

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Технічна експлуатація, обслуговування та ремонт деталей
циліндро-поршневої групи суднового малообертового двигуна MAN 5S50MC

Виконав:

студент групи 44-ЕМ-23

Жигалюк Д.О.
(підпис)

Керівник роботи:

канд. техн. наук

(посада, науковий ступень, вчене звання)

Галинкін Ю.М.
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 142 – «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

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

Студенту Жигалюк Денис Олександрович

1. Тема роботи: «Технічна експлуатація, обслуговування та ремонт деталей циліндро-поршневої групи суднового малообертового двигуна MAN 5S50MC»

Керівник роботи Галинкін Ю.М.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року за № 22.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2025 року.

3. Вихідні данні по роботі: Судновий двигун MAN 5S50MC потужністю 7150 кВт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).

Вступ. 1. Загальний розділ. 2. Конструкторський розділ. 3. Технологічний розділ.

4. Охорона праці та навколишнього середовища. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Судно “Maersk Ramsey” 2. Поперечний переріз двигуна MAN 5S50MC. 3.

Втулка циліндру двигуна MAN 5S50MC. 4. Ремонт та обслуговування деталей поршневої групи.

6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «10» лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

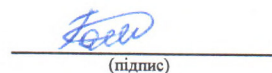
Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
5	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2025	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.05.2025	

Студент


(підпис)

Жигалюк Д.О.

Керівник
роботи


(підпис)

Галинкін Ю.М.

Анотація

Представлена кваліфікаційна робота містить у собі 74 сторінок, 27 рисунків. При підготовці проекту було використано 13 джерел інформації.

У роботі розроблений комплекс заходів щодо проведення ремонтних та експлуатаційних робіт деталей поршневої групи головного суднового мало обертового двигуна. Також розглянуті питання охорони праці та техніки безпеки при виконанні робіт.

Ключові слова:

ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ВТУЛКА, ПОРШЕНЬ,
ПОРШНЕВЕ КІЛЬЦЕ

Abstract

The presented thesis contains 74 pages, 27 drawing. By preparation 13 sources of the information have been used.

In this thesis a set of measures for carrying out repair and maintenance works of parts of the piston group of the main ship engine is developed. Also, the issues of occupational safety and safety during work execution were considered.

Keywords:

INTERNAL COMBUSTION ENGINE, CYLINDER LINER, PISTON,
PISTON RING

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ.....	6
1.1 Призначення і конструктивний тип судна.....	6
1.2 Склад енергетичної установки.....	6
1.3 Опис конструкції двигуна дизельгенератора	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА	20
2.1 Методика розрахунку робочого циклу двигуна.....	20
2.2 Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна	21
2.3 Розрахунок робочого циклу	23
2.4 Розрахунок теплового балансу двигуна.....	33
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ	36
3.1 Огляд робочої поверхні та визначення дефектів втулок циліндрів.....	36
3.2 Технічне використання, обслуговування та ремонт деталей поршневої групи	45
3.3 Технічне використання, обслуговування та ремонт втулки циліндра...	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	64
4.1 Охорона праці в машинному відділенні судна.....	64
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях у машинному відділенні судна	67
4.2 Техніка безпеки при ремонті деталей циліндро-поршневої групи	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	73

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ			
Вим..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Жигалюк Д.О.			Технічна експлуатація, обслуговування та ремонт деталей циліндро-поршневої групи суднового малооборотного двигуна MAN 5S50MC	Лит.	Лист	Листів
Перевір.		Галинкін Ю.М.					3	80
						44-ЕМ-23		
Н. Контр.		Галинкін Ю.М.						
Затв		Нестеренко В.В.						

ВСТУП

За останні кілька десятиліть потужність малообертових двигунів MAN Dieselturbo подвоїлася, в той час як їх довжина залишилася незмінною і навіть скоротилася, але збільшилася маса. Це було викликано необхідністю посилити конструкцію в зв'язку з ростом механічних навантажень, як уже зазначалося, максимальний тиску згоряння зросли в два рази.

Необхідність збільшення циліндрової і агрегатної потужності, підвищення економічності і зниження емісії вихлопних газів стали домінуючими факторами в розвитку двигунобудування в кілька останніх десятиліть. За цей період компанія MAN Dieselturbo досягла значних успіхів, зокрема, зменшилася витрата палива до 171 г(кВт год), але це вимагало одночасного збільшення максимального тиску робочого циклу (до 15 МПа). Середньоефективний тиск підвищено з 1,0 до 1,9 МПа. Зростанню економічності сприяло також підвищення ефективності газотурбінного наддуву (перехід на наддув при постійному тиску, підвищення ККД турбокомпресорів), збільшення відношення ходу поршня до діаметру циліндра з двох до чотирьох, вдосконалення паливної апаратури тощо.

Збільшення відношення ходу поршня до діаметру циліндра також сприяло зниженню оборотів і підвищенню пропульсивного ККД. Настільки високе форсування не могло не відбитися на рівні теплових і механічних напружень в елементах циліндро-поршневої групи. Як відомо, зниження механічної напруги можна досягти шляхом збільшення товщини стінок камери згоряння, але це призводить до зростання в них температурних перепадів і, відповідно, збільшення температурних напружень. Щоб цього уникнути, фірма MAN, збільшуючи товщину стінок, одночасно наблизила до теплосприймаючих поверхонь потоки води, що охолоджує, низивши, тим самим, створюваний в них температурний перепад, а з ним і температурні напруги. Для цього воду направили по свердлінням в стінках головки

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поршня, верхньої фланцевої частини втулки і вогневого днища кришки циліндра. Кількість форсунок в одному циліндрі збільшено до трьох.

В 2003 році фірма MAN представила двигуни серії ME, створених на базі конструкції MC. В таких двигунах відсутній розподільний вал з його приводом та введено електронне керування процесами паливоподачі, змащенням циліндрів, вихлопним клапаном, регулюванням кількості обертів, до того ж замінено механічний регулятора на електронний. Пуск та реверсування двигуна проводиться електронною системою керування.

Ціль даної роботи – розробити комплекс заходів з обслуговування та ремонту циліндро-поршневої групи двигуна фірми 5S50MC MAN B & W, що використовується у якості головного на судні «Maersk Ramsey».

Задачі, розв'язувані в роботі полягають у наступному:

- проаналізувати особливості конструкції й експлуатації двигуна фірми 5S50MC MAN;
- проаналізувати комплекс заходів з обслуговування та ремонту циліндро-поршневої групи;
- розробити ряд заходів з охорони праці при виконанні ремонтних робіт.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Призначення і конструктивний тип судна

Судно «Maersk Ramsey» (ІМО 9167168), узятє в якості прототипу в даному дипломному проєкті, призначене для перевезення нафтопродуктів та сирової нафти. Тип судна – двопалубний нафтовий танкер з кормовою надбудовою і кормовим розташуванням машинного відділення. Довжина судна 171,2 м, ширина 27,4 м. Швидкість судна 14,5 вузлів [1], екіпаж 25 чоловік.

Судно ходить під прапором Данії, порт приписки - København.

Класифікація:

- 100A1 Double Hull Oil Tanker, LMC, UMS, SCM Shipwright FDA, SDA, CM, ESP, IWS, IGS, SPM with the descriptive notations COW SBT.

Судно збудовано верф'ю Guangzhou Shipyard International Co. Ltd, Китай.

Загальний вигляд судна взятого у якості прототипу наведено на рис.1.1.

1.2 Склад енергетичної установки

В якості головного на судні встановлений двотактний реверсивний крейцкопф ний дизельний двигун 5ДКРН 50/191 (MAN B&W 5S50MC) з діаметром циліндра 500 і ходом поршня 1910 мм [1].

Використовуваний двигун має потужність $N_e = 7150$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n_{кв} = 127$ хв⁻¹.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Суднова електроенергетична установка містить три допоміжних автоматизованих дизель-генератора MAN B&W Høleby/Siemens потужністю 910 кВт кожний, напругою 440 вольт, та аварійного дизель-генератора Valmet/Stamford 120 кВт, 440 вольт.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна «Maersk Ramsey»

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.3 Опис конструкції двигуна дизельгенератора

Фундаментна рама двигуна спрощеної коробчатої форми - сталева суцільнозварна, кріпиться до фундаменту корпусу судна болтами на сталевих клинах. Поперечні опори - сталеві литі з отворами для виходу анкерних зв'язків. Тонкостінні сталеві вкладиші рамових підшипників залиті білим металом (бабітом). У кормовій частині піддона фундаментної рами є отвір, закрите сіткою, для зливу мастила з картера в циркуляційну масляну цистерну, розташовану під двигуном у подвійному дні корпусу судна. З корми двигуна є відсік приводів з вбудованим упорним підшипником.

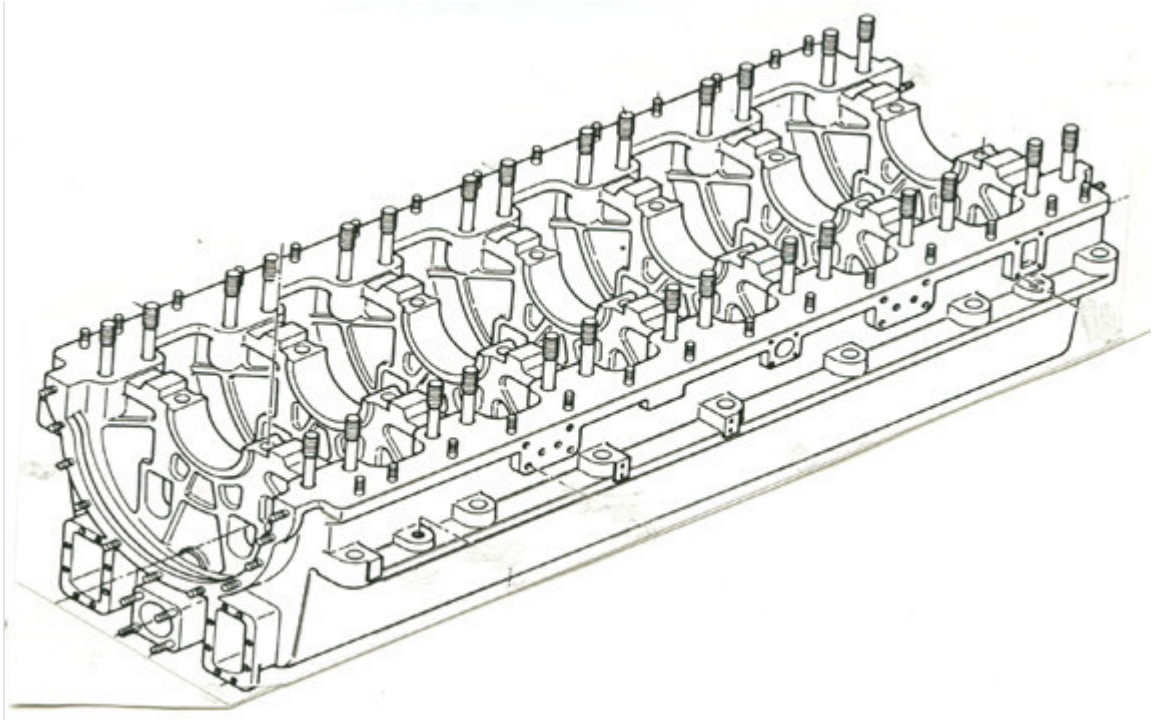


Рисунок 1.2 – Фундаментна рама

Станина - сталева суцільнозварна з входними дверима в кожен відсік циліндрів і відсік приводів з боку управління. Відсік приводів має двері і з протилежного боку. Запобіжні клапани картера (6 одиниць) розташовані у верхній станини з боку газовихлопу та один – з носового торця. Кожен циліндр має по 4 сталевих направляючих крейцкопфа, приварених до конструкції станини.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Втулка циліндра - суцільнолита, виготовлена з модифікованого чавуну. У нижній її частині є 30 продувних вікон. Як і в двигунах фірми більш ранніх модифікацій, масивний борт вірніше частини втулки має свердління для проходу охолоджуючої води з зарубашечного простору в кришку циліндра. Змазка циліндричної втулки забезпечується за допомогою двох рядів отворів циліндрового мастила у верхній частині втулки. З боку дзеркала кожен отвір має роздавальні канавки.

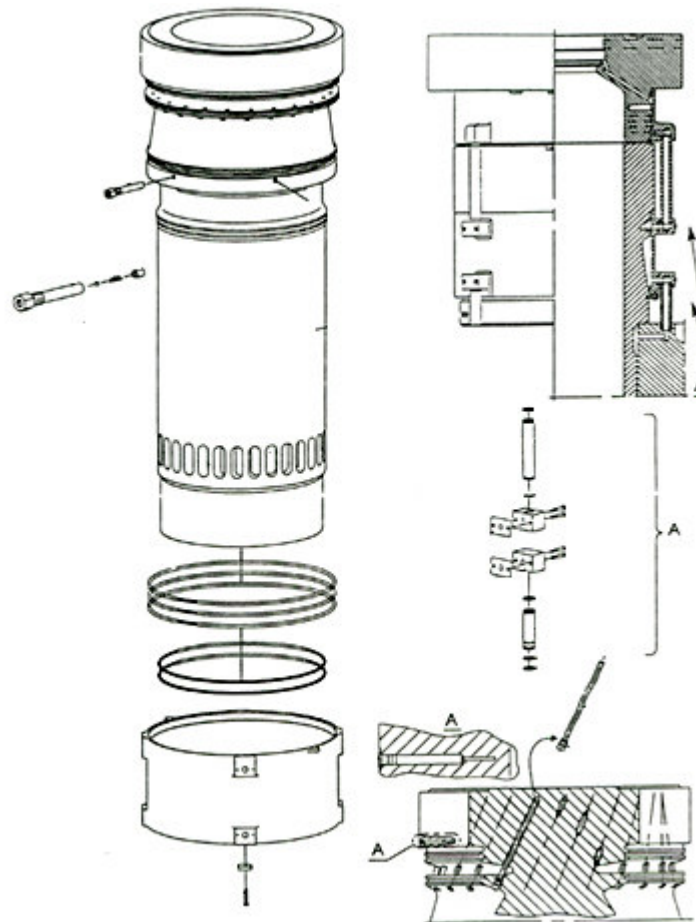


Рисунок 1.3 – Втулка циліндра

Кришка циліндра - сталева лита, ковпачкового типу, зі свердлінням для проходу охолоджуючої води. У кришці розташовані дві форсунки, вихлопний клапан, індикаторний кран і запобіжний клапан. Кришка кріпиться до блоку циліндра за допомогою гідравлічного кільця на шістнадцяти шпильках, що проходять через порожнисту сорочку охолодження верхній частині втулки.

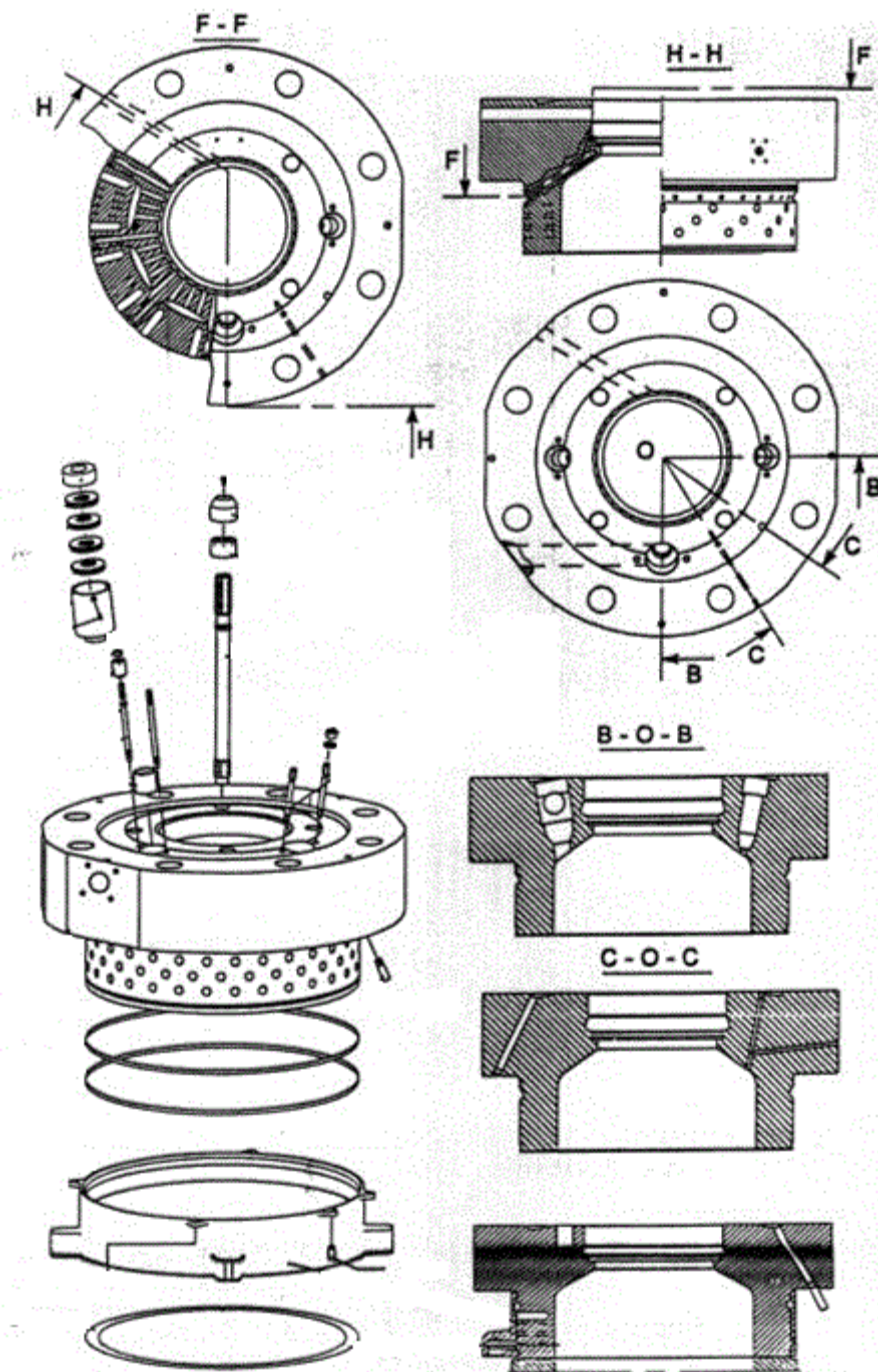


Рисунок 1.4 – Кришка циліндра

Поршень має сталеву головку і укорочену чавунну спідницю. У поршні розміщені 4 компресійних кільця, в спідниці - два красномідних приработочних паска. Поршень охолоджується маслом, яке підводиться і відводиться за допомогою свердління в поперечині крейцкопфа і сталевій трубки усередині штока. Поршень виготовлено із хром-молібденової сталі.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

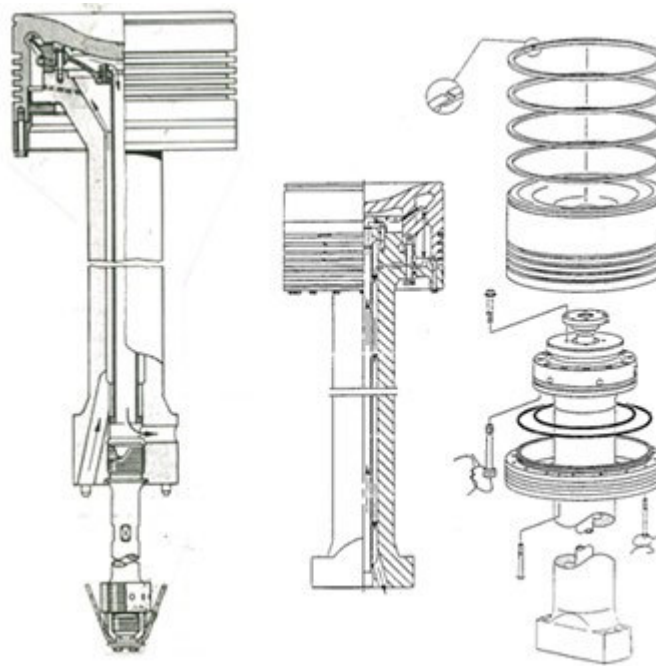


Рисунок 1.5 – Поршень

Крейцкопф - двосторонній, з чотирма повзунами, залитими білим металом. Поперечина сталева кована зі просвердленими каналами для проходу масла. До поперечини кріпиться різьбовим з'єднанням підп'ятник штока поршня, коліно телескопа підведення змащення і зливна труба масла охолодження поршня.

