 3.2).

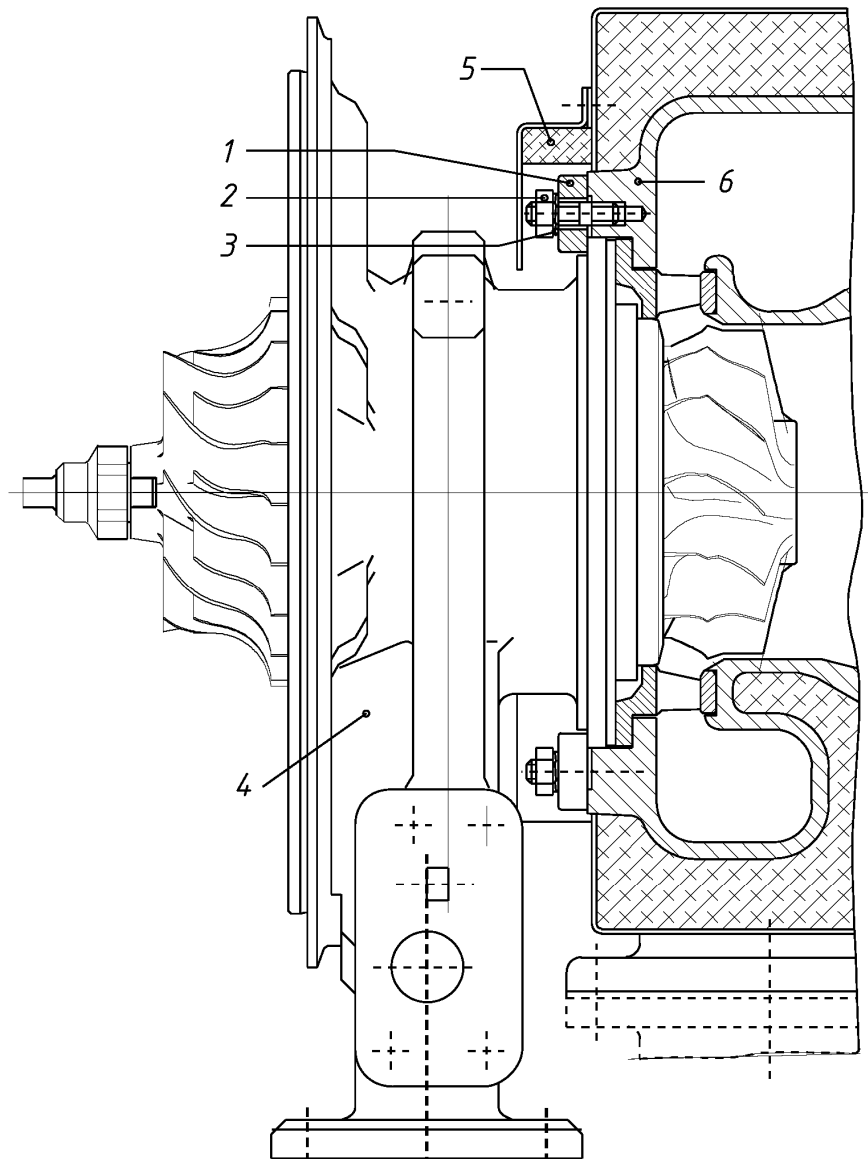


Рисунок 3.2 – Демонтаж і монтаж картриджа. 1 – шипи; 2 – гайки; 3 – стопорні шайби; 4 – корпус картриджа; 5 – екран; 6 – газовідвод

- 1) Зніміть рознімний аркуш із двох частин 5, при наявності.
- 2) Послабте болтове з'єднання в підставці кожуха.
- 3) Прикріпіть картридж 4 до талі для підйому й обережно натягніть канат.
- 4) Відгвинтіть шестигранні гайки 2, зніміть пари стопорних шайб 3 і шипи затискача 1.

5) Рівномірно відіжміть картридж 4 у трьох точках по окружності, використовуючи пристосування 7, 9, 8, обережно пересуньте його в осьовому напрямку (не зашкодьте ротор турбіни) і акуратно укладіть на дерев'яну підкладку.

Монтаж:

Монтаж проводиться в порядку, зворотному демонтажу.

Нанесіть високотемпературне змащення (наприклад, Molykote HSC) на болти й гайки, але не покривайте різьблення у випадку заміни шпильок.

Пари стопорних шайб 3 повинні бути уведені в зіткнення з довгими клиновими поверхнями усередині, інакше не буде забезпечене стопоріння.