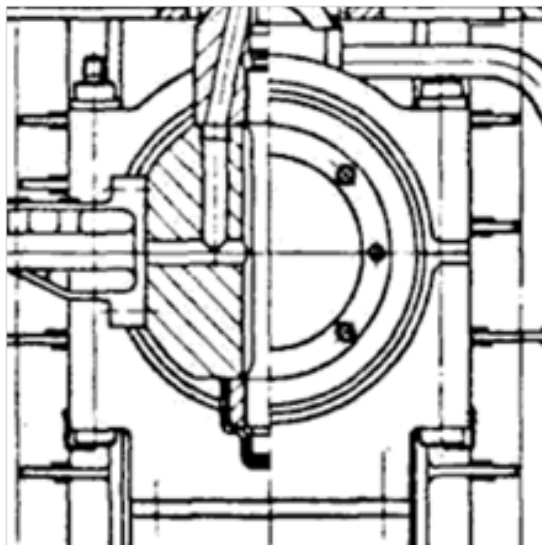


Рисунок 1.6 – Крейцкопф

Шатун виготовляється у вигляді сталеві виливки з наступним куванням і механічною обробкою. Верхня головка - безвильчатого типу, верхня і нижня головки - невід'ємні. Вкладиші головного і мотильового підшипників мають тонкостінні сталеві вкладиші, залиті білим металом. Усередині шатун має свердління для проходу мастила від головного до мотильового підшипника. Шатун має порівняно короткий стрижень, що сприяє зменшенню загальної висоти двигуна.

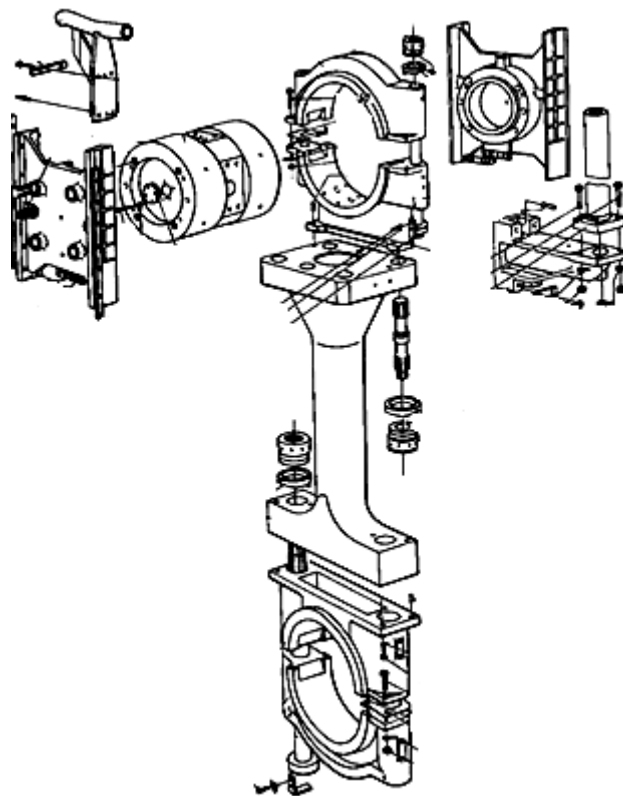


Рисунок 1.7 – Шатун

Колінчастий вал - сталевий полузіставний, кривошипи литі, рамові шийки запресовані. З носа двигуна на валу є поршень демпфера осьових коливань. Тут же насаджена однорядна зірочка для приводу допоміжних валів з урівноважуючими балансирами. З корми двигуна до колінчастого валу кріпиться дворядна зірочка приводу розподільного вала. Упорний гребінь з упорним підшипником розміщений у відсіку приводів.

Розподільний вал приводиться дворядним чотирьохдуюмовим ланцюгом. Дві проміжні зірочки використовуються для розміщення балансирів - таких же, як і з носа двигуна, для урівноваження моментів від сил інерції другого порядку. Від розподільчого валу приводиться валик лубрикатора циліндричної мастила і регулятор частоти обертання.

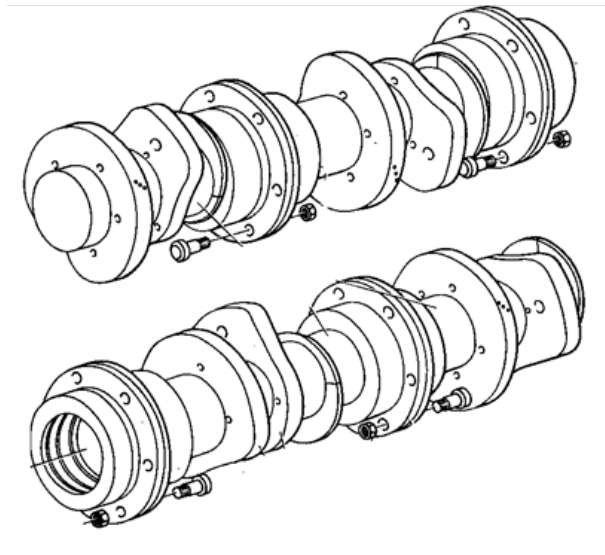


Рисунок 1.8 – Розподільний вал

З кормового торця до розподільчого валу кріпиться валик повітророзподільника. Кулаки паливо і газорозподілу і сполучні фланці ділянок розподільного валу насаджені гарячепрессовою посадкою.

Двигун має загальноприйняту систему пуску, що включає в себе головний пусковий клапан, пускові клапани циліндрів і золотниковий повітророзподільник. При реверсі двигуна реверсують тільки повітророзподільник і штовхачі ПНВТ (за допомогою актуаторів на кожному насосі).

Блок циліндрів зібраний в єдиний моноблок на призонних болтах з окремих литих чавунних блоків. У кожен блок запресована зіставна циліндрова втулка, складаючись з двох частин з роз'ємом вище верхнього рівня блоку циліндра. Обидві частини втулки виробляються з модифікованого чавуну. У верхньому бурті нижній частині втулки просвердлені отвори для восьми штуцерів циліндрової змазки. Верхня

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

частина втулки зовні закрита пустотілою чавунною сорочкою охолодження. В районі камери згоряння втулка має косі свердління для проходу охолоджуючої води. Ущільнення втулки забезпечується: у нижній частині - чотирма гумовими кільцями, у верхній частині в районі сорочки охолодження – двома гумовими кільцями (по одному зверху і знизу сорочки). Ущільнення посадкового місця між втулкою і блоком забезпечується притиранням посадочних місць (без прокладок) між втулкою і кришкою ущільнювальним кільцем з м'якого заліза. Перепуск охолоджуючої води з блоку в сорочку охолодження здійснюється по чотирьом перепускним патрубкам, з сорочки в кришку циліндрів – по таким же перепускним трубкам.

Вихлопний клапан має чавунний литий корпус шпindel з імпеллера для провертання потоком газів, охолоджуване сідло. Охолоджуюча вода по свердлінням в кришці проходить через свердління в сідлі близько від посадкового пояса, потім прямує в порожнину охолодження корпусу клапана і виходить з верхньої точки корпусу в відливну трубу. Посадочні пояски шпинделя і сідла наплавлені стелітом. Відкривається клапан гідравлічним поршнем, закривається пневматичним поршнем. Кріпиться клапан до кришки за допомогою чотирьох шпильок.

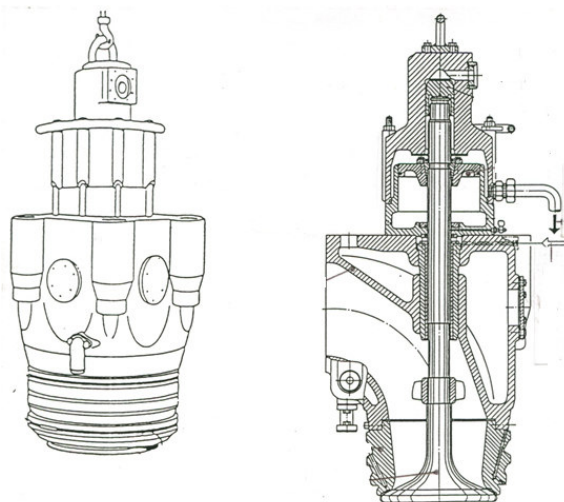


Рисунок 1.9 – Вихлопний клапан

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

Кожен циліндр обладнаний випускним клапаном, розташованим в центрі кришки і кріпиться чотирма шпильками з гайками поворот і затиск, який виробляється гідравлічними гайковертом з певним зусиллям.

Анкерні болти двигуна (шістнадцять одиниць) – сталеві з'єднанні, складаються з двох частин, стягують воєдино блок, станину і фундаментну раму. Гайки анкерних болтів затягуються гідравлічно на 90 МПа.

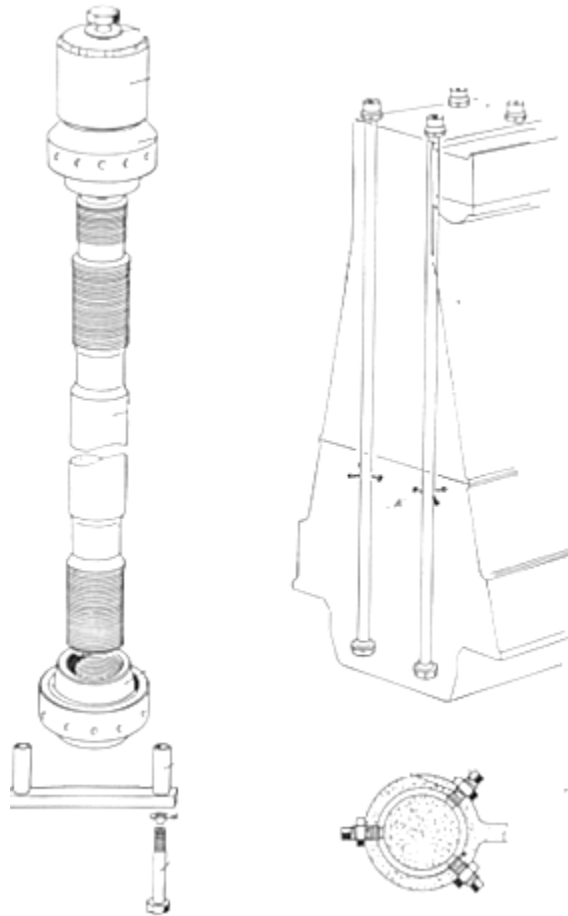


Рисунок 1.10– Анкерні болти

Двигуни модельного ряду МС – перші двигуни компанії *MAN B&W* з прямоточно-клапанною продувкою. Потік повітря рухається вздовж вісі циліндру з чистим витісненням продуктів згоряння без значного перемішування їх з повітрям. Завдяки якісній організації процесу газообміну

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

двигуни з такою схемою продувки мають найменші значення коефіцієнту залишкових газів.

Тангенціальне розташування вікон в плані забезпечують закручення потоків повітря, що поступає в циліндр і їх гвинтоподібний рух від продувних вікон до випускних клапанів. Тангенціальний обертальний рух зберігається до кінця стиснення і сприяють покращенню сумішоутворення.

Завдяки ефекту чистого витіснення газів, якісна очистка циліндрів досягається навіть при незначному коефіцієнту надлишку повітря (1,45...1,55).

Застосування випускних клапанів при створення сучасних МОД дозволяє підбирати найвигідніші фази газорозподілу і керувати ними за допомогою мікропроцесорної техніки на всьому діапазоні робочих навантажень.

Двигун має ізобарну систему наддуву (з постійним тиском). При зменшенні навантаження приблизно до 25% підключають електроповітродувки. Клапанні коробки у повітряному ресивері тут використовують для попередження витрат продувного повітря при роботі двох електроповітродувок, які вмикаються автоматично. Повітряний ресивер не має герметичних перегородок, які відділяють порожнину кожного циліндру, як це було виконано на МОД попереднього покоління при використанні під поршневих порожнин у якості другого ступеня наддува.

Паливна система розрахована на роботу дизеля як на дизельному, так і на важкому паливі. З паливної цистерни паливо підводиться до одного з насосів, який подає паливо під тиском 0,4 МПа до сторони низького тиску паливної системи. Після цього паливо поступає до одного з двох електричних циркуляційних насосів, а від нього через підігрівач, регулятор в'язкості, фільтр і до паливних насосів.

Паливо з цистерни від форсунок і насоса через трубу вторинного палива перепускається назад до сторони всмоктування циркуляційного насосу.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для підтримання постійного тиску в головній магістралі на вході паливних насосів продуктивність і подача циркуляційного насоса перебільшує кількість палива, яке використовує двигун. Крім того, встановлюється підпружинений байпасний клапан, який функціонує як перепускний між входом до ПНВТ і повертанням палива і, таким чином, підтримує постійний тиск у прийомному паливному трубопроводі. Для того, щоб підтримувати рівномірний потік підігрітого палива через паливні насоси, корпуси і форсунки на всіх режимах (включаючи зупинений двигун), на виході з форсунок встановлюється золотник і дросельний отвір.

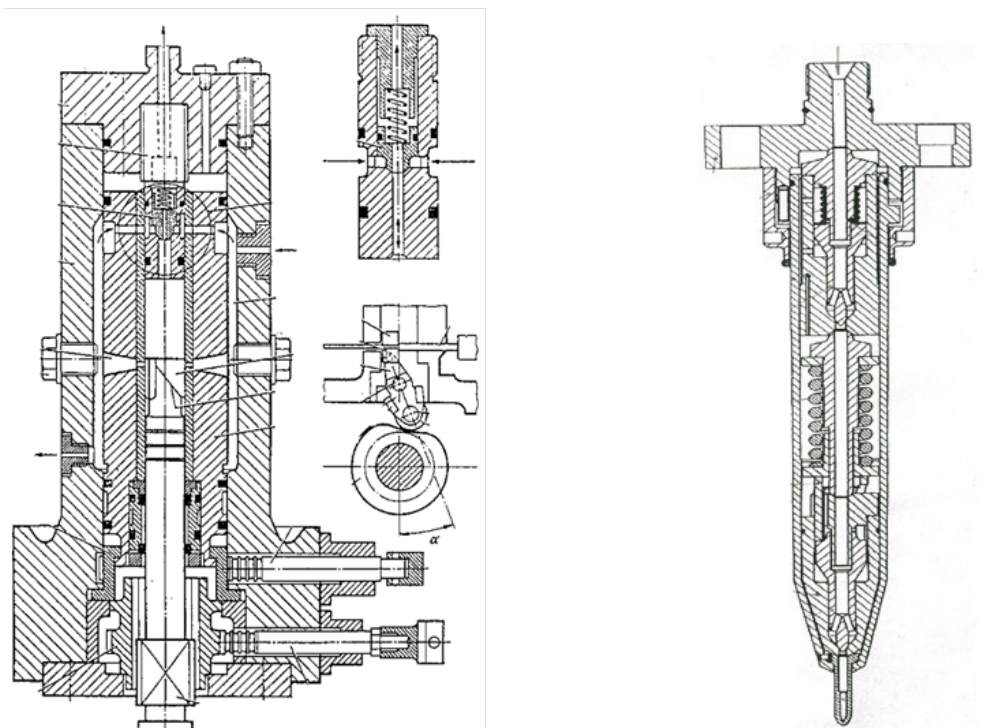


Рисунок 1.11 – ПНВТ та Форсунка

Завдяки «вбудованій» циркуляції підігрітого палива, може підтримуватися робоча температура паливних насосів і форсунок навіть тоді, коли двигун зупинено. Відповідно, немає необхідності переходити на дизельне паливо при заходах в порт, якщо циркуляційний насос продовжує працювати і зберігає підігрів циркулюючого палива. Якщо при довготривалій

зупинці необхідно відключити циркуляційний насос або підігрів, то з паливної системи попередньо треба злити важке паливо.

Система паливоподачі високого тиску має ПНВТ золотникового типу з регулюванням по кінцю подачі і дві голчастих неохолоджуваних форсунки з одностороннім розпилом палива на кожен циліндр. Конструкція паливної апаратури дозволяє працювати на всіх режимах експлуатації тільки на високов'язких залишкових паливах, без використання дизельного палива.

Об'єднана масляна система. Підшипники розподільного вала, а також штовхачі паливних насосів і випускних клапанів, що змащуються від головних масляних насосів. Приводи випускних клапанів отримують масло з головної системи змащувального масла. Для підвищення тиску на вході в приводи випускних клапанів можуть бути передбачені бустерні насоси. Від підшипників, штовхачів і приводів випускних клапанів масло стікає в піддони корпусів підшипників, де підтримується необхідний рівень змащування робочих поверхонь шайб. Звідти масло стікає назад до стічної цистерни.

Системи циркуляційної змазки колінчастого валу і розподільного валу роздільні. Насоси мастила колінчастого вала (дві одиниці) - відцентрового типу, з електроприводом. Мастило подається до двигуна по двом трубам: від нижньої труби – на змазку рамових і упорного підшипників і на відсік приводів, від верхньої – до телескопів на змащення головних, крейцкопфних і мотильових підшипників і на охолодження поршнів. Мастило підшипників розподільного вала та живлення гідравлічної системи відкриття вихлопних клапанів забезпечується автономною системою з двома гвинтовими насосами з електроприводом.

Циліндрова змазка включає в себе лубрикатори з 8 точковим змащенням на кожному циліндрі з подачею масла на кожному ході поршня.

Система заборотної охолоджуючої води. Забортна вода приймається з кінгстона насосом заборотної води. Потік води розділяється на окремі гілки:

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

до охолоджувача масла, охолоджувача прісної води на допоміжні двигуни. Забортна вода згодом знову змішується і поступає до терморегулятора з трьохходовим клапаном і на клапан зливу води за борт. Терморегулятор встановлюється датчиком температури, що встановлений в прийомній трубі заборотної води. Терморегулятор відрегульовано таким чином, щоб вода у прийомному патрубку насоса підтримувалась на рівні вище 10 °С з метою попередження загущення змащувального масла на холодних поверхнях охолодження. Якщо температура на вході падає нижче встановленого рівня, терморегулятор здійснює рециркуляцію води до всмоктуючого трубопроводу насоса заборотної води. В центральній системі водяного охолодження центральний насос охолоджуючої води перекачує прісну воду низькотемпературного контуру (центральну охолоджуючу воду) по контуру охолодження.

В двигун подається **наддувочне повітря** від турбонагнітача, який розташований на стороні випуску. Випускний газ приводить у дію турбіну турбонагнітача, а через загальний вал турбіна приводить компресор. Компресор забирає повітря з машинного відділення через повітряні фільтри. З компресора повітря проходить через трубку наддувочного повітря в охолоджувач. Труба наддувочного повітря з компенсатором ізолювана і покрита всередині матеріалом для зниження рівня шуму. Повітроохолоджувач розроблено так, що він відділяє конденсат від повітря. Повітря нагнітається в ресивер продувочного повітря через блок клапанів, які встановлені внизу ресивера. Блок клапанів має кілька безповоротних клапанів, які відкриваються під тиском повітря від турбонагнітача. З продувочного ресивера повітря надходить в циліндр через продувочні вікна, коли поршень знаходиться у нижньому розташуванні. Коли випускні клапани відкриті, випускний газ нагнітається в загальний колектор випускних газів, звідки газ поступає до турбіни турбонагнітача при постійному тиску.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА

2.1 Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння значно відрізняється від ідеальних циклів. В розрахунковому циклі двигуна внутрішнього згоряння змінюється кількість робочого тіла, його склад і фізичні властивості. Внаслідок кінцевої швидкості згоряння та дисоціації продуктів згоряння прихована в паливі хімічна енергія виділяється не миттєво. В процесі розширення проходять догоряння палива та відновлення дисоційованих газів, з виділенням тепла. В розрахунковому циклі робоче тіло не можна приймати з постійними теплоємкостями, так як температура та склад газів в циліндрі значно змінюються. В розрахунковому циклі також присутні теплові та аеродинамічні втрати.

Крім розрахункового треба розглядати ще дійсний цикл, котрий здійснюється в працюючому двигуні і в теперешній час не може бути точно описаним через недосконалості розрахункових методик та складності процесів, що протікають в ньому. Чим більш досконала методика теплового розрахунку, тим більш ближче розрахунковий цикл до дійсного.

В даному дипломному проекті використовується класична методика теплового розрахунку, розроблена В. І. Гріневецьким і далі вдосконаленого Є. К. Мазінгом. Метод теплового розрахунку заснований на загально відомих положеннях термодинаміки та термохімії, достатньо повно охоплює сутність теплових явищ, що протікають в робочому циліндрі і представляє собою інженерне аналітичне дослідження. На його основі можливо:

- кількісно оцінити ці явища як при проектуванні так і при дослідженні побудованого двигуна;

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- дати уяву про загальні параметри циклу та фактори, що впливають на процеси робочого циклу;
- визначити розрахункові значення параметрів стану робочого тіла в характерних точках розрахункового циклу, а також ефективні показники, що характеризують роботу двигуна в цілому.

В результаті розрахунку буде отримана температура в циліндрі двигуна після процесу стискування та температура згоряння робочих газів. Вказані температури визначають режим роботи впускного та випускного клапанів.

Метод забезпечує достатню задовільну для практики точність розрахунків, не дивлячись на те, що цикл, що проходить в двигуні описується найпростішими термодинамічними процесами і вводиться ряд опитних коефіцієнтів, які оцінюють реальні умови протікання робочих процесів в двигуні.

2.2 Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 293 \text{ K}$.

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

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

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

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

робиться з вибором оптимального значення P_k . З урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha = 2,23$.

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

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначати після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проєктованого. Приймаємо $\xi_z = 0,94$; $\xi_b = 0,97$.

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Ступінь підвищення тиску λ залежить від бистрохідності двигуна, ступеня наддуву, організації процесів сумішоутворення та ряду інших факторів. Приймаємо $\lambda = 1,3$.

Підігрів заряду від стінок циліндру ΔT_a . Приймаємо $\Delta T_a = 15$ К.

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

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

Хімічний склад палива. Розрахунок проводиться на паливо складу [6]:

$C = 0,870$ - кількість вуглецю;

$H = 0,128$ кг - кількість водню;

$S = 0,001$ кг - кількість сірки

$O = 0,002$ кг - кількість кисню.

Нижча теплота згоряння палива Q_n . Приймаємо $Q_n = 42720$ кДж/кг.

Кількість циліндрів i . Згідно даних двигуна - прототипу $i=6$

Діаметр циліндру D . Згідно даних двигуна - прототипу $D=0,20$ м.

Хід поршня S . Згідно даних двигуна - прототипу $S=0,24$ м.

Коефіцієнт тактності z . Для чотирьохтактних двигунів $z=0,5$.

2.3 Розрахунок робочого циклу

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 293 \text{ K}$.

Тиск навколишнього повітря p_0 . В усіх випадках варто приймати $p_0 = 0,1013 \text{ МПа}$ (стандартні атмосферні умови).

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

Коефіцієнт надлишку повітря α . Цей коефіцієнт також залежить від розмірів циліндра і способу сумішоутворення. Приймаємо α дизельного двигуна 2,75.

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

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначати після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектованого. Для цього двигуна коефіцієнти лежать у межах: $\xi_z = 0,8 \dots 0,95$; $\xi_b = 0,82 \dots 0,98$.

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

Механічний ККД двигуна η_m . Механічний ККД оцінює механічні втрати двигуна, являє собою відношення корисної до використаної потужності. Значення механічного ККД двигуна залежить від якості масла, від теплового стану двигуна. Значення ККД для чотирьохтакткових дизельних МОД η_m знаходиться у межах $0,85 \dots 0,95$. Приймаємо $\eta_m = 0,94$.

Зменшення тиску у повітроохолоджувачі $\Delta P_{ох}$. У числовому виразі $\Delta P_{ох} = 0,005 \text{ МПа}$.

Температура залишкових газів T_r . Для двигунів такого типу T_r знаходиться у межах $700 \dots 1200 \text{ K}$. Приймаємо $T_r = 700 \text{ K}$.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Хімічний склад палива. Розрахунок проводиться на дизельне паливо середнього складу: $C = 0,87$ кг – кількість вуглецю;

$H = 0,126$ кг – кількість водню;

$S = 0$ кг – кількість сірки;

$O = 0.004$ кг – кількість кисню.

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

Ступінь підвищення тиску при згорянні P_z/P_c . Приймаємо $P_z/P_c = 1,12$.

Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають увагу на тип двигуна та особливості системи газообміну. Для 4 – тактних двигунів $\zeta = (0,92 \dots 0,99)$. Приймаємо $\zeta = 0,99$.

Відношення тиску перед турбіною до тиску після компресора Ψ_T . У цьому двигуні $\Psi_T = 0,85$.

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

Ступінь підвищення тиску. $P_k = 3,5$.

Адіабатний ККД компресору $\eta_{ад}$. Приймаємо $\eta_{ад} = 0,9$.

Адіабатний ККД турбіни η_{adt} . Приймаємо $\eta_{adt} = 0,85$.

Механічний ККД турбіни η_{mt} . Приймаємо $\eta_{mt} = 0,93$.

Діаметр циліндру: $D = 0,5$ м.

Хід поршня: $S = 1,91$ м.

Частота обертів колінчастого валу: $n = 127$ хв⁻¹.

Число циліндрів: $I = 5$.

Ефективна потужність $N_e = 7150$ кВт.

Розрахунок процесу наповнення

Температура повітря за компресором, К

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,35}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,9} \right] = 431,558$$

Температура повітря перед двигуном, К

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 431,558 - 0,85 \times (431,558 - 293) = 313,784$$

Температура заряду наприкінці процесу наповнення, К

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{313,784 + 10 + 0,02 \times 700}{1 + 0,02} = 331,16$$

Тиск повітря перед двигуном, МПа

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,35 - 0,005 = 0,345$$

Тиск заряду наприкінці процесу наповнення, МПа

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,97 \times 0,406 = 0,335$$

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,335}{0,345} \times \frac{313,784}{331,16} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0,08) = 0,888$$

Розрахунок процесу стиску

У реальному двигуні теплоємність заряду в циліндрі змінюється залежно від температури, тому що, відбувається теплообмін зі стінками циліндра. Так само на характер протікання процесу впливають витік газів через нещільності клапанів і поршневих кілець, дозарядка циліндра до закриття впускного клапана, випару палива, згоряння палива наприкінці стиску. У зв'язку із цим точний термодинамічний опис процесу стиску в реальному двигуні утруднено.

На практиці вважають, що процес стиску відбувається по політропі з показником n_l величина якого забезпечує одержання такої ж роботи в процесі стиску, як і при змінному показнику у дійсному процесі.

При виборі величини n_l , необхідно враховувати наступне: зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала n_l збільшується; при підвищенні середньої температури процесу стиску n_l зменшується; зі зменшенням інтенсивності охолодження двигуна n_l збільшується; зі зменшенням відносини поверхні охолодження до об'єму циліндра n_l збільшується; для дизелів з нерозділеними камерами згоряння $n_l = 1,32 \dots 1,42$, приймаємо в розрахунку:

$$n_l = 1,364$$

Тиск в кінці процесу стиску, МПа

$$P_c = P_a \times \epsilon^{n_l} = 0,335 \times 15^{1,362} = 13,379$$

Температура в кінці процесу стиску, К

$$T_c = T_a \times \epsilon^{n_l-1} = 354,698 \times 15^{1,361-1} = 882,64$$

Розрахунок процесу згоряння

Дійсна кількість повітря для згоряння, кмоль/кг

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,75}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,36$$

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,167} = 1,023$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,023 + 0,02}{1 + 0,02} = 1,023$$

Доля палива, що згоріла в точці z

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

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,023 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,969 = 1,022$$

Максимальна температура згоряння, К

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

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

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

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

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

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,027 + 0,025}{1 + 0,025} = 1,026$$

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Це рівняння розв'язується методом послідовних наближень, для чого у першому наближенні приймаємо $T_z = 1600$ К. Після вирішення декількох рівнянь отримуємо:

$$T_z = 1678,3$$

Максимальний тиск згоряння, МПа

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,2 \times 15,702 = 14,985$$

Розрахунок процесу розширення

Ступінь попереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,022}{1,12} \times \frac{1678,3}{882,64} = 1,742$$

Ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,742} = 8,61$$

Розрахунок параметрів процесу розширення ведеться з умовно постійним показником політропи розширення n_2 . Для дизелів $n_2 = 1,18 \dots 1,3$. Варто пам'ятати, що показник політропи залежить від режиму роботи двигуна, розмірів циліндра, способу охолодження й ряду інших факторів. У всіх випадках, коли збільшується тривалість догорання палива, знижуються відносний теплообмін і витоки газів, n_2 зменшується. Виходячи з вищесказаного прийmemo:

$$n_2 = 1,294$$

Температура в кінці процесу розширення, К

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1678,3 \times \frac{1}{8,61^{1,294-1}} = 891,416$$

Тиск в кінці процесу розширення, МПа

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{18,843}{9,075^{1,284}} = 0,924$$

Визначення індикаторних показників

Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа

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

$$= \frac{13,379}{15 - 1} \times \left[1,2 \times (1,742 - 1) + \frac{1,12 \times 1,742}{1,294 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{9,075^{1,284 - 1}} \right) - \frac{1}{1,362 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,362 - 1}} \right) \right] = 2,12$$

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,12 \times 0,99 \times (1 - 0,08) = 1,931$$

Індикаторна питома витрата пального, кг/(кВт*год)

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_h}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,345 \times 0,888}{2,75 \times 0,495 \times 313,784 \times 1,931} = 0,161$$

Індикаторний ККД

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_h} = \frac{3600}{0,161 \times 42700} = 0,524$$

Визначення ефективних показників

Середній ефективний тиск, МПа

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,931 \times 0,94 = 1,815$$

Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,524 \times 0,94 = 0,493$$

Питома ефективна витрата пального, кг/(кВт*год)

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,161}{0,94} = 0,1712$$

Ефективна потужність двигуна,

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,5^2 \times 1,91 \times 1 \times 1,815 \times 127 \times 5 = 7208,562$$

Порівняння заданої та отриманої потужності двигуна

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{7208,562 - 7150}{7208,562} = 0,814\%$$

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

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

Витрата повітря через компресор, кг/с

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

$$G = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times S_c \times \left(\frac{P_s \times 10^6}{R \times T_s} \right) \times \eta_i \times i \times z \times \left(\frac{n}{60} \right) \times \phi_a =$$
$$= \frac{3,14 \times 0,5^2}{4} \times 1,91 \times \frac{0,345 \times 10^6}{287 \times 313,784} \times 0,888 \times 5 \times 1 \times \frac{127}{60} \times 1,15 = 15,531$$

Витрата газів через турбіну, кг/с

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 15,531 + 0,171 \times \frac{7208,652}{3600} = 15,874$$

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тиск газу перед турбіною, МПа

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,805 \times 0,35 = 0,297$$

Температура газу перед турбіною, К

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 891,416 \times \left(\frac{0,297}{0,984} \right)^{\frac{1,294-1}{1,294}} = 689,042$$

Загальна кількість продуктів згоряння, кмоль

$$M_s = \left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{H}{2} \right) + [0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0] + (0,79 \times \alpha \times L_0) =$$
$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,75 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,75 \times 0,495) = 1,393$$

Універсальна газова стала для відпрацьованих газів, кДж/кг*К

$$R_t = \frac{1}{\frac{C}{12 \times M_s \times 189} + \frac{H}{2 \times M_s \times 461,6} + \frac{0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0}{M_s \times 259,8} + \frac{0,79 \times \alpha \times L_0}{M_s \times 296,8}} =$$
$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,393 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,393 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,75 - 1) \times 0,495}{1,393 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,75 \times 0,495}{1,393 \times 259,8}} = 287,557$$

Показник адіабати розширення газу в турбіні

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 689,042) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 689,042} = 1,383$$

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Дійсна ступінь підвищення тиску в компресорі

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

$$= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,383}{1,383 - 1} \right) \times 287,557 \times 689,042 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,291}{0,101} \right)^{\frac{1,383 - 1}{1,383}}} \right] \times 0,93 \times 0,8 \times 15,874}{15,531 \times 287 \times 293 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,09}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,486$$

Дійсний тиск надуву, МПа

$$P_{kd} = P_k \times P_0 = 3,486 \times 0,101 = 0,353$$

Порівняння заданого та отриманого тиску надуву

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,353 - 0,35}{0,353} = 0,167\%$$

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

2.4 Розрахунок теплового балансу двигуна

У суднових двигунах внутрішнього згоряння в ефективну роботу перетворюється 38 ... 54 % теплоти, що виділяється при згорянні палива. Інше складають теплові втрати . З них частина теплоти виходить відпрацьованими газами, частина - безпосередньо через елементи двигуна (деталі циліндро-поршневої групи, клапани, газовипускні патрубки, охолоджувані деталі турбокомпресора) передається в систему охолодження (воду і масло), деяка частка теплоти шляхом складних перетворень (наприклад , перетворення частини теплоти в механічну роботу тертя у вузлах двигуна з подальшим переходом її знову в теплову) також надходить в систему охолодження. Частина теплоти повертається в цикл з повітрям, що подається від турбокомпресора. Рівняння теплового балансу:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Gamma} + Q_W + Q_M + Q_{H.B} + Q_{Ne}$$

де Q_{Σ} - теплота згоряння введенного у циліндр палива, кВт;

Q_{Γ} - теплота випускних газів, кВт;

Q_{Ne} - теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна, кВт;

Q_W - теплота, яка відводиться від двигуна охолоджуючою водою, кВт;

Q_M - теплота, яка відводиться від двигуна мастилом, кВт;

$Q_{H.B.}$ – теплота неврахованих втрат, кВт.

1. Визначимо загальну кількість теплоти (теплову потужність циклу), що виділяється у циліндрі:

$$Q_{\Sigma} = \frac{Ne}{\eta_e} = \frac{7150}{0,49} = 14060,69 \text{ кВт}$$

2. Визначимо кількість теплоти, що відходить з відхідними газами (теплову потужність потоку відхідних газів):

$$Q_{Go} = G_G C_{pG} (T_{зг} - T_o) = 16,89 \times 1038,38 \times (498 - 293) = 3934,43 \text{ кВт},$$

де ізобарна теплоємність газів обчислюється згідно з рівнянням Майера:

$$C_{pG} = \frac{K_G}{K_G - 1} \times R_G = \frac{1,383}{1,383 - 1} \times 287,564 = 1038,38 \text{ Дж/кг} \times \text{К}$$

Температура газів за турбіною приймається згідно вимогам ІМО
 $T_{зг} = 225 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для уточнення теплового розрахунку потрібно відняти витрати на підігрів повітря унаслідок стиснення в турбокомпресорі до температури за охолоджувачем повітря:

$$Q_{п} = G_{п} \times C_{pп} \times (T_{онв} - T_o) = 16,56 \times 1000 \times (338 - 293) = 546,33 \text{ кВт},$$

$$Q_G = Q_{Go} - Q_{п} = 3934,43 - 546,33 = 3388,10 \text{ кВт}$$

3. Кількість теплоти, що надходить у воду внаслідок охолодження надувочного повітря $Q_{п} = 2720 \text{ кВт}$ (данні надано фірмою-виробником).