3.1.5 Демонтаж і монтаж колеса компресора

Демонтаж (рис. 3.3):

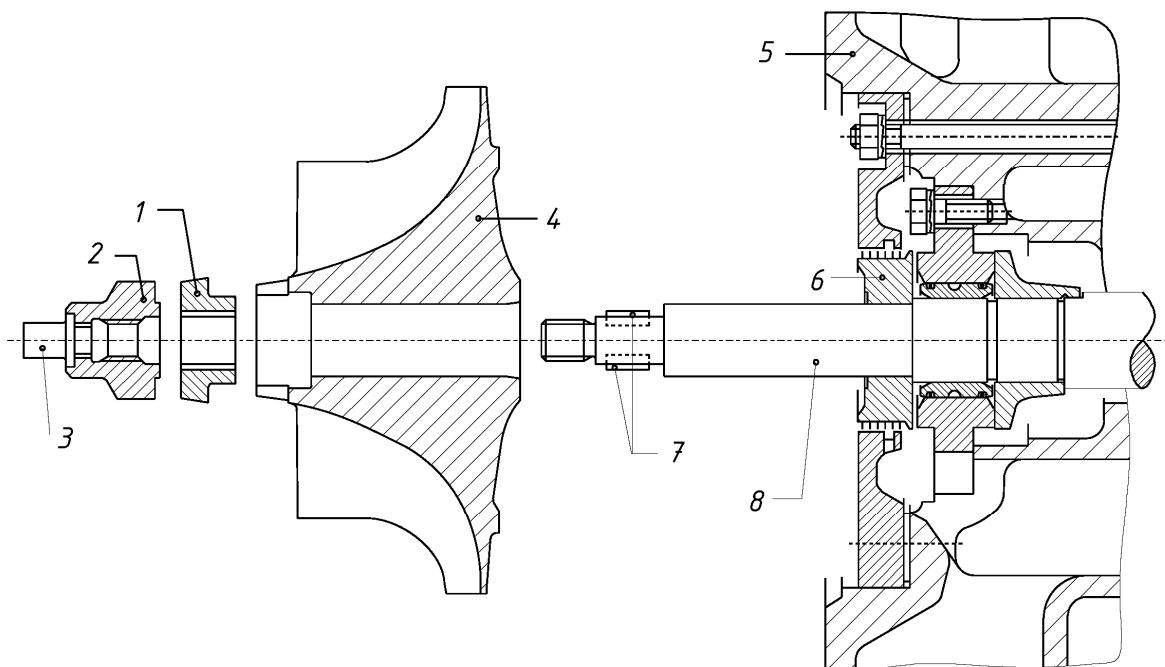


Рисунок 3.3 – Демонтаж і монтаж колеса компресора. 1 – опорна втулка; 2 – гайка; 3 – стопор; 4 – колесо компресора; 5 – корпус ТК; 6 – ущільнення; 7 – шпонка; 8 – вал

1) Відгвинтіть гайку 2, що має праве різьблення, утримуючи ротор турбіни нерухомим.

2) Витягніть опорну втулку 1.

3) Призматичні шпонки 7 звичайно не знімаються, однак вони не повинні

бути загублені.

4) Витягніть колесо компресора 4 вручну в осьовому напрямку.

Якщо колесо компресора має задири (наприклад, через фрітінг-корозію), нанесіть спеціальний засіб малої в'язкості (наприклад, Caramba) на з'єднання його з валом і почекайте поки воно не почне діяти. Потім знімайте колесо компресора, рухаючи його назад.

Монтаж

1) Нанесіть тонку захисну плівку Molykote G Rapid, Molykote G-n або Molykote D на настановних поверхнях вала турбіни (для колеса компресора й опорної втулки).

2) Вставте призматичні шпонки 7 у вал турбіни. Проштовхуйте колесо компресора 4 й опорну втулку 1 навал турбіни, поки вони не впруться в лабіринтове кільце 6.

Мітки балансування "W" ротора турбіни 8, колеса компресора 4 й опорна втулки (1) повинні збігатися радіально.

3) Нанесіть небагато масла на різьблення й нагвинтите гайку 2 крутним моментом затягування близько 60 (Н×м).

Перевірте осьовий зазор 4 ротору в зборі й поверхні биття 5 колеса компресора, використовуючи індикатор.

3.2 Аналіз факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики турбокомпресора двигуна L 23/30

Вхідний повітряний отвір (вікно) глушника покрито ворсистим матою-сіткою високої фільтраційної здатності. Тому глушитель, компресор й охолоджувач наддувочного повітря ефективно захищені від забруднення. Для підтримки цієї ефективності необхідні своєчасне очищення або заміна ворсистого мати-сітки, коли внутрішня сторона ворсистого мати-сітки стає темної, і це є надійною ознакою того, що поглинаюча здатність ворсистого мати-сітки вичерпана, і бруд починає з'являтися за фільтром. Використання перепаду тисків як показчик не надійно, так який залежить, в основному, від

переважної швидкості повітряного потоку, що визначається районом і місцем експлуатації.

При використанні важкого палива газу, що відробили, містять тверді частки малого розміру (наприклад, дрібні зерна), які мають ерозійний вплив, особливо на виході із соплового вінця турбіни, де швидкості газу й концентрації цих часток високі. Крім того, має місце, різко виражене відхилення потоку до периферії, і тому частки піддаються впливу відцентрових сил.