4. Кількість теплоти, що надходить у воду (теплова потужність потоку теплоти, що надходить у воду) наведена у довідкових даних $Q_W = 960 \text{ кВт}$.

5. Кількість теплоти, що надходить у масло (теплову потужність потоку теплоти у масло) також беремо з довідкових даних $Q_M = 550 \text{ кВт}$

Таким чином, ми отримали усі основні складові теплового балансу. Записуємо це рівняння з усіма складовими для його перевірки:

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Gamma} + Q_{ОНВ} + Q_{W} + Q_{M} + Q_{H.Б.} + Ne = 3388,10 + 2720 + 960 + 550 + 707 + 7150 = \\ = 14060,99 \text{ кВт.}$$

Розбіжність у рівнянні загального балансу теплоти (приблизне значення нев'язки балансу: $Q_{H.Б.} = 707$ кВт, що складає 5 % і відповідає точності надання даних фірмою-виробником.

Теплова потужність вторинних енергоресурсів (вихлопних газів, надувочного повітря, охолоджуючої води та масла) складає

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Gamma} + Q_{ОНВ} + Q_{W} + Q_{M}e = 3388,10 + 2720 + 960 + 550 = 7618,1 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ

3.1 Огляд робочої поверхні та визначення дефектів втулок циліндрів

Робочі поверхні втулок оглядають для своєчасного виявлення тріщин, натирів, задирів, раковин, напрацювань і т.п. Оперативними способами контролю є огляди зсередини картера та через вікна з підпоршневих порожнин і продувочного ресивера (для двотактних дизелів).

Огляд через вікна починають, коли поршень знаходиться в нижній мертвій точці і стає доступною верхня робоча поверхня втулки (рис. 2.1, а). Після проходження поршнем продувних вікон оглядають нижню частину втулки (рисунок 3.1, б).

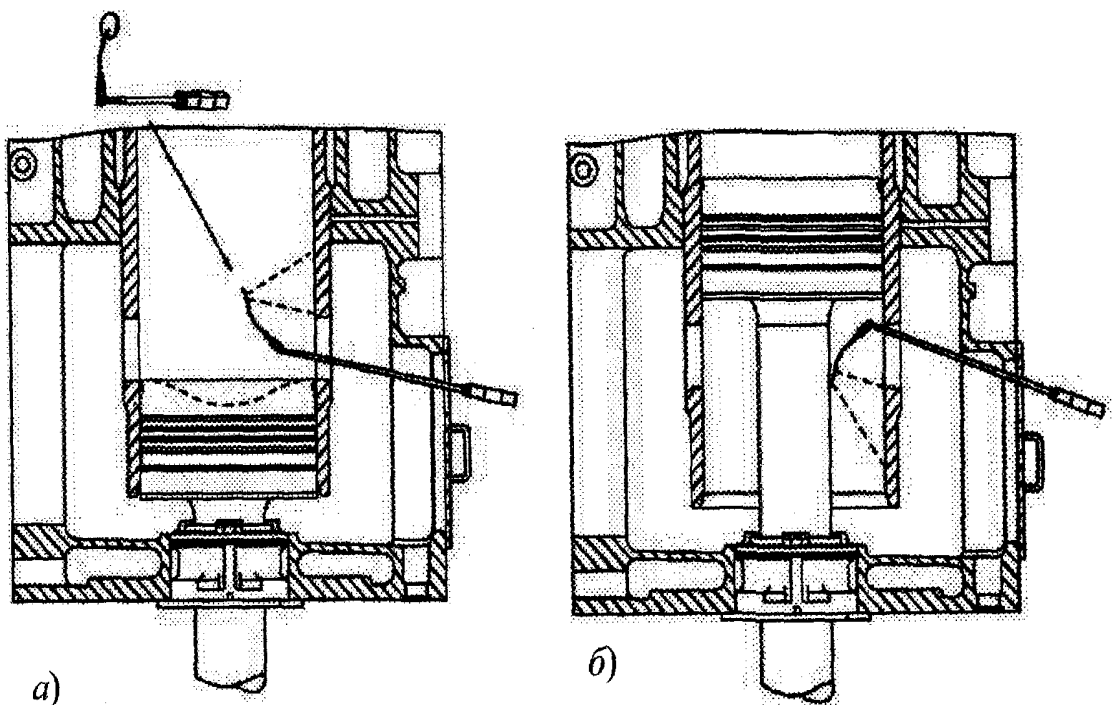


Рисунок 3.1 – Схеми огляду втулки циліндра

При огляді використовують дзеркало на телескопічному стрижні, потужну лампу на штоку для освітлення, ендоскопи. В останні роки застосовують цифрову фототехніку - знімають різні ділянки робочої поверхні втулки циліндра і розглядають уважно їх стан на комп'ютері (рисунок 3.2).

Ретельно робочу поверхню втулки циліндра оглядають при кожному розбиранні циліндра для своєчасного виявлення тріщин, натирів, задирів, раковин, напрацювань і т.п. (рис 3.3). При необхідності використовують оптичні збільшувачі (лупи і т.п.).

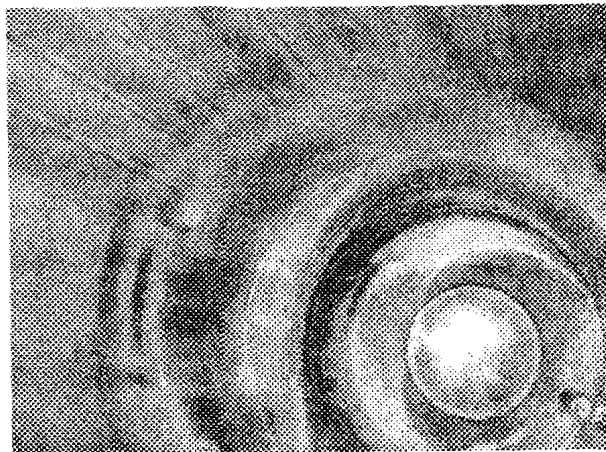


Рисунок 3.2 - Огляд втулки циліндра через вікна

Місця можливого розташування тріщин показані на рисунку 3.4. Тріщини 1 в районі випускних і продувних вікон виникають при пожежах в ресивері, заклинюванні поршня. Тріщини 2 виникають при порушеннях режиму охолодження. Спостерігаються в сучасних дизелях MAN B&W. Їх зовнішній вигляд показаний на рис. 3.4. Вони також можуть виникати при подачі холодного пускового повітря на гарячі поверхні. Тріщини 3 виникають через втомні напруження матеріалу втулки і характерні для дизелів Sulzer типу RD. Тріщини 4 в районі установки масляних штуцерів виникають через місцевий перегрів втулки при прориві газів через ущільнення штуцерів.

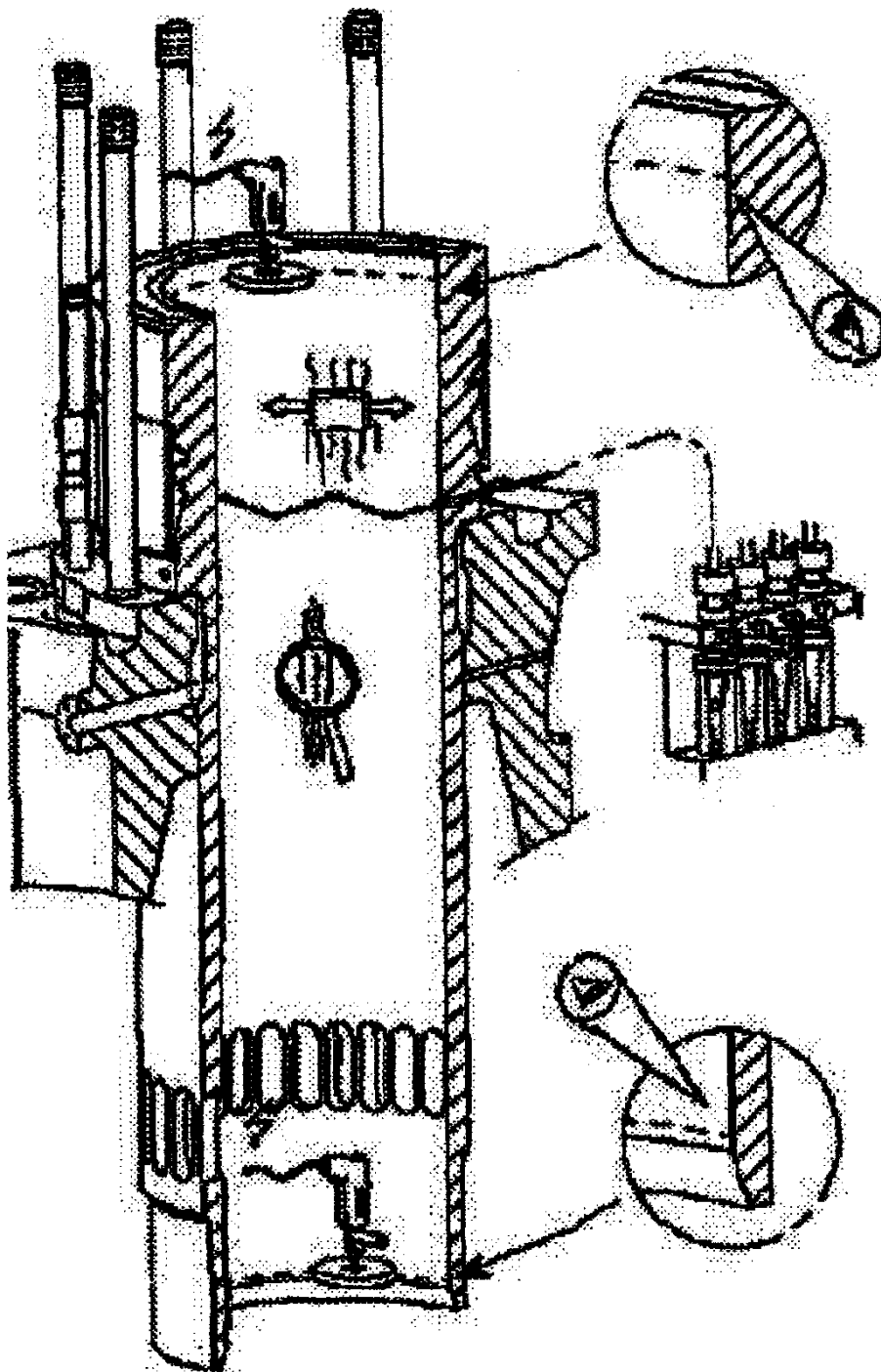


Рисунок 3.3 - Огляд та обробка робочої поверхні втулки

Тріщини 5 виникають при заклинювання поршня і порушенні геометрії (втопленні) перемичок, а тріщини 6 - при швидкому навантаженні двигуна, або при різкому охолодженні при скидуванні навантаження. Тріщини 7 виникають під опорним буртом і по мірі розвитку можуть виходити на робочу поверхню.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ

Аркуш

38

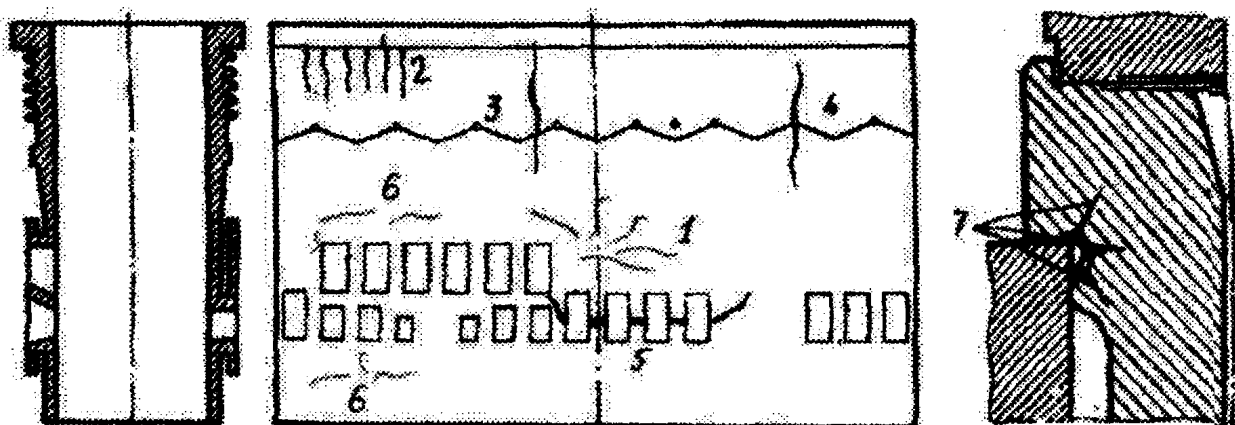


Рисунок 3.4 - Місця розташування тріщин на втулках циліндрів

Натирами робочої поверхні втулки є блискучі ділянки (рисунок 3.5). Вони характеризують початкову стадію її інтенсивного зносу. У більш важких випадках процес захоплює значні площі поверхневих шарів деталей, що труться. Через підвищене тертя поверхня кілець і втулки нагрівається і структурно змінюється. Пов'язано це з тим, що при високих температурах чавун, з якого виготовляють втулки, вибілюється. Виникаючі так звані "білі шари" мають в 4-5 разів вищу твердість, ніж основний метал, і набагато більшу крихкість

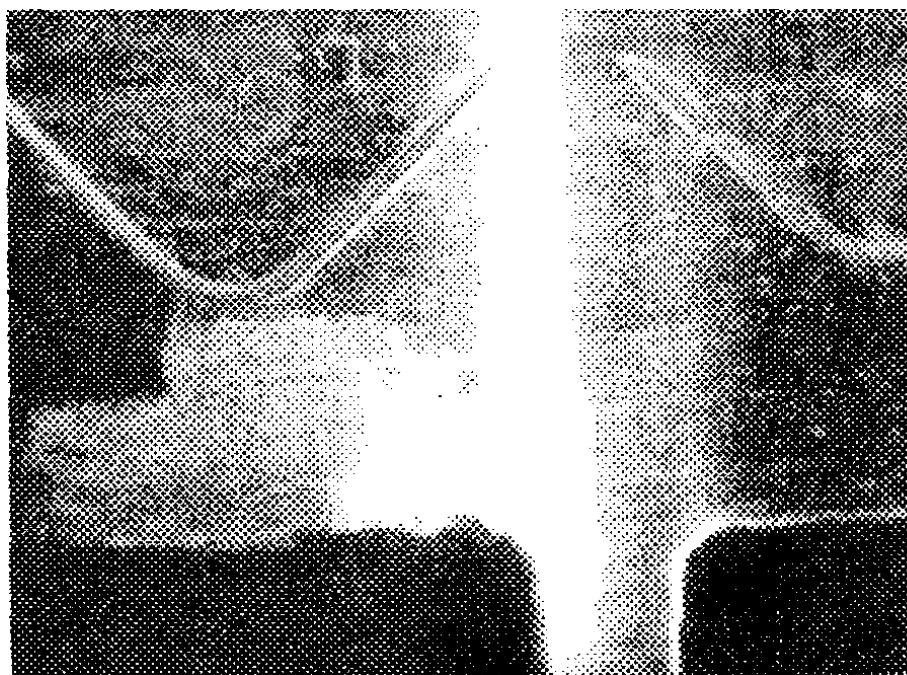


Рисунок 3.5 - Натири на дзеркалі циліндра

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ

Аркуш

39

При терті "білі шари" надають абразивну дію, сприяючи збільшенню мікрозадіров. При цьому поршневі кільця втрачають бочкообразну форму профілю, на крайках з'являються тверді і гострі задирки, які зчищають масло з поверхні втулки, що сприяє подальшому розвитку схоплювання на великих площах тертя, утворення нових "білих шарів" і різкого підвищення інтенсивності зносу циліндро-поршневої групи.

Невеликі натири (загальною площею до 50 см² і глибиною до 0,2 мм залишають без виведення, як і окремі риси глибиною до 0,5 мм і довжиною не більше 100 мм, але з обов'язковим притуплюванням гострих кромek. Великі ушкодження (рис. 2.6) обдирають вручну шліфувальним каменем (для великих дизелів - грубозернистим) або наждачним промасленим папером тільки в поперечному напрямку або хрестоподібно. Таким способом видаляють ділянки високої твердості (глянцевідні поверхні). Одночасно відновлюють "хонинговальну" сітку, яка створює сприятливі умови для змащення. Після зачистки перевіряють чистоту отворів для змащення циліндрів і при необхідності прочищають їх доступним способом.



Рисунок 3.6 - Задири робочої поверхні втулки циліндра

Хонінгувальна сітка створюється при виготовленні втулок циліндрів. Після остаточного розточення втулки з невеликим припуском її дзеркало (що має високий клас чистоти) додатково обробляють абразивними брусками - хонингується. В результаті на ньому утворюється видима для очей сітка найтонших перехресних спіральних рисок (рисунок 3.6). Тому дзеркало нової втулки на вигляд матове. Ці ризики покращують змащування, утримуючу здатність дзеркала і приработку циліндропоршневої групи.

На втулках сучасних двотактних дизелів виробництва MAN B&W, Sulzer замість хонінгвальної сітки наносять кільцеві канавки. У міру зношування хонінгувальна сітка стирається, часто залишаючись в окремих місцях (рис. 3.7). В останні роки провідні заводи-виробники рекомендують повністю відновлювати хонінгвальну сітку (особливо на тронкових дизелях) після кожної заміни поршневих кілець, навіть якщо відсутні задири. З огляду на трудомісткість цієї роботи при виконанні її вручну, використовують спеціальні хонінгувальні пристосування. Вони дозволяють виконати цю роботу на місці, без демонтажу втулки.