У результаті процесу очищення й залежно від його якості важке паливо містить дрібнозернисті, тонкозернисті тверді частки або частки у вигляді тонкого порошку (показниками є концентрації Al й Si), а також інші домішки з абразивним ефектом. Засобами зниження їхні концентрації є відстійні цистерни, що підігривають, збільшених розмірів і відповідна сепарація.

Особливо негативний ефект має змішування відпрацьованого мастила двигуна, що характеризується перевищеними нормами концентрації Ca й Fe . Відпрацьоване мастило двигуна містить не тільки осад часток зношування, але особливо миючі диспергуючі присадки. Тонкозернисті тверді частки зв'язані цими присадками так, що дрібні зерна й інші включення не можуть бути вилучені сепарацією. У результаті змішування палива з відпрацьованим маслом виникають набагато більш серйозні ерозійні ушкодження.

Продукти неповного згоряння можуть також викликати ерозію. Тому повинне бути забезпечене чисте згоряння.

Як показали розрахунки характеристик, наведені в попередній главі, у випадку турбонагнітачів NR бруд, що осідає на лопатах колеса компресора й на лопатках соплового вінця, може викликати помірну втрату в ККД у всьому діапазоні навантажень, через порівняно невеликі розміри робочого колеса.

Тому ми рекомендуємо використання пристрої для промивання компресора, особливо у випадку вкрай забрудненого повітря на вході. Морська вода й хімічні присадки, а також шкребки неприпустимі. Очисники охолоджувачів наддувочного повітря повинні вводитися за компресором.

Очищення повинно виконуватися на двигуні, що має робочу температуру й повне навантаження.

Можливі варіанти:

1. Портативний водяний контейнер з акумулятором, що приєднується до отвору для очищення на кожусі компресора, глушника або на кожусі входу повітря.

2. Як альтернатива може встановлюватися водяний бак у визначеному легко доступному місці. Бак повинен розташовуватися не менш ніж на 600 мм нижче точки упорскування, щоб уникнути передчасної витяжки води внаслідок вакууму в компресорі при наповненні бака водою. Повітря, необхідне для усмоктування води з бака, варто взяти за охолоджувачем наддувочного повітря.

Водяне чищення ефективне тільки для відкладень другого роду, для інших типів відкладень необхідно використати інші методи відчищення розглянуті нижче.

Механічне очищення деталей компресора. Бруд, що відклався в колесі компресора, повітряному дифузорі й равлику компресора, може бути вилучено в періоди обслуговування за допомогою струменя пари. Подальшою можливістю є занурення в дизельне паливо чи інші рідкі очисники й наступне видалення відкладень бруду щіткою. Хлористі очисники можуть роз'їдати алюмінієвий сплав (колеса компресора) і тому не повинні застосовуватися.

У всіх випадках варто уникати влучення очисника або розрідженого бруду в систему мастила. Не дозволяється застосовувати очисники високого тиску.

Механічне очищення деталей турбіни. Залежно від якості палива й експлуатаційного режиму двигуна продукти згоряння можуть збиратися на лопатках соплового вінця й турбіни. Прогресуючий зріст відкладень бруду й значне погіршення експлуатаційних характеристик може привести до помпажа компресора або порушенню небезпечних вібрацій лопаток через нерівномірне забруднення соплового вінця. Забруднення, що починається, пов'язано з підвищенням тиску наддувочного повітря в результаті звуження поперечного

переріза соплового вінця. Тиск наддування зменшується з розвитком забруднення, у результаті буде підвищуватися температура випускних газів.

ТН двигунів, що працюють на важкому паливі, вимагають очищення через регулярні інтервали від початку експлуатації, які визначаються залежно від якості палива й експлуатаційного режиму.

Є два методи очищення турбіни при роботі:

1. **Вологе очищення.** Для цієї мети потужність двигуна повинна бути знижена до величини 10...15%, щоб уникнути перевантаження лопаток турбіни від теплового удару. Рідиною, що використовується для очищення, є прісна вода, що вводиться без хімічних присадок перед турбіною.

2. **Сухе очищення.** Гранули горіхової шкарлупи, активованого вугілля або рису з розміром зерен 1...1,5 мм вводяться перед турбіною при звичайному експлуатаційному навантаженні двигуна з використанням стисненого повітря із суднової системи. Для цієї мети немає необхідності знижувати навантаження двигуна. Пристрій для очищення повинно бути сконструйоване так, щоб вводити необхідну кількість гранул за період 20...30 секунд, а не відразу. Це запобіжить раптовому падінню швидкості й помпаж компресора, особливо якщо паралельно працюють декілька ТН. Для пасажирських суден, яким фактично є судно прототип, варто пам'ятати: не можна запобігти викиду з димаря гранул сажі й падіння їх на палубу під час сухого очищення.

Сильні забруднення (такі як відкладення важкого палива або масляний кокс), що скопилися на сопловому вінці й колесі турбіни, можуть бути відмочені водою, обробленою стандартними господарсько-побутовими мийними засобами й потім вилучені щітками.