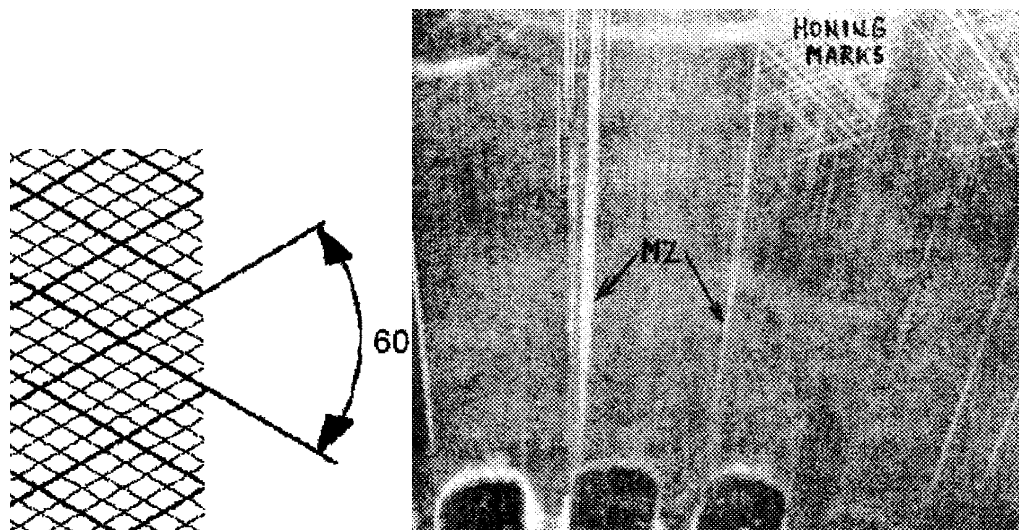


Рисунок 3.7 - Сліди хонінгвальної сітки

Для невеликих дизелів хонінгвальні пристосування являють собою набір дрібних брусків, закріплених на тонких нитках. Його вводять у втулку

циліндра і з певною швидкістю обертання і поздовжньою подачею обробляють її робочу поверхню. Для великих дизелів застосовують більш складні хонінгувальні пристосування. Привід і контроль роботи пристосування здійснюється за допомогою стиснутого повітря. При хонінгуванні робоча поверхня втулки охолоджується змазуючою рідиною. Вона, разом з абразивними частинками, через лійку збирається в стічній ємності.

При роботі поршневих кілець робоча поверхня втулок циліндрів зношується. У районі верхнього поршневого кільця при знаходженні поршня в ВМТ на границі зношеної і незношеної поверхні втулки циліндра утворюється уступ, званий "напрацювання" (рис. 3.8). Якщо опорний бурт втулки або блоку притирався або проточувався (для видалення наклепів, зносів), то втулка в блоці просяде і виявиться ближче до колінчастого валу. Значить, поршень в ВМТ займе у втулці більш високе положення і верхнє поршневе кільце виявиться вище напрацювання. При ударі кільця по ньому можливий відкол перемички під поршневою канавкою і поломка кільця.

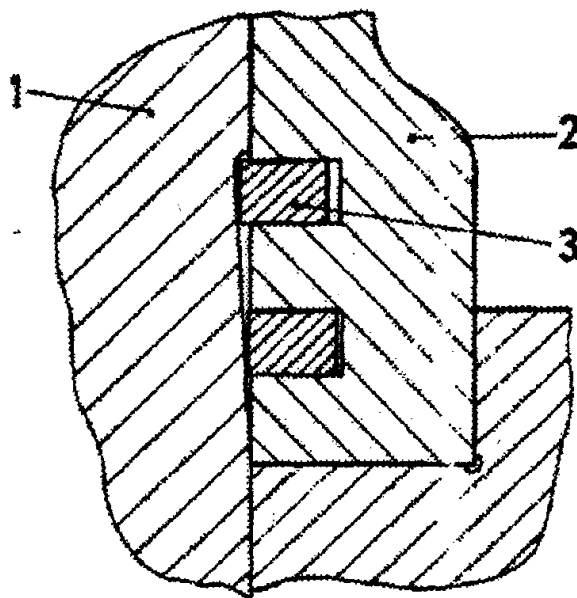


Рисунок 3.8 - Утворення напрацювання 1 - втулка циліндра; 2 - поршень; 3 - кільце поршневе

Аналогічне напрацювання утворюється в нижній частині втулки в районі нижнього поршневого кільця при положенні поршня у НМТ. Якщо ліжка нижньої головки шатуна розточуються (з попередніми торцюванням роз'ємів) відстань між її віссю і віссю верхньої головки зменшиться. Значить, поршень в НМТ у втулці буде нижче. Це також може викликати відкол перемички над нижнім кільцем і поломку кільця. Тому наявність зазначених уступів контролюють на дотик або за допомогою лінійки і щупа.

Для виміру верхнього уступу прикладають до неробочої поверхні втулки (вище нього) паралельно лінійку і заміряють під нею зазор. Аналогічно вимірюють нижній уступ, прикладаючи лінійку нижче нього.

Напрацювання повинно бути обов'язково видалене шабруванням або шліфуванням наждаковим каменем. Для полегшення роботи зазвичай використовують ручні машинки з електро- або пневмоприводом.

При цьому слід захищати робочу поверхню втулки від можливих ушкоджень при необережності. Один з варіантів такого захисту, коли розміщують на денце поршня захисний диск на 3-5 мм менше діаметру втулки циліндра 1. Зовнішню його поверхню, що сполучається з втулкою, ущільнюють піноподібною пастою, пластичним мастилом. Обертають колінчастий вал, поки диск не займе положення, трохи нижче уступу на втулці циліндра. Остаточне його положення регулюють болтами. При необхідності диск розклинюють. При відсутності такого пристосування рекомендується встановлювати у втулці нижче уступу старе поршневе кільце.

Приклад видалення напрацювання на втулці циліндра шліфувальною машинкою показаний на рис. 2.9. У двотактних дизелів з петлевою або контурною продувкою контролюють геометрію перемичок між випускними вікнами. Вони повинні мати поглиблення (уступ) з плавним переходом до робочої поверхні. При роботі ці місця відчують великі теплові навантаження, нагріваються, розширюються, порівнюючи з робочою поверхнею втулки. В процесі зношування робочої поверхні величина

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поглиблення зменшується, утворюється валик, який збільшує тертя поршня об втулку і може привести до задиру поверхонь. Тому наявність уступу контролюють по лінійці і щупу і при необхідності відновлюють шабруванням з плавним переходом до робочої поверхні втулки.

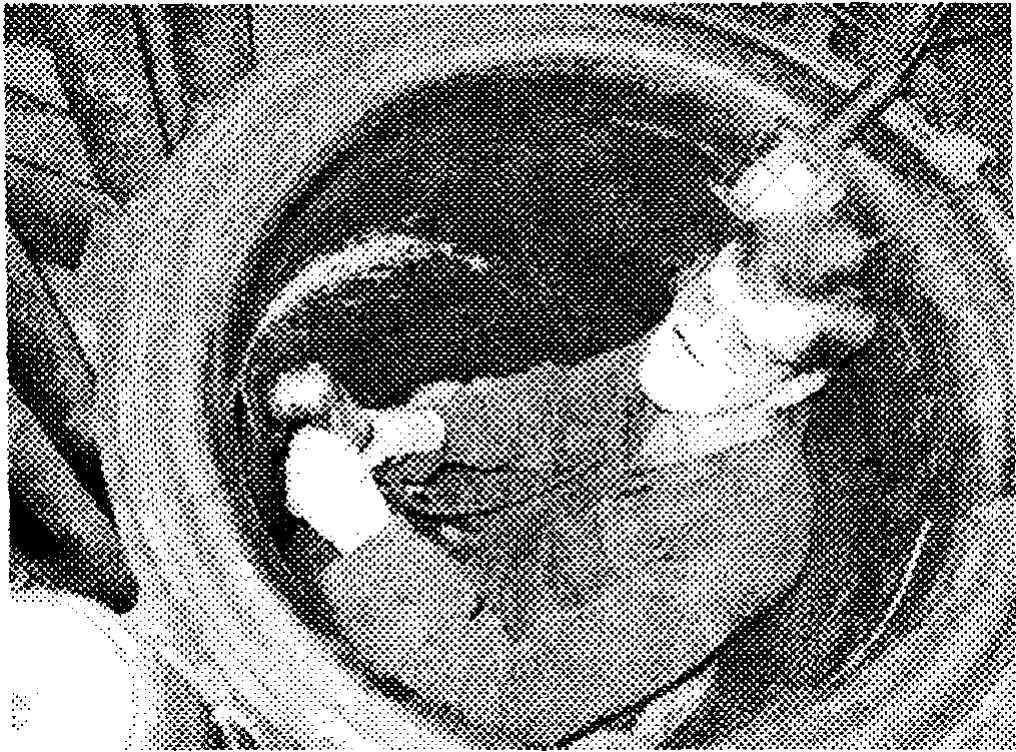


Рисунок 3.9 - Видалення напрацювання на втулці циліндра шліфувальною машинкою

Також через зношування робочої поверхні кромки випускних і продувних вікон загострюються, що погіршує проходження кілець, може привести до їх поломок. Тому гострі кромки вікон заокруглені, дотримуючись рекомендації заводу-виготовлювача.

Після обробки дзеркала втулки ретельно очищають канали підведення мастила. Після установки втулки в блок прокачуванням лубрикаторів перевіряють надходження масла на всі точки змащення.

3.2 Технічне використання, обслуговування та ремонт деталей поршневої групи

3.2.1 Демонтаж поршня

1. Опустіть крейцкопф вниз настільки, щоб забезпечити доступ до сальника штока поршня, кріпильних болтів штока поршня і телескопічної труби, рис. 3.10 а.

2. Звільніть сальник зняттям внутрішніх болтів зі стопорними пристроями від фланця сальника, рис. 3.10 б.

3. Віддайте болти штока поршня рис. 3.10 в.

Встановіть дві прокладки на нижній частині штока поршня для захисту нижнього маслосборного кільця і центрування сальника.

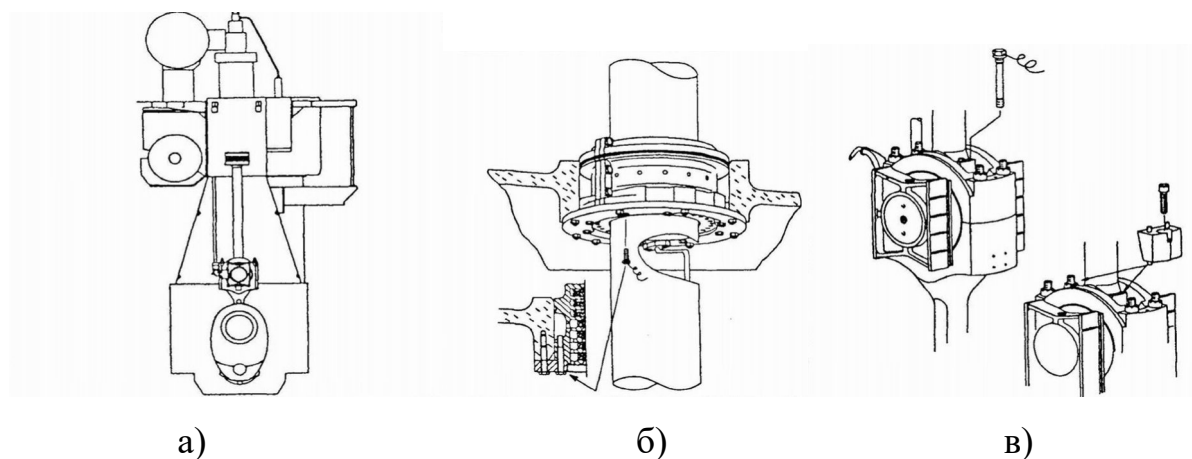


Рисунок 3.10 – Підготовка до демонтажу поршня

4. Зніміть кришку циліндра, рис. 3.11 а.

Ретельно зачистіть всі нерівності від зносу в верхній частині втулки циліндра за допомогою ручного шліфувального круга.

5. Відпустіть і зніміть чотири болта кріплення телескопічної труби до коліна, рис. 3.11 б.

Зніміть один болт з корпусу сальника і встановіть спеціальне пристосування для підвішування телескопічної труби.

Поверніть крейцкопф в ВМТ, перевіряючи при цьому, щоб напрямні штифти прокладок входили в отвори сальника.

Підвісьте телескопічну трубу з прокладками, нагвинтивши гайку на спеціальну шпильку.

При обертанні вниз видалить проставочну трубу з коліна.

Увага! При демонтажі поршня ні в якому разі не провертати двигун, не демонтувавши телескопічну трубу з крейцкопфа.

6. Верхня частина поршня тепер поза втулкою циліндра. Зніміть одну або дві шпильки кришки циліндра. Почистіть верхню канавку головки поршня і встановіть підйомне пристосування так, щоб два «кріпильних» шипа пристосування увійшли в канавку для підйому поршня, рис. 3.11 в.

Встановіть третій шип, який регулює пристосування, в канавку поршня і затягніть його до упору в пристосування.

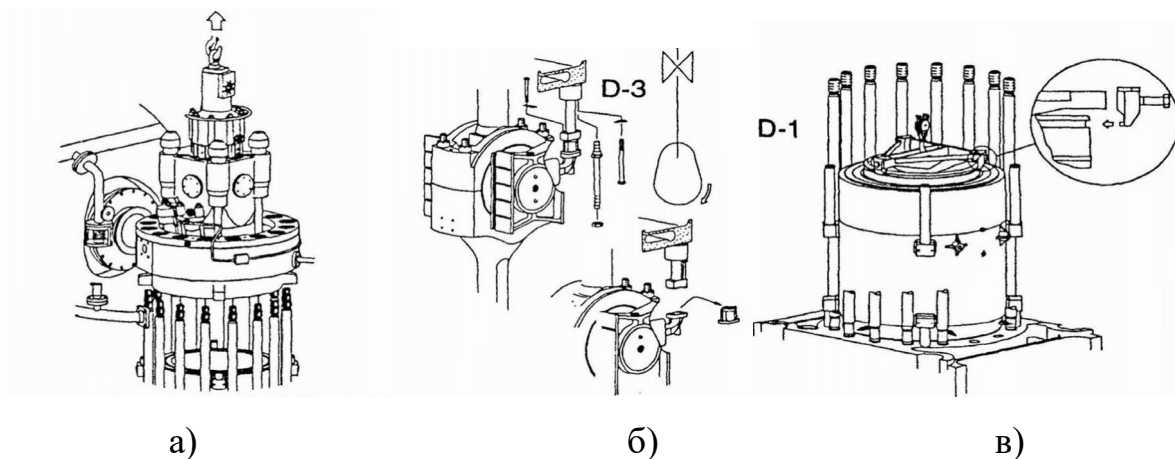


Рисунок 3.11 – Установка підйомного пристосування для демонтажу поршня

7. Підніміть поршень з сальником вгору і опустіть його на опору, розміщену заздалегідь над одним з отворів майданчика обслуговування, рис. 2.12 а.

8. Закрийте кришкою отвір для сальника штока поршня в днищі блоку циліндрів, рис. 3.12 б.

Очистіть втулку циліндра, зробіть її обмір.

9. Опустіть крейцкопф так, щоб забезпечити можливість монтажу захисного щитка на кришці підшипника крейцкопфа, рис. 3.12 в.

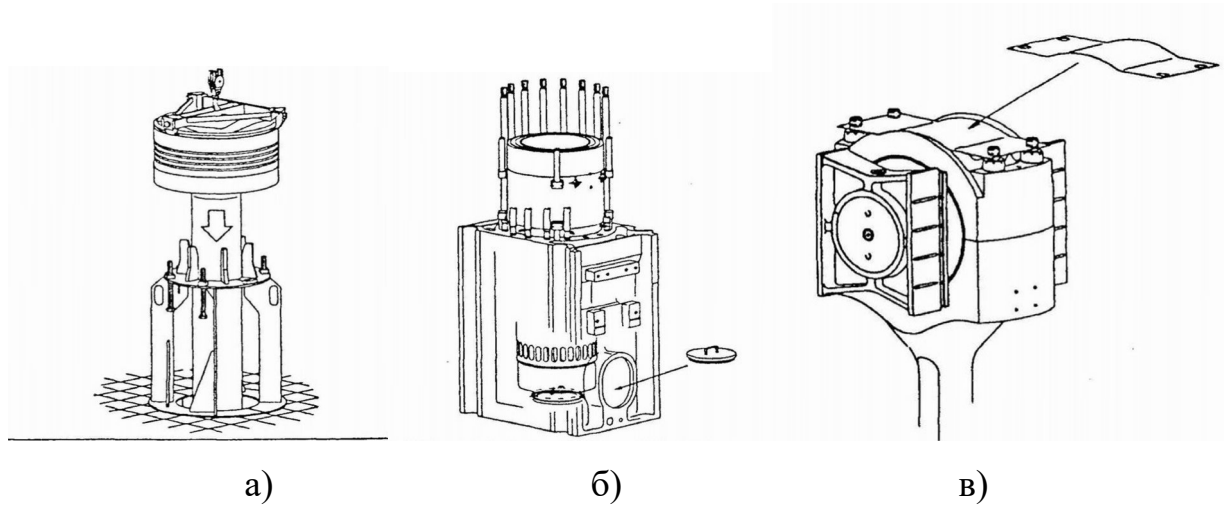


Рисунок 3.12 – Демонтаж поршня

3.2.2 Монтаж поршня

1. Встановіть поршневі кільця (поперемінно з правими і лівими замками) так, щоб замки кілець були розташовані через 180° , рис. 3.13 а.

Нанесіть шар масла на поршневі кільця і втулку циліндра.

2. Встановіть підйомне пристосування на голівці поршня, рис. 3.13 б.

3. Забезпечте правильне розміщення сальника над напрямними штифтами в прокладках, встановлених на нижній частині штока поршня, рис. 2.13 в. Нанесіть шар масла на ущільнювальні О-кільця сальника.

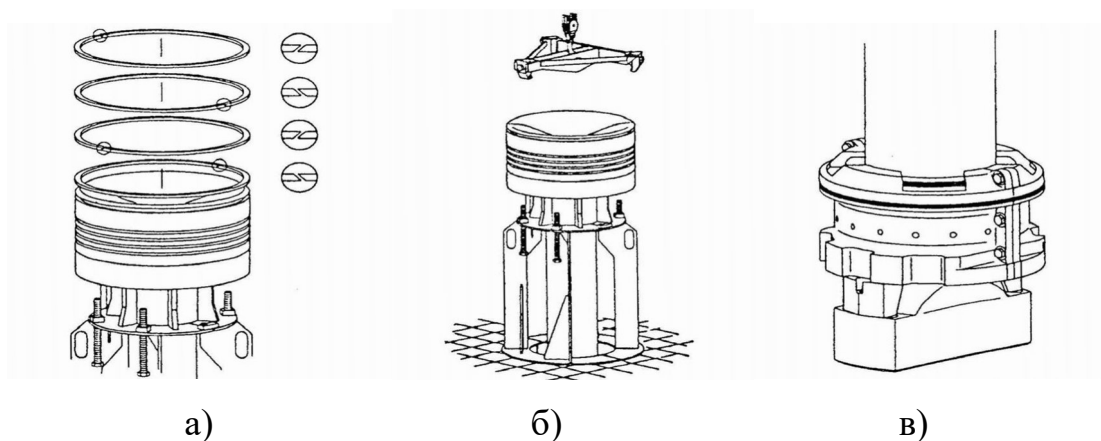


Рисунок 3.13 – Підготовка до монтажу поршня

4. Зніміть захисний щиток з кришки підшипника крейцкопфа , рис. 3.14

а.