При необхідності процес повинен бути повторений кілька разів. Відмочування може бути проведене у відповідному баці протягом декількох годин.

Потрібно абсолютно переконатися в тому, що вода й розріджений бруд не можуть проникнути в систему мастила.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ У МАШИНО-КОТЕЛЬНОМУ ВІДДІЛЕНІ СУДНА ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці

4.1.1 Нормативно-правова та законодавча база з охорони праці

Охорона праці – це система правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людей у процесі праці. Головною матеріальною основою з поліпшення умов праці є нові методи виробництва, нова технологія, комплексна механізація й автоматизація виробництва [20].

Закон України «Про охорону праці», визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, що регулює, за участю відповідних органів, відношення між керівниками підприємства, чи організації уповноважених органів і робітником з питань безпеки і гігієни праці, середовища виробництва і встановлює єдиний порядок з охорони праці.

До нормативно-технічної бази з охорони праці при роботі у МКВ судна відносяться наступні, спеціально розроблені, документи:

1. Правила технічної експлуатації судових енергоустановок;
2. Правила технічної експлуатації судових електроустановок;
3. Правила устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та судин під тиском;
4. Правила організації безпечної експлуатації судових двигунів внутрішнього згоряння;
5. Правила техніки безпеки при експлуатації судового тепломеханічного й електричного встаткування.

4.1.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів у машинно-котельному відділенні судна

У МКВ судна можуть мати місце наступні потенційно небезпечні (механізми і машини, що рухаються, балони повітря високого тиску, електробезпечність) і шкідливі (відхилення параметрів мікроклімату в МКВ, вібрація і шум, випромінювання, пожежна безпека, недостатнє освітлення) фактори (табл. 4.1). Також сам фактор роботи у МКВ може містити у собі потенційну небезпеку.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі фактори що діють у МКВ

Тип	Фактор
Небезпечні:	машини, що рухаються, механізми, частини обладнання;
	електричний струм;
	термічні;
	вибухи;
	комбіновані.
Шкідливі:	підвищений рівень вібрації;
	підвищений рівень електромагнітних випромінювань
	підвищена запиленість і загазованість;
	підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;
	освітленість;
	підвищений рівень шуму.

Розглянемо окремо найбільш важливі з вище перерахованих небезпечних і шкідливих факторів що можуть виникнути при роботі з маслами та обладнанням масляних систем СДУ.

Рушійні механізми і машини. Особливості роботи на морському транспорті вимагають строгого дотримання правил техніки безпеки. У МКВ розташовано безліч машин і механізмів, що рухаються, частини яких викликають підвищену небезпеку для обслуговуючого персоналу. Тому для

створення сприятливих умов праці у МКВ, частини механізмів, що рухаються, мають захисні кожухи або огороження, площадки і трапи обгороджені леєрами, висотою 1,1м. Настили в МКВ виконані з рельєфного металу, а конструкція решіток забезпечує безпеку переходів по них і можливість проходу повітря для вентиляції.

На судні передбачено два виходи з МКВ, розташованих на різних бортах судна, на максимально можливій відстані один від одного. Ширина проходів у МКВ не менш 0,6 м. Усі виходи з МКВ мають огороження [20].

Балони стиснутого повітря. У машинно-котельному приміщенні судна розташовані допоміжна котельна установка, балони пускового повітря, компресори, конденсатори, судини, що працюють під тиском. Для забезпечення безпечної експлуатації судин оснащують контрольно-вимірювальною апаратурою для виміру стану робочого середовища. Справність водовказівних стовпчиків котлів перевіряється продуванням їх 1...2 рази за вахту. Судини повинні мати: запірні крани для відключення їх від приєднаних трубопроводів і запобіжні клапана, тиск спрацьовування яких повинен знаходитися в межах: $(1,1...1,5) p$, де p – робочий тиск [20].

Тиск при іспитах на міцність для сталевих судин:

$$p = 1,5p \text{ при } p > 0,5 \text{ МПа};$$

$$p = 1,25p \text{ при } p < 0,5 \text{ МПа}.$$

Електробезпека. Технічний прогрес у суднобудуванні характеризується збільшенням енергооснащення суден і насиченням їх сучасними видами електроустаткування. Усе це вимагає підвищеної уваги до питань електробезпеки. Номінальна напруга на затискачах джерел електроенергії, призначених для живлення суднової мережі, не повинне перевищувати наступних значень.

- 400 В – при перемінному трифазному струмі з частотою 50 Гц чи 460 В з частотою 60 Гц;

- 230 В – на постійному струмі.

Серед захисних заходів від ураження електричним струмом найбільш

розповсюдженими є захисне заземлення, захисне занулення, захисне відключення.

Усе наявне на судні устаткування повинне бути заземлене. Опір заземлення в електроустановках напругою до 1 кВ повинен бути не більш 4 Ом та 5 Ом – коли напруга більш 1 кВ, згідно ПУЕ – 84.