Зніміть кришку з отвору для сальника штока поршня в днище блоку циліндра.

5. Поверніть крейцкопф в положення 45° від ВМТ, рис. 3.14 б.

Встановіть напрямне кільце для поршневих кілець на втулці циліндра.

6. Опустіть поршень у втулку циліндра, направляючи нижню частину штока поршня через виріз у фланці сальника – до того як поршневі кільця не увійдуть всередину втулки, що відповідає відстані 30 мм між підйомним пристроєм і спрямовуючим кільцем, рис. 3.14 в.

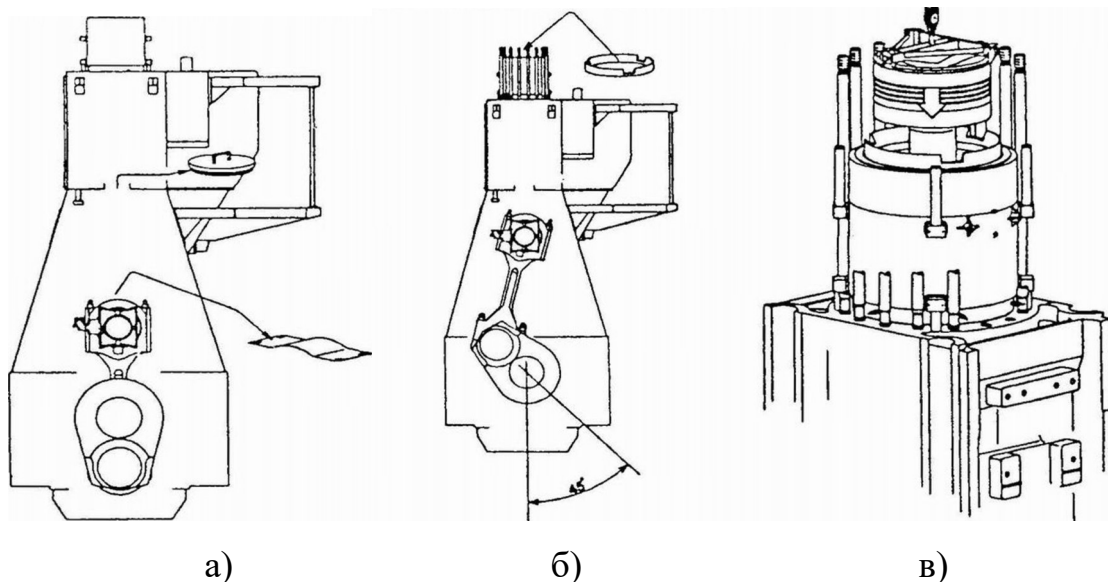


Рисунок 3.14 – Установка поршня у втулку циліндра

7. Встановіть проставочну трубку на коліні, рис. 3.15 а. Поверніть крейцкопф в ВМТ, перевіряючи, щоб напрямне кільце крейцкопфа увійшло в центральний отвір штока поршня.

8. Після установки поршня в ВМТ відверніть знімний шип підйомного пристрою і звільніть підйомне пристосування з канавки для підйому поршня, рис. 3.15 б.

Зніміть підйомне пристосування і напрямне кільце для поршневих кілець. Зніміть висить телескопічну трубу і помістіть її на проставочну трубу. Зніміть підйомні пристрої телескопічною труби.

9. Опустіть крейцкопф зі штоком поршня і телескопічною трубою вниз так, щоб було можливе затягування болтів телескопічної труби. Видаліть проставки з підстави штока поршня. Встановіть і затягніть болти штока поршня, рис. 3.15 в.

Застопоріть їх стопорним дротом. Стопорний дріт слід встановити так, щоб дріт натягувався при повороті болта вліво.

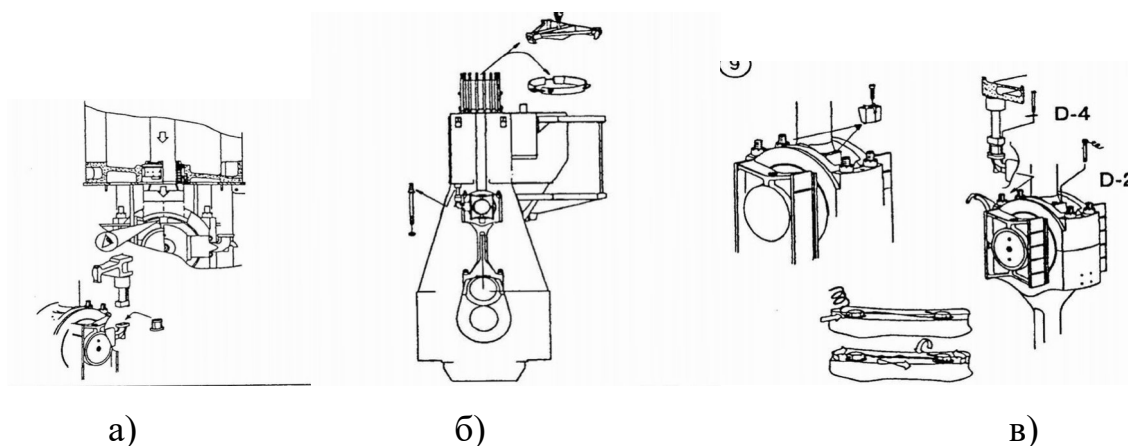


Рисунок 3.15 – Монтаж штоку поршня

10. Затягніть вниз сальник штока поршня болтами через внутрішні отвори у фланці сальника і застопоріть їх стопорній дротом, рис. 3.16 а.

Встановіть стопорну дріт так, щоб обидві частини натягалися при повороті болта вліво.

11. Встановіть шпильки кришки циліндра за допомогою пристрою для установки шпильок. Ретельно перевірте, чи поверхні навколо встановлених шпильок очищені і заповніть належним чином їх кінці перматексом 3, рис. 2.16 б.

12. Змастіть шток поршня дисульфідом молибдену, потім поверніть колінчатий вал на декілька обертів.

Встановіть кришку циліндра , рис. 3.16 в.

13. Заведіть двигун і дайте йому попрацювати близько 15 хвилин при дуже малій частоті обертання.

Потім зупиніть двигун і огляньте шток поршня і сальник.

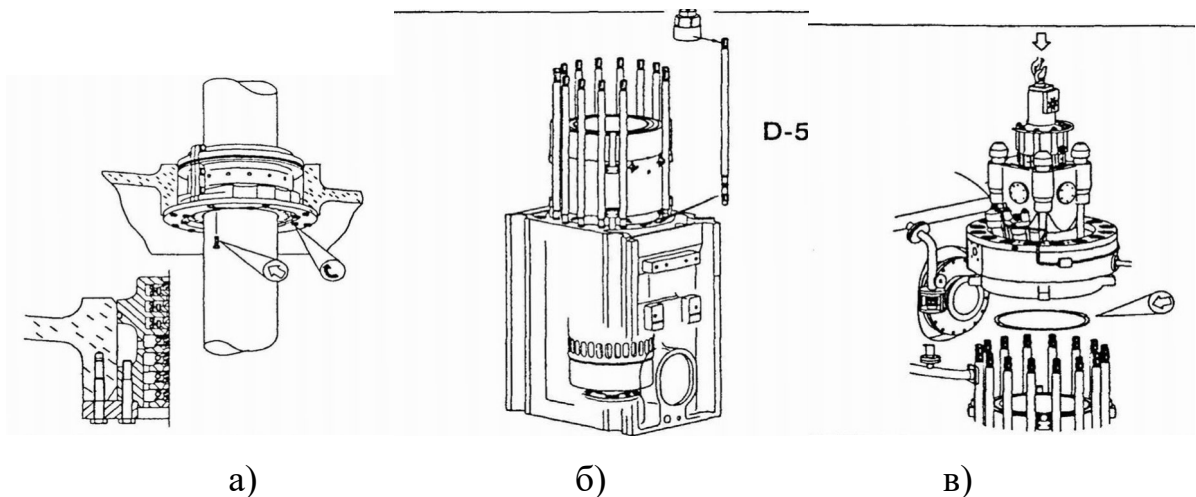


Рисунок 3.16 – Монтаж сальника штока поршню та кришки циліндра

2.2.3 Нахил поршня

1. Зніміть одну або дві шпильки кришки циліндрів.

Підніміть поршень так, щоб забезпечити достатній простір над шпильками кришки циліндра. Встановіть хомут на штоку поршня так, щоб розпірки хомута упиралися в поршень , рис. 3.17 а.

2. Додайте опорні пристосування на шпильках кришки циліндра і опустіть поршень так, щоб хомут ліг на пристосування, рис. 3.17 б.

Зніміть підйомне пристосування з поршня. Зачепіть поперечину краном і прикріпіть її до хомута для нахилу поршня.

3. Підніміть поршень на максимальну висоту, що забезпечується краном. Переміщайте кран поперек судна, одночасно нахиляючи поршень.

При нахилі стежте, щоб шток поршня не торкався втулки циліндра і шпильок, рис. 3.17 в.

4. Якщо дозволяють габарити по висоті, поверніть поршень у вертикальне положення і підведіть його до отвору майданчика для перебирання поршня.

Коли поршень знаходиться на потрібній висоті над отвором майданчика, розташуйте опору поршня навколо штока і хомута. Тепер опустіть поршень, направляючи опору до отвору майданчика.

Після опускання поршня із забезпеченням його правильної установки на опорі, зніміть пристосування для його нахилу. На двигунах з вкрай малою висотою підйому використовуйте здвоєний кран для машинних відділень замість поперечки.

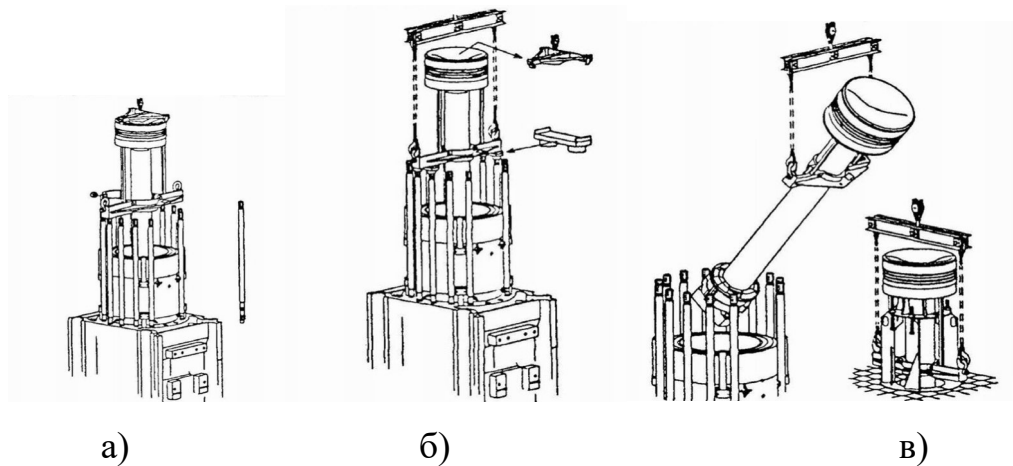


Рисунок 3.17 – Нахил поршня

3.2.4 Перевірка поршня і поршневих кілець

Заходи безпеки. Двигун повинен бути зупинений. Заблокуйте пусковий механізм. Перекрийте подачу пускового повітря. Увімкніть валоповоротний механізм. Перекрийте охолоджуючу воду. Перекрийте подачу палива. Перекрийте подачу мастила. Застопоріть ротори турбонагнітачів.

1. Перевірте наявність заїдання або руйнування поршневих кілець.
2. Зніміть поршневі кільця за допомогою спеціального пристосування і заміряйте радіальну ширину D-2.

3. Заміряйте зазор в замку поршневого кільця D-3, рис. 3.18.

Під час виміру вставте поршневі кільця або в нову втулку циліндра, або в нижню частину бувшої у вживанні втулки циліндра.

4. Очистіть головку поршня і перевірте наявність прогорання за допомогою шаблону, що показує максимально допустиме прогорання, див. D-4, рис. 2.18. Перевірте наявність прогорання по всьому колу головки поршня.

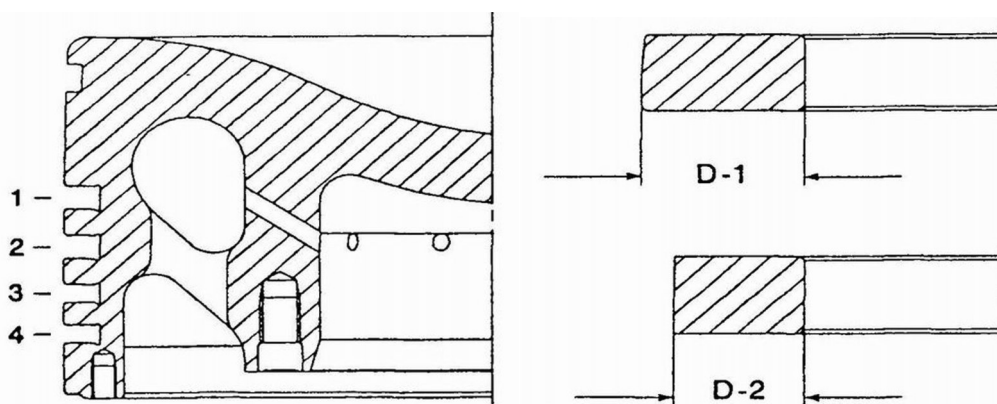
5. Очистіть кепи і перевірте їх на наявність обгорання або інших деформацій. Заміряйте кепи за допомогою індикатора з круговою шкалою або калібру.

6. Встановіть поршневі кільця (по черзі з правим і лівим замками і з зазорами, розташованими через 180° відносно один одного і з позначкою «верх» зверху) за допомогою спеціального пристосування. Це пристосування запобігає ненавмисній деформації кілець.

7. Зношені кільця слід замінювати, якщо радіальна ширина D -2 менше 17 мм. Нове поршневі кільця D-1 = 20 мм. Зношені поршневі кільця D-2=17 мм.

8. Проведіть перевірку зазору кільця в новому циліндрі або в нижній частині колишньої у вживанні втулки. Мінімальний зазор кільця D-3 = 4 мм.

9. Максимально допустимий прогорання верхньої поверхні поршня D-4 = 8 мм.



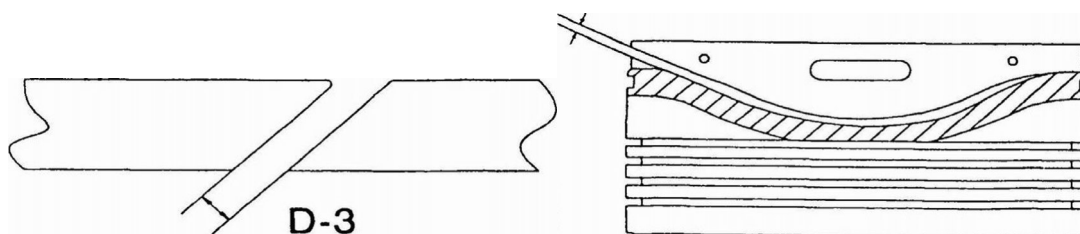


Рисунок 3.18 – Контрольні розміри поршня

10. Максимальна вертикальна висота в зношеному кепі D-5 не повинна перевищувати:

- кепи №1 і №2 = 14,7 мм
- кепи №3 і №4 = 11,7 мм

Кеп є також зношеним, якщо в ньому немає шару хрому.

11. Вертикальний зазор, нового поршневого кільця і нового або відновленого кепу D-6 = 0,40-0,45 мм.

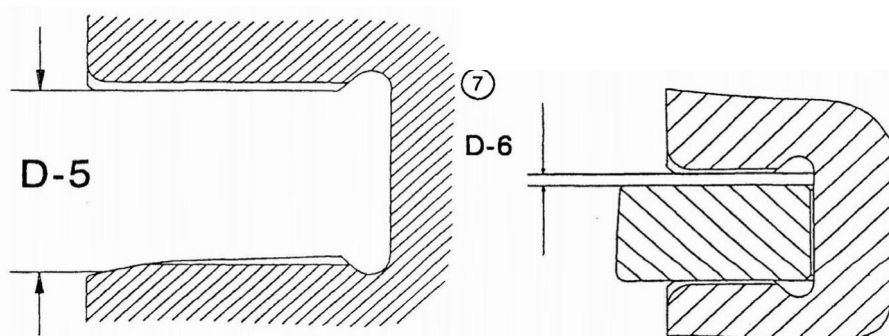


Рисунок 3.19 – Контрольні розміри та зазор кепу

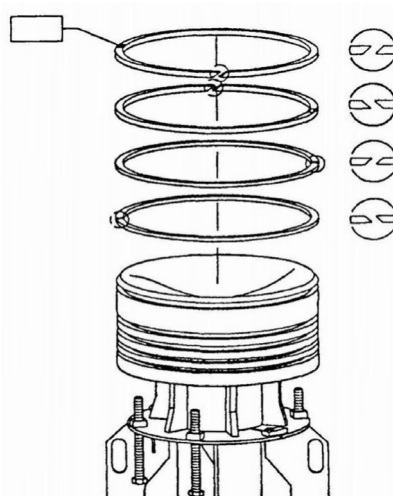


Рисунок 3.20 – Розташування замків кільця

3.2.5 Заміна ущільнювального кільця

1. Помістіть ущільнювальні О-кільця на майданчик над отвором для опори, рис. 3.21 а.

2. Опустіть поршень так, щоб сальник був нижче майданчика, рис. 2.21 б.

Підніміть ущільнювальні О-кільця і встановіть опору.

Помістіть ущільнювальні О-кільця на опору.

3. Віддайте болти з спідниці - якщо спідниця не буде зрушуватися, опустіть її за допомогою двох демонтажних болтів, рис. 3.21 в.

4. Тепер вкручувати чотири болта в опору до тих пір, поки спідниця не ляже на опору.

Замініть старі кільця ущільнювачів.

Встановіть нові кільця і покрийте тонким шаром мастила.

5. Проведіть установку в зворотному порядку - підійміть спідницю за допомогою чотирьох болтів на опорі.

Покрийте болти сумішшю масла і графіту і встановіть стопорні шайби.

6. Випробуйте поршень під тиском.