Стан ізоляції електричних машин, проводів, кабелів і радіотехнічних пристроїв повинен систематично контролюватися (не рідше 1 раз в півроку). Для переносного устаткування й електроінструмента напруга, що допускається – 24 В.

У кожному приміщенні вивішуються інструкції з техніки безпеки, схеми блокування, попереджувальні плакати і знаки небезпеки. Обов'язковим є наявність на судні індивідуальних засобів захисту людини від ураження електричним струмом (калоші, боти, гумові рукавички, інструменти з ізольованими ручками) [20].

Хімічні фактори. Вихлопні гази – відпрацьоване в двигуні робоче тіло. Є продуктами окислення і неповного згоряння вуглеводневого палива. Викиди вихлопних газів – основна причина перевищення допустимих концентрацій токсичних речовин і канцерогенів в атмосфері МКВ. Кількість виділених у повітря забруднюючих речовин визначається масовим викидом газів і складом газів, що відходять.

Найбільшу небезпеку становлять оксиди азоту, приблизно в 10 разів більш небезпечні, ніж чадний газ, частка токсичності альдегідів відносно невелика і складає 4...5% від загальної токсичності вихлопних газів. Токсичність різних вуглеводнів сильно відрізняється. Неграничні вуглеводні у присутності діоксиду азоту фотохімічно окислюються утворюючи отруйні кисневмісні сполуки.

Крім того при використанні сірчистих палив вихлопні гази, можуть містити оксиди сірки.

Тривалий контакт із середовищем, отруєним вихлопними газами, викликає загальне ослаблення організму – імунodefіцит. Крім того, гази самі

по собі можуть стати причиною різних захворювань.

Джерелом шуму на судні є головний двигун, дизель-генератори, допоміжні механізми, котли, вентилятори, компресори, насоси, валопроводи, гвинт і інші механізми і пристрої. Шум негативно впливає на технічні функції, на стан серцево-судинної системи, приводить до зміни кров'яного тиску і частоти серцевих скорочень.

Для зниження шуму застосовують кожухи, глушники, звукоізоляцію, пружні ущільнювачі. Обслуговуючий персонал МКВ забезпечується засобами індивідуального захисту. Для зниження вібрації машини встановлюють на амортизатори, застосовують звукобійні матеріали. Обслуговуючий персонал забезпечується ковдрами, антивібраційними рукавицями.

Джерелами теплових випромінювань є нагріті поверхні машин, механізмів, устаткування, трубопроводів, маслоподігрівачів. Інтенсивність теплового випромінювання, що допускається, 350...500 Вт/м².

Освітленість у МКВ повинна бути наступної [20]: продуктивність висвітлення не менш 75 лк для ламп накаливання та 115 лк для люмінесцентних, аварійне освітлення – не менш 10% основного, повинне бути мале аварійне та переносне освітлення.

4.1.3 Заходи зі забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці

- Всі місця робіт по обслуговуванню механізмів в приміщенні СЕС повинні бути добре освітлені.

- Машинні плити і ґрати в приміщенні СЕС повинні утримуватись в чистоті.

- Забороняється загороджувати проходи і плити в приміщенні СЕС деталями, інструментами, матеріалом та ін., особливо поблизу діючих механізмів і робочих місць. Проходи в приміщенні СЕС повинні бути вільні.

- Перед проведення будь-яких робіт з агрегатами наддуву, потрібно витримати час необхідний для повного прохолодження двигуна та особливо корпусу турбіни, яка під час роботи має температуру близько 300°C.

- Перед початком робіт з обслуговування агрегатів системи наддування переконаєтеся що:

- а) двигун зупинений;
- б) пускове повітря перекрите;
- в) охолодна вода перекрита;
- г) паливо перекрите;
- д) циркуляція мастила припинена;
- е) натиснуто блокування повторного запуску.

- Повітряпостачаючи трубопроводи двигунів повинні зазнавати регулярного очищення, щоб масляні залишки, що накопичуються не викликали пожежі.

- Для зменшення токсичності газів у машинному відділенні до мінімуму й для збереження ізоляції газовипускного трубопроводу в гарному стані необхідно підтримувати компенсатори випускного трубопроводу герметичними.

- Щоб уникнути вибуху у порожнини турбокомпресору або у повітроохолоджувачі необхідно забезпечити інтенсивне охолодження останніх. Запобіжні клапани, встановлені на теплообмінниках, повинні знаходитися в справному стані, щоб в потрібний момент вони могли діяти безвідмовно. Необхідно регулярно оглядати, замінювати пошкоджені або забруднені трубки теплообмінників.

- Поверхні трубопроводів, що сильно нагріваються повинні бути забезпечені кожухами або ізоляцією, а в місцях проходу людей їх треба захищати щитами достатньої міцності для запобігання персоналу від опіків при випадковому дотику.

- Необхідно негайно усувати всю виявлену нещільність і течу в газо- та повітряпроводах.

- При проведенні робіт забороняється користування несправними, невипробуваними і забрудненими підймальними пристроями (талі, блоки, домкрати і ін.). Талі повинні мати паспорт про проведення випробувань

ланцюгів, гака, блоку і механізму передачі. На телях повинні бути вибиті номер і навантаження, що допускається. Підйом деталей, що мають вагу навантаження більш допустимої – забороняється.

- Деталь, що підіймається повинна бути надійно застроплена. Міцність стропів заздалегідь перевірена. Стропи потрібно періодично оглядати. При підйомі деталей не можна допускати утворення скручування і гострих кутів, що викликає обрив стропа. Застроплювати і підіймати важкі деталі слід в присутності старшого або другого механіка.

- Забороняється залишати підняту деталь на гаку без нагляду, а також підлізати під висячий вантаж, ходити або стояти під деталлю, що висить на телях. Перед підйомом деталі люди, що знаходяться внизу повинні бути попереджені про майбутній підйом.

- Деталі, що залишаються на гачках або де-небудь на верху двигуна або машини, повинні бути укладені на підкладках і надійно закріплені.

Вібрація і шум у МКВ. Припустимі рівні шуму в МКВ в діапазоні частот 65...800 Гц не повинні перевищувати 100...70 дБ, якщо немає достатнього управління зі звукоізовованого приміщення і 110...80 дБ при наявності дистанційного управління. В ізовованих приміщеннях шум допускається не більш 90...60 дБ. Гранично припустимі рівні вібрації в частотному діапазоні 2...63 Гц в активних смугах не повинні перевищувати 106...92 дБ, що відповідає вібраційній швидкості від $9,92 \cdot 10^{-3}$ м/с згідно санітарним правилами для морських суден.

Нормованим параметром є рівень звукового тиску. Обслуговуючий персонал у МКВ забезпечений індивідуальними засобами захисту: антивібраційними рукавицями, спеціальним взуттям, ковдрами, навушниками, що послабляють шум до 65 дБ на частотах 500...700 Гц [16].

Пожежна безпека. Захист від пожежі – застосування вогнестійких матеріалів та розподіл судна на протипожежні зони.

Протипожежна профілактика містить у собі комплекс заходів, спрямованих на запобігання, виявлення і ліквідацію пожежі в найкоротший термін з

мінімальними витратами.

На судні передбачені наступні технічні заходи щодо пожежної безпеки:

- передбачена сигналізація виявлення й оповіщення про пожежу в МКВ;
- по одному з правого чи лівого борту встановлені шухляди з піском;
- передбачені два аварійних виходи з МКВ;
- цистерни палива й масла обладнані повітряними трубами, запобіжними сітками й поплавковими клапанами. Розташовані вони на верхній палубі в місцях, що виключають скупчення випарів і нафтопродуктів;
- система вентиляції в МКВ виконана автономною з застосуванням герметичних зачинень на прийомі й викиданні повітря.

Вогнегасники в МКВ розташовані таким чином, щоб з будь-якого місця приміщення до найближчого вогнегасника відстань не перевищувала 10 м.

Для приміщень, у залежності від їхнього призначення, передбачені наступні протипожежні системи і засоби ліквідації пожеж: водяне, парогасіння, кислотне гасіння, повітряно-пінне гасіння, система об'ємного хімічного гасіння, гасіння пожежі піском [16].

Водяна протипожежна система є найважливішою системою загальносуднового рятувального призначення, що забезпечує цілісність судна, схоронність вантажів й охорону життя членів екіпажа.

Водяна протипожежна система обладнається пожежними рукавами довжиною 25...40 метрів на відкритих палубах і не менш 20 метрів у внутрішніх приміщеннях. Пожежні насоси забезпечують продуктивність і мінімальний тиск 0,3 МПа в будь-якому пожежному ріжку, незалежно від його місця розташування.

Для МКВ суден при роботі двигунів машин і механізмів енергетичного комплексу характерне забруднення повітря шкідливими газами, парами, туманом палива і масла, що значно погіршує склад повітряного середовища.

У МКВ судна треба постійно контролювати гранично припустимі концентрації шкідливих речовин [16], що встановлені санітарними правилами для морських суден. Для забезпечення мікрокліматичних умов на судні

передбачені системи опалення, вентиляції і кондиціонування.

Для підтримання параметрів повітряного середовища в приміщеннях МКВ слугує система проточно-витяжної вентиляції й опалення [16].

Показники мікроклімату в МКВ регламентуються діючими нормативами:

- у зимовий період температура в приміщеннях повинна бути не нижче 12 °С (при непрацюючих механізмах), відносна вологість повітря в зимовий період повинна складати 40...60% при наявності опалення швидкість руху повітря в робочій зоні 0,3...0,5 м/с;;

- у літній період температура в приміщеннях не повинна бути більш ніж на 8 °С вище зовнішньої, вологість повітря у літній період не нормується. Швидкість повітря на виході з повітророзподільників у літній період не повинна перевищувати 0,5...1,5 м/с, а швидкість руху повітря в робочій зоні 1,0...1,5 м/с.