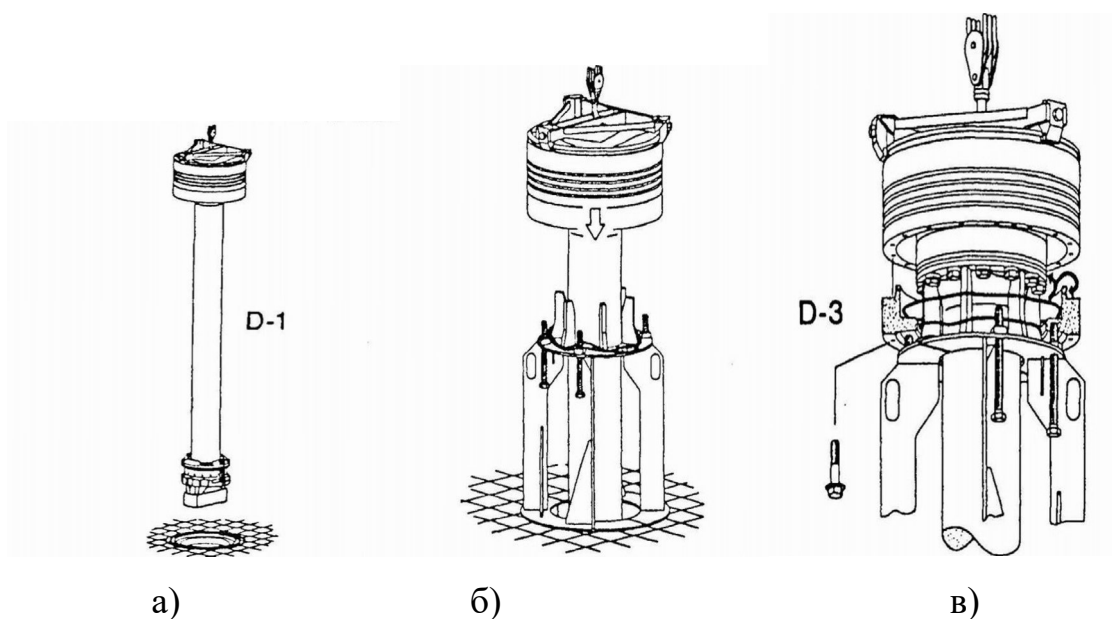


Рисунок 3.21 – Заміна ущільнювального кільця

2.2.6 Заміна труби охолоджувального масла

1. Встановіть підйомне пристосування на поршні, рис. 3.22 а.

Зніміть стопорний дріт і внутрішні болти кріплення штока до голівки поршня.

Підніміть головку поршня - якщо її важко зрушити, підійміть її за допомогою чотирьох болтів на опорі.

2. Зніміть болти фланця труби охолоджувального масла.

Встановіть ремболти і підійміть трубу охолоджуючого масла, рис. 2.22 б.

3. Проведіть монтаж в зворотному порядку

4. Перед монтажем головки поршня встановіть на штоку поршня нові ущільнювальні кільця, злегка змащені маслом.

5. Покрийте болти сумішшю масла і графіту.

6. Стопорний дріт повинен бути встановлений так, щоб дріт був натягнутий, якщо один з болтів ослаблений, рис. 3.22 в.

7. Випробуйте поршень під тиском.

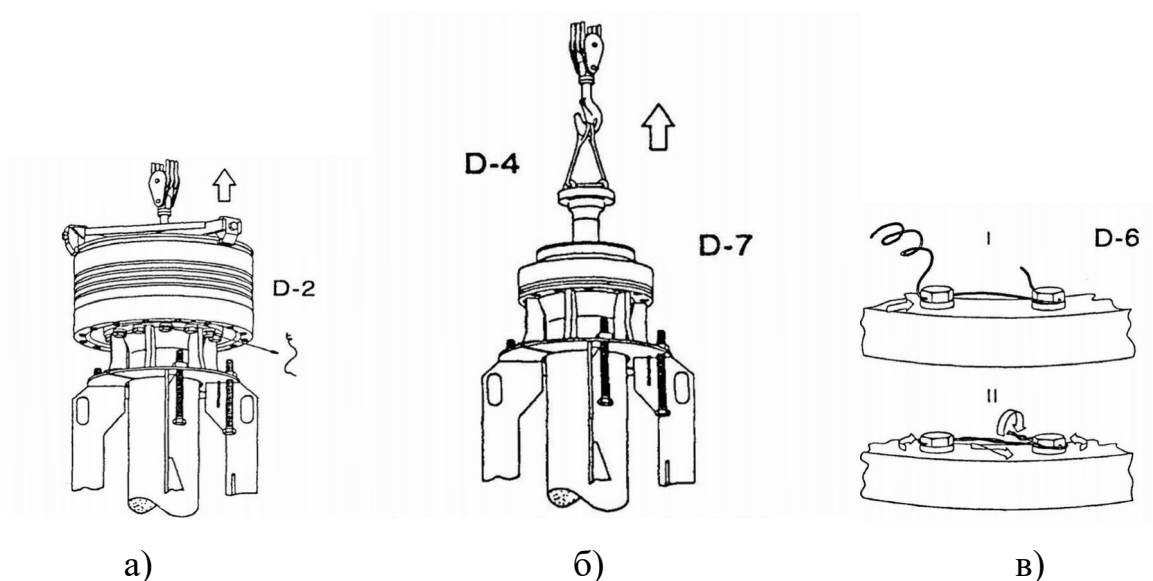


Рисунок 3.22 – Заміна труби охолоджувального масла

3.2.7 Заміна головки поршня і випробування під тиском

Нахил поршня повинен проводитися тільки із змонтованим сальником штока поршня.

1. Під час підвішування поршня в зборі на підйомному пристрої встановіть хомут так, щоб розпирки хомута торкалися поршня. Опустіть поршень так, щоб хомут ліг на майданчик, рис. 3.23 а.

Зніміть підйомні пристосування з верхньої частини головки поршня. Зачепіть кран машинного відділення за поперечину для підйому, а ланцюг поперечки для підйому за скоби хомута.

2. Підніміть поршень, нахиліть його в горизонтальному положенні і в такому положенні опустіть його на пару дерев'яних брусків, рис. 3.22 б.

Зніміть поперечину для підйому і ланцюги з хомута.

Прикріпіть підйомне пристосування для випробування під тиском до п'яти (основи) штока поршня.

Зачепіть краном підйомне пристосування.

Підніміть поршень з дерев'яних брусків. Потім пересуньте сальник штока поршня до торкання з хомутом.

3. Встановіть поршень у вертикальне положення так, щоб головка поршня лежала на дерев'яних брусках, рис. 3.22 в.

Зніміть стопорний дріт і внутрішні болти між штоком і голівкою поршня і, коли ці болти видалені, підійміть шток поршня і опустіть його в горизонтальному положенні на пару дерев'яних брусків.

4. Зніміть болти з спідниці і встановіть два рим-болта в отвори під демонтажні болти. Тепер спідниця може бути піднята і опущена на пару дерев'яних брусків, рис. 3.24.

Тепер можна очистити внутрішні порожнини головки поршня, або замінити її новою.

Перед складанням головки поршня і штока поршня встановіть напрямні болти в головку.

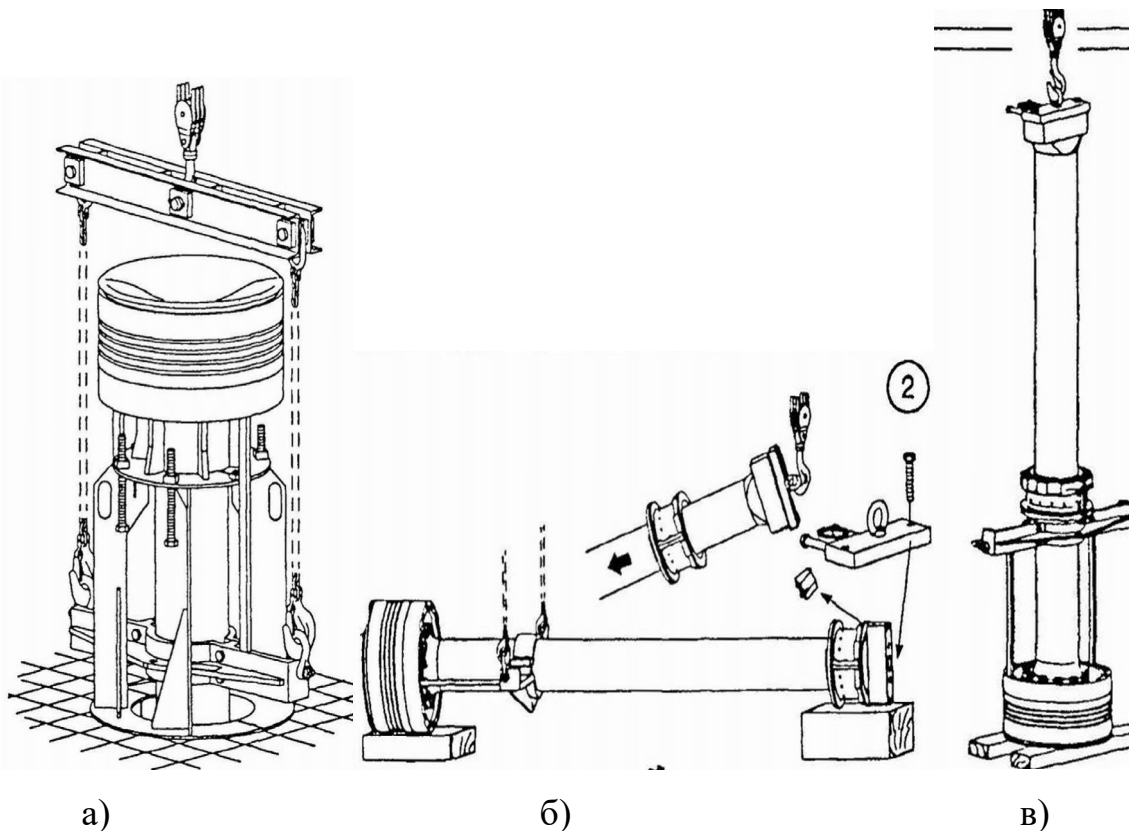


Рисунок 3.23 – Підготовка поршня до випробування під тиском

5. Монтаж виконується в зворотному порядку, але перед монтажем встановіть нові ущільнювальні кільця, злегка змащені маслом.

Стопорний дріт повинен бути встановлена так, щоб дріт був натягнутий, якщо один з болтів ослаблений.

6. Віддайте підйомне пристосування для випробування під тиском і заповніть поршень і шток поршня мастилом.

Прикріпіть підйомне пристосування для випробування під тиском до п'яти штока поршня.

Випробуйте поршень тиском.

Перевірте щільність контактних поверхонь поршня і кілець ущільнювачів.

Перевірте головку поршня на наявність можливих тріщин.

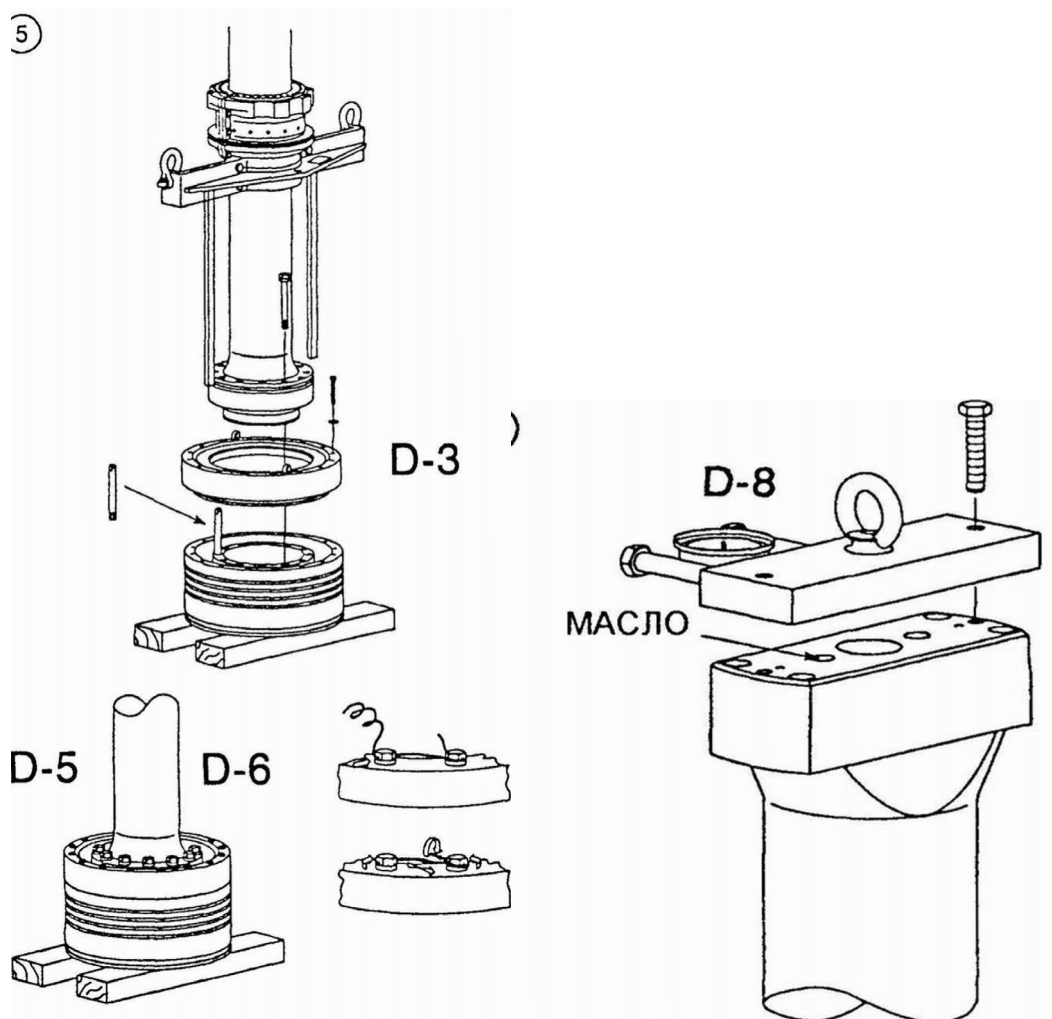


Рисунок 3.24 – Демонтаж спідниці поршня

3.3 Технічне використання, обслуговування та ремонт втулки циліндра

3.3.1 Огляд і обмір втулки циліндра

1. Зніміть кришку циліндра і поршень.

Очистіть втулку циліндра і продувні вікна.

2. Встановіть пристосування для обміру втулки циліндра. Обмір втулки циліндра виконується у місцях, зазначених на пристосуванні для обміру, рис. 2.25. Проведіть вимірювання в поздовжньому і поперечному напрямках судна.

3. Перевірте стан втулки циліндра і визначте її стан.

Ретельно зачистите все подряпини або ризики (або гребінь зносу в нижній частині) на робочій поверхні втулки циліндра за допомогою шліфувального каменю.

Перевірте точки змащення циліндра ручним прокачуванням циліндрового масла до кожної окремої точки змащення. Очистіть всі засмічені канали масла. Встановіть поршень і кришку циліндра.

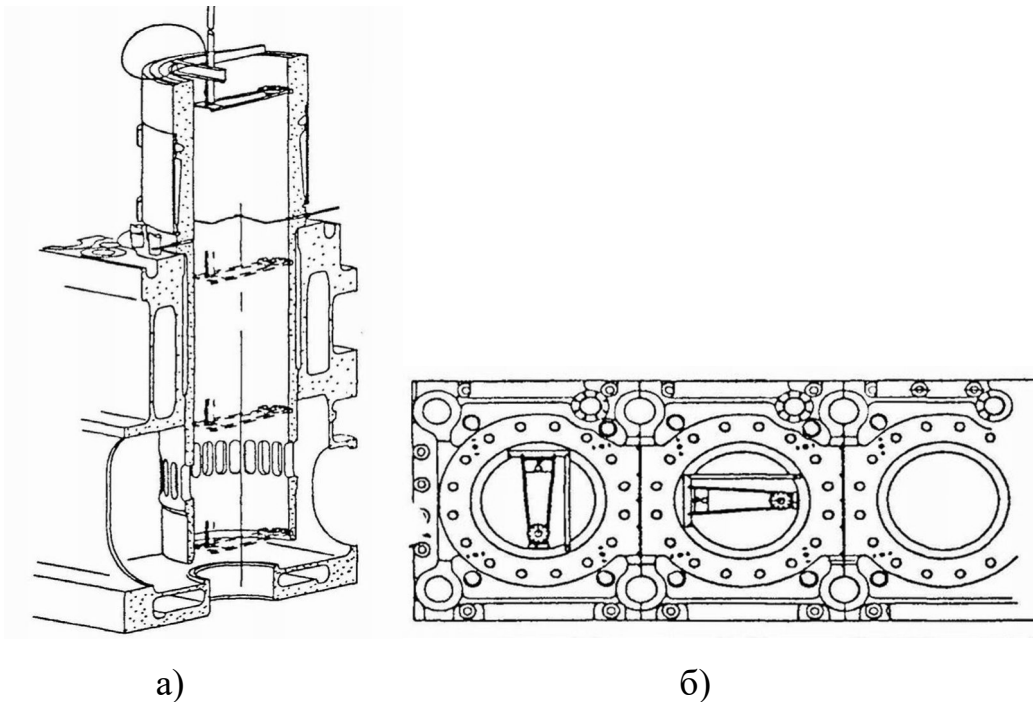


Рисунок 3.25 – Обмір втулки циліндра

3.3.2 Заміна втулки циліндра

1. Зніміть кришку циліндра.

Зніміть кільце з м'якої сталі з верхньої частини втулки циліндра рис. 2.26 а.

Опустіть поршень вниз на стільки, щоб зробити можливим зачистку слідів зносу в верхній частині втулки за допомогою ручного шліфувального круга.

Демонтувати поршень.

Встановіть два підйомних болта в охолоджуючій сорочці.

2. Відключіть масляні труби, від лубрикатора циліндра до клапанів. Відключіть вісім незворотних клапан рис. 3.26 б.

Демонтувати чотири патрубки охолоджуючої води між охолоджуючою сорочкою і кришкою циліндра і ретельно їх прочистіть.

3. Приєднайте кран до підйимального пристрою.

Зачепите підйомний пристрій за два підйомних болта і підійміть втулку циліндра з охолоджувальною сорочкою з блоку циліндра рис. 3.26 в.

Опустіть втулку циліндра вертикально на, наприклад, пару дощок.

Очистіть блок циліндра всередині, звертаючи особливу увагу на контактні поверхні втулки циліндра у верхній частині блоку циліндра і в нижній частині, де встановлені ущільнювальні кільця. Ці два місця забезпечують ущільнення охолоджуючої води.