Освітлення. Належне освітлення виробничих приміщень і робочих місць – один з важливих факторів, що сприяють підвищенню продуктивності праці і зниженню виробничого травматизму і професійних захворювань.

Освітленість у МКВ повинна бути не менш 75 лк.

Електричне освітлення суден за своїм типом й призначенням поділяється на аварійне, мале аварійне, основне й пересувне.

Аварійне освітлення забезпечує не менш 10% нормативної освітленості в МКВ. Світильники, встановлені в МКВ повинні бути стійкі до вібрації, вибухово-пожежобезпечними, металева арматура – заземлена. Світильники встановлені так, щоб запобігти сліпучу дію ламп на зір [16].

4.2 Охорона навколишнього середовища

4.2.1 Вплив судна на навколишнє морське середовище

Охорона морського середовища від забруднення передбачає комплекс заходів, направлених на виключення появи нових причин і джерел забруднення, а також поступове зведення до мінімуму і, там, де можливо, повну ліквідацію тих, що вже є.

Успішне рішення питань охорони навколишнього середовища не може бути вирішене без тісного міжнародного співробітництва, досягнення діючих строго контрольованих міжнародних угод. В даний час діє єдиний міжнародний документ «Міжнародна конвенція по запобіганню забруднення із суден» 1973 року з Протоколом 1978 року: МАРПОЛ 73/78/94.

МАРПОЛ 73/78 складається з 20 частин, з них дев'ять частин. Протоколу 1978 року і п'ять додатків, у яких обмовляються вимоги, що забороняють скидання нафтовмістовних вод у моря чи океани.

Основні вимоги:

1. Для особливих районів забороняється всяке скидання чи нафти нафтовмістовних вод. Судно зобов'язане зберігати на борту всі нафтовмістовні залишки й осад, а потім здавати їх в прийомні пристрої.

2. У відкритому морі скидання допускається, якщо дотримуються наступні умови: судно перебуває за межею особливого району на ходу на відстані більш 50 морських миль від найближчого берега й інтенсивність скидання нафти не перевищує 60 літрів на морську милю в годину, а загальна кількість скинутої в море нафти не перевищує 1/3000 загальної кількості вантажу.

3. Якщо судно обладнане системою автоматичного виміру і контролю над скиданням, то скидання допускається.

4. Випадкове забруднення, у випадку переливу нафтопродуктів у процесі їхнього прийому до суднові ємності.

5. Навмисне забруднення, при відкачці за борт нафтовмістовних вод із трюмів МКВ, нафтовмістовної баластової води з цистерн запасу палива і вантажних відсіків.

6. Аварійне забруднення, при розливі нафтопродуктів при розриві шлангів і труб систем навантаження, а також при порушенні зовнішньої обшивки корпусу судна.

Запобігання навмисного забруднення забезпечується при строгому дотриманні обмежувальних інструкцій, а також при устаткуванні судна спеціальними ємностями для збору відстоїв, відходів сепарації і

відпрацьованого масла, що потім можуть передаватися на базу, а також спеціальними пристроями для очищення трюмних, забруднених і баластових вод, що відкачуються за борт.

Для запобігання забруднення водяних басейнів нафтопродуктами передбачено, що усі масляні і паливні цистерни в подвійному дні відділені кофердами від зовнішнього дна.

4.2.2 Розробка заходів із зниження екологічного збитку навколишньому морському середовищу

Обробка нафтопродуктів. В процесі експлуатації механізмів МКВ, на стоянці або на ходу, виникає необхідність знищення відходів, очищення і скидання нафтовмістних і льяльних вод.

Кількість льяльних вод судна водотоннажністю 23579 тонн складає за добу близько 0,55 м³. Вміст нафтопродуктів в льяльних водах в середньому складає 2000 міліграм/л. При цьому пропускна спроможність сепаратора повинна бути біля 8 м³/год, а мінімальна місткість повинна складати 8,25 м³.

Дренажна система СДУ повинна забезпечити збір, очищення або видалення масловмістовних стічних вод, що утворюються в процесі експлуатації. При застосуванні на судні установки очищення масловмістовних стічних вод, показники очищення повинні відповідати наступним вимогам:

- нафтопродукти, мг/л не більше	15;
- зважені речовини, мг/л не більше	20;
- водневий показник (рН)	6,5...8,5;
- загальний солевміст, мг/л не більше	2000;
- хлориди, мг/л не більше	350;
- сульфати, мг/л не більше	500;
- БПК (повн.), мг/л не більше	20.

Конвенція МАРПОЛ 78/94 включає правила запобігання забруднення водойм сміттям із суден. При цьому під терміном «сміття» розуміються усі

види харчових, побутових чи експлуатаційних відходів, що утворюються в процесі нормальної експлуатації судна, за винятком речовин, перелік яких приведений в інших додатках Конвенції.

Конвенцією передбачені наступні обмеження по скиданню сміття:

- забороняється скидання в море усіх видів пластмас, включаючи синтетичні троси, мережі, пластмасові мішки для сміття;
- плавучий оббивний і пакувальний матеріал можна скидати за межами 25 миль від берега;
- за межами 12-ти мильної зони можна скидати сміття, пропущене через подрібнювач, якщо шматочки розмеленого сміття не більш 25 мм;
- в особливих районах забороняється скидати будь-які види сміття, крім харчових відходів, які можна скидати за межами 12-ти мильної зони.

На судні використовується установка для спалювання сміття і відходів. Використаний тип сміттєспалювачів схвалений до застосування Регістром.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі на підставі аналізу конструкції двигуна L23/30 фірми МАН, що працює в складі дизель-генератора суднової електростанції сучасного морського судна «MED CESME», був розроблений комплекс заходів щодо підвищення ефективності експлуатації агрегатів системи наддування.

Зокрема, у проекті запропонована модернізація напрямного апарату турбіни, шляхом застосування апарату зі ступеневою зміною прохідного перетину. Розрахунок характеристик двигуна, виконаний за базовим значенням параметрів двигуна й за очікуваними показниками отриманим у результаті вимірів в період експлуатації, показав, що така модернізація покращує ефективні показники двигуна на часткових навантаженнях. Отже модернізація турбокомпресора дозволяє знизити витрати на паливо й на технічне обслуговування дизеля.

Розрахунок економічної ефективності прийнятих технічних рішень показав, що на одному агрегаті зниження експлуатаційних витрат складе 11,2 тис. \$ у рік. Строк окупності запропонованих рішень за рахунок мінімальних капітальних витрат складе три з половиною роки.

Таким чином, завдання, поставлені в кваліфікаційній роботі, можна вважати виконаними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/containerships/5459-durande-imo-9256365>
2. L23/30H Instruction Manual. Marine Four-stroke GenSet compliant with IMO Tier II. MAN Diesel, 2012. – 878 p.
3. L23/30A Project Guide. Four-stroke Propulsion Engine compliant with IMO Tier II MAN Diesel, 2014. – 167 p.
4. **Межерицкий А.Д.** Турбокомпрессоры систем наддува судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1986. – 248 с.
5. **Рудь А.В.** Використання числових профілів робочого процесу двигунів внутрішнього згоряння у для аналізу динамічних сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі. / А.В. Рудь, В.М. Рудь, С.М., Штефанко, Є.В. Білоусов, А.Ю.Крюков // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025» (MAITRI 2025) 30-31 жовтня 2025 року, Харків, ХНАДУ. 2025.
6. **Розенберг Г.Ш.** и др. Техническая эксплуатация судовых газотурбинных установок. М.: Транспорт, 1986. – 222 с.
7. **Mollenhauer K. Tschoeke H.** Handbook of Diesel Engines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. – 634 p.
8. **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, MA 01803. 2004. – 914 с.
9. **Bilousov I.V.** Internal combustion engines of modern marine vessels. Textbook for higher maritime educational institutions / I.V. Bilousov, M.P. Bulgakov – Astroprint, Odesa, 2024 – 512 p. ISBN 978-617-7797-54-7
10. **Bilousov I.** Modern Marine Internal Combustion Engines. A Technical and Historical Overview. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping. 2020. – 285 p. ISBN 978-3-030-49748-4 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49749-1>

11. **Наливайко В.С.** Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко. — Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
12. **Latache M.** Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Elsevier Ltd. – 2021. – 957 p.
13. **Woodyard D.** Marine diesel engines and gas turbines. Ninth Edition, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803, 2009. – 896 p.
14. **Білоусов Є.В.** Навчальний посібник до курсу «Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх експлуатація» (виконання розрахунково-графічної роботи) Навчальний посібник / Є.В. Білоусов, Р.А. Варбанець, В.П.Савчук // Херсон – ХДМА, Одеса – ОНМУ, 2021 – 215 с.
15. **Белоусов Е.В.** Топливные системы современных судовых дизелей. Херсон, ХГМА, 2014. – 260 с.
16. **Heywood J.B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. Second Edition. McGraw-Hill Education. New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico, City Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto. – 2018. – 1721 p.
17. **Okubo M.** New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines. / **M. Okubo, T. Kuwahara** // Butterworth-Heinemann, Kidlington, Oxford, United Kingdom, Elsevier Inc. 2020. – 284 p.
18. **Brawn D.T.** A History of the Sulzer low-speed marine diesel engine. Sulzer Brothers Ltd., 8401 Winterthur (Switzerk Design: W. Guntensperger, SPW, 8802 Kilchberg (Switzerland)
19. **Kuiken K.** Diesel Engines I for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW. Groningen, Netherlands: Target Global Energy Training. 2008. – 509 p.
20. **Іванов Б.М.** Основи охорони праці на морському транспорті. / Б.М. Іванов, М.О. Колегасв, Ю.І. Касилов, О.І. Іванов // КОМПАС, Одеса, 2003 – 416 с.