Викиньте ущільнювальні О-кільця з патрубків охолоджуючої води і встановіть нові.

4. Щоб розблокувати гаки вигвинтите два підйомних болта втулки. Вкрутіть два підйомних болта в охолоджуючу сорочку і кріплення двох талей. Зачепите талі до двох підйомних болтів на охолоджуючій сорочці і натягніть їх рис. 3.27 а.

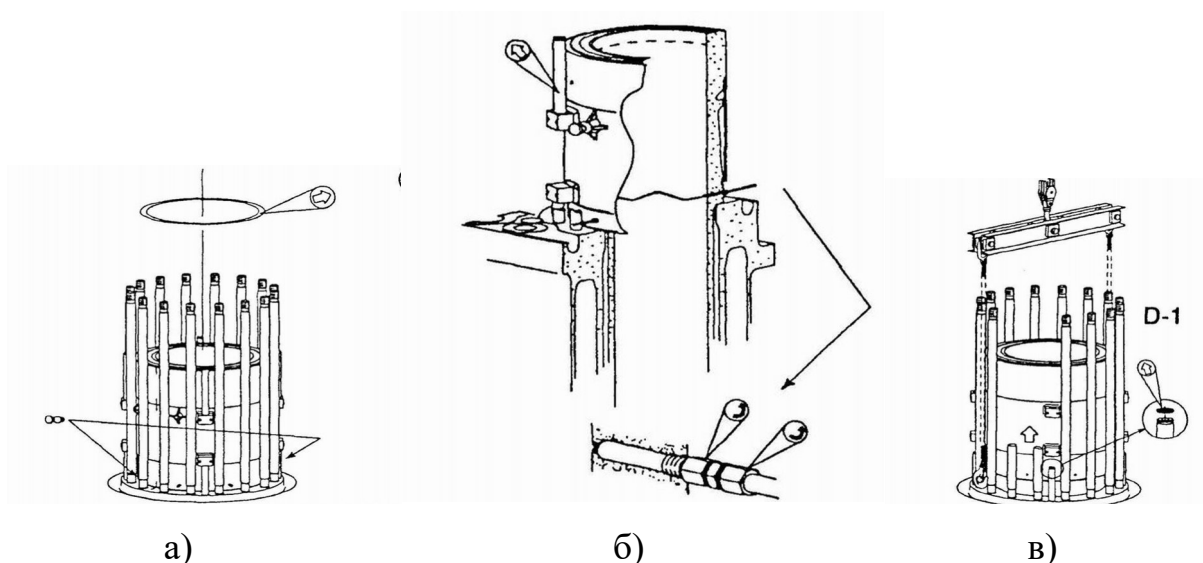


Рисунок 3.26 – Демонтаж втулки з охолоджувальною сорочкою

Відпустіть чотири болта на затисках, які кріплять охолоджуючу сорочку до втулки циліндра. Зніміть затискачі зі втулки.

5. Опустіть охолоджуючу сорочку таями і покладіть її на дерев'яні дошки. Зніміть талі з поперечки, рис. 3.27 б.

6. Угвинтіть два підйомних болта втулки рис. 2.27 в.

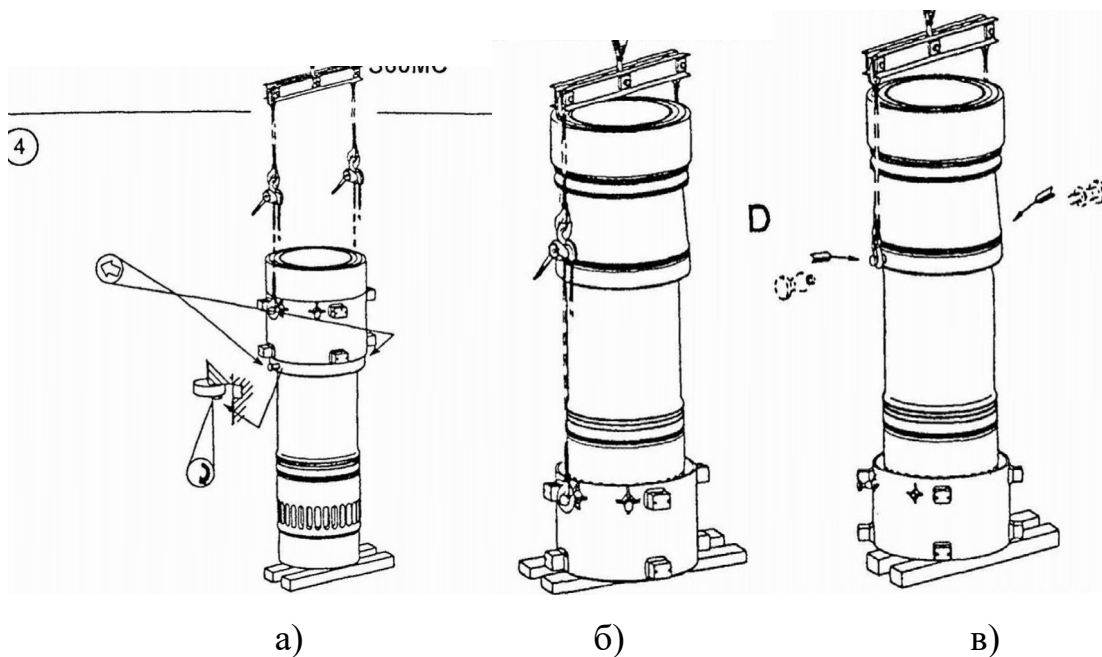


Рисунок 3.27 – Демонтаж охолоджуючої сорочки

7. Підніміть втулку циліндра з охолоджувальної сорочки, рис. 2.28 а.

Очистіть охолоджуючу сорочку всередині.

Очистіть нову втулку циліндра, видаляючи захисний шар мастила. Заповніть захисну проточку контактної поверхні втулки пастою (щоб запобігти корозії).

8. Встановіть підйомні болти на новій втулці рис. 3.28 б.

Підніміть нову втулку і встановіть ущільнюючі О-кільця охолоджуючої сорочки на поверхні втулки і закріпіть їх, наприклад, за допомогою стрічки. Потім помістіть втулку в охолоджуючу сорочку.

9. Зніміть підйомні болти з втулки рис. 3.28 в.

Причепіть талі до поперечини і закріпіть талі за два підйомних болта охолоджуючої сорочки.

Встановіть ущільнювальні О-кільця охолоджуючої сорочки в канавки на втулці циліндра.

Підніміть охолоджуючу сорочку на місце - маркувальні ризики на рубашці / втулці повинні збігатися (з боку розподілу).

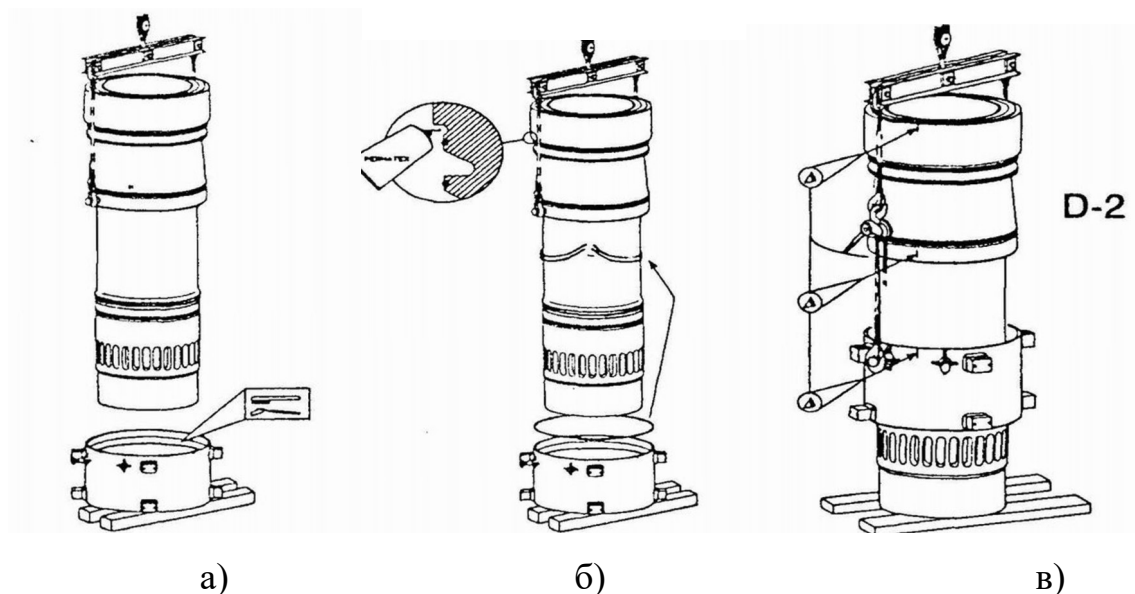


Рисунок 3.28 – Монтаж охолоджувальної сорочки

10. Поверніть чотири затискачі, поки вони не увійдуть в канавку втулки, і затягніть болти. Зніміть талі з підйомного пристосування, рис. 3.29 а.

11. Покрийте кільця ущільнювачів та переливні патрубки невеликим кількістю мастила. Сполучні поверхні блоку циліндра/втулки циліндра, повинні бути абсолютно чистими, рис. 3.29 б.

Зачепите підйомне пристосування за підйомні болти і підійміть вузол рубашка-втулка.

Встановіть ущільнюючі О-кільця поруч з продувними вікнами і покрийте їх мастилом.

Підвісьте втулку над блоком циліндра з маркувальною рисою з боку розподільного вала, направляючи сорочку відповідно до переливних патрубків.

Затягніть нижні переливні патрубки на охолоджуючій сорочці, як тільки втулка циліндра буде встановлена правильно.

12. Встановіть незворотні клапани мастила циліндра в отвори втулки, рис. 3.29 в.

Підключіть трубки від лубрикатора до беззворотних клапанів, але не затягуйте. Прокачайте систему змащення циліндра ручним прокачуванням кожної окремої трубки до тих пір, поки не піде масло без бульбашок повітря з штуцерних з'єднань трубки. Після цього щільно затягніть трубки на незворотних клапанах і знову вручну прокачайте до тих пір, поки не переконаєтеся, що кожна окрема точка змащення функціонує правильно.

Виверніть всі підйомні болти.

13. Встановіть нове кільце ущільнювача в верхній частині втулки циліндра.

Встановіть поршень і кришку циліндра.

Затягніть верхні переливні патрубки на охолоджуючій сорочці як тільки кришка циліндра буде встановлена правильно.

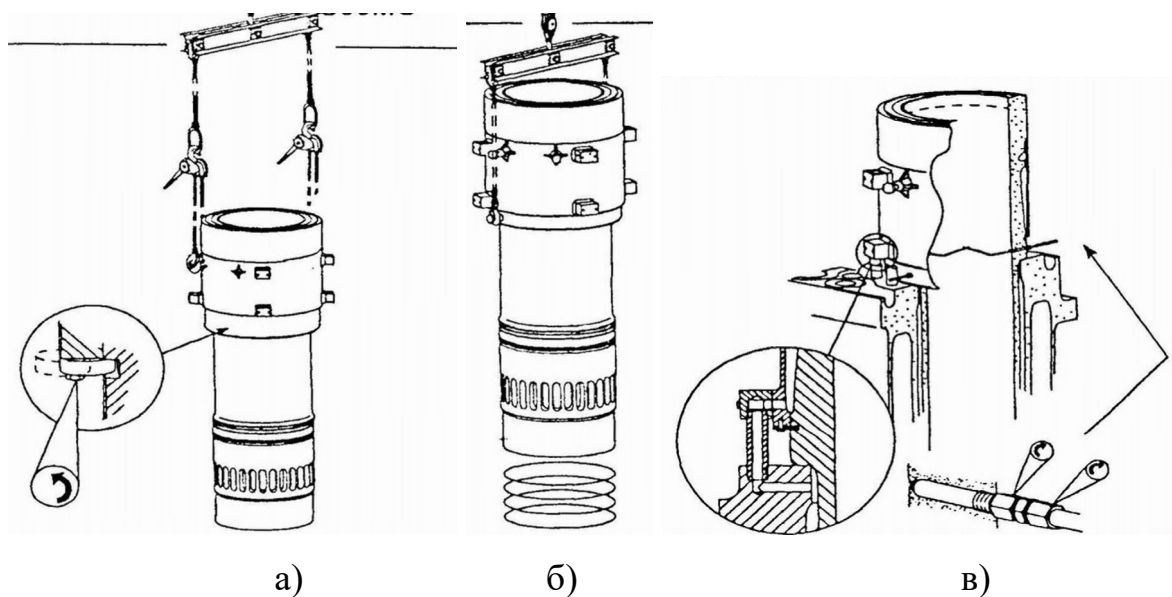


Рисунок 3.29 – Монтаж вузла втулка-охолоджувальна сорочка

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці в машинному відділенні судна

Ремонт двигуна на судні – це складний, відповідальний і потенційно небезпечний процес, який потребує суворого дотримання правил техніки безпеки. В машинному відділенні зосереджено багато джерел підвищеної небезпеки: електричне обладнання, гарячі поверхні, рухомі механізми, мастила, пари пального та інші вибухо- і пожежонебезпечні речовини. Тому правильна організація робіт і відповідальне ставлення до вимог безпеки – запорука збереження життя і здоров'я екіпажу, а також справного функціонування техніки.

Перед початком будь-яких ремонтних дій необхідно чітко визначити обсяг майбутніх робіт, скласти план дій і призначити відповідальних осіб. Повинен бути проведений обов'язковий інструктаж із техніки безпеки для всіх членів команди, які залучені до ремонту. Важливо переконатися, що всі розуміють свою роль, обов'язки, а також ризики, пов'язані з виконанням поставлених завдань.

До роботи допускаються тільки кваліфіковані спеціалісти, які мають відповідні допуски та пройшли навчання. Також необхідно мати дозвіл від старшого механіка або капітана судна на проведення ремонтних дій у машинному відділенні. Перед початком робіт перевіряється освітлення приміщення, наявність вентиляції, справність аварійних сигналізацій і зв'язку.

Кожен працівник має бути забезпечений засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). До них належать: каска з підборідним ременем, вогнетривкий спецодяг, рукавиці, захисні окуляри або щиток, протишумові навушники,

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

респіратор або протигаз (при наявності шкідливих парів). Забороняється починати роботу без повного комплекту ЗІЗ.

Робоча зона має бути заздалегідь підготовлена. Всі непотрібні предмети необхідно прибрати, щоб уникнути спотикання, падіння інструментів або випадкового займання. Забороняється використовувати мастила, паливо, розчинники та інші речовини в непередбачених для цього ємностях. Усі горючі речовини зберігаються у спеціально відведених місцях із відповідною вентиляцією та протипожежним захистом.

Необхідно встановити огорожі, сигнальні стрічки або таблички в зонах підвищеної небезпеки. Наприклад, при роботі з електрикою обов'язково вивішується табличка «Не вмикати — працюють люди!». У разі зварювальних чи термічних робіт навколо зони повинна бути металева або вогнетривка огорожа. У зоні ремонту не допускається стороннє перебування осіб, які не беруть участі в роботах.

Важливо також мати швидкий доступ до засобів пожежогасіння: вогнегасників (порошкових, вуглекислотних), протипожежних ковдр, пожежного щита з лопатою, відрами, гаком тощо. Необхідно знати розташування найближчих аварійних виходів, душів і аптечок.

Усі інструменти, які будуть використовуватись під час ремонту, повинні бути перевірені на справність і відповідність стандартам безпеки. Забороняється використання пошкодженого, іржавого або саморобного обладнання. Електроінструменти повинні мати заземлення, справний кабель, захисні кожухи та вимикачі. Перед початком роботи перевіряється їхня працездатність у тестовому режимі.

Спеціальний інструмент для роботи з паливними системами, високим тиском або гарячими рідинами має бути сертифікованим. Під час використання зварювального обладнання зварювальник повинен мати відповідну кваліфікацію, дотримуватися техніки пожежної безпеки, використовувати захисну маску та костюм.

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Усі використані інструменти після закінчення робіт повинні бути очищені, оглянуті та покладені на свої місця. Заборонено залишати розкладене обладнання без нагляду.

Під час ремонту двигуна суворо забороняється перебувати біля працюючих механізмів без дозволу. Пуск двигуна або перевірка його вузлів допускається лише після завершення всіх робіт та за присутності відповідального механіка. Перед запуском необхідно двічі перевірити, що всі інструменти, ганчір'я та деталі видалено з двигуна та прилеглих зон.

Не допускається застосування відкритого вогню поблизу паливних або газових магістралей. При наявності витоків необхідно негайно припинити роботу, повідомити відповідального офіцера та вжити заходів для усунення небезпеки. Будь-які підозрілі звуки, запахи чи інші ознаки несправностей слід фіксувати та повідомляти керівництву.

Під час роботи з гідравлікою, тиском, або електрикою обов'язково повинні бути присутні ще щонайменше дві особи, щоб у разі нещасного випадку надати допомогу.

Після завершення ремонтних робіт обов'язково проводиться ретельний візуальний огляд усіх вузлів та агрегатів, які піддавалися обслуговуванню або заміні. Особлива увага приділяється правильності складання, затягуванню кріплень, відсутності залишків сторонніх предметів та інструментів у зоні роботи. Лише після цього дозволяється здійснити контрольний запуск обладнання в тестовому режимі. Під час запуску уважно перевіряється герметичність з'єднань трубопроводів, ущільнювальних стиків, відсутність протікань робочих рідин, мастила або пального.

Також обов'язково контролюється наявність або відсутність небажаних вібрацій, сторонніх шумів, перегріву окремих компонентів та стабільність роботи двигуна на різних режимах. У разі виявлення будь-яких відхилень або несправностей запуск негайно припиняється, двигун зупиняється, і

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

проводиться додаткова діагностика з метою виявлення причин порушення роботи.

Усі проведені дії, зокрема результати технічного огляду, перевірок, регулювань та пробних запусків, обов'язково документуються у відповідному технічному журналі судна. Це дозволяє забезпечити прозорість і контроль над усіма технічними змінами на борту. Якщо під час перевірки були виявлені серйозні дефекти або потенційно небезпечні пошкодження, відповідна інформація без зволікань передається капітану судна, а також, за необхідності – до берегової інженерної служби або компанії-власника. Ремонтно-діагностичні роботи вважаються офіційно завершеними тільки після того, як відповідальна особа (зазвичай старший механік або інженер) засвідчить це своїм підписом у журналі та повідомить про готовність обладнання до експлуатації.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях у машинному відділенні судна

Машинне відділення є одним із найнебезпечніших приміщень на судні, адже саме тут сконцентровано джерела високих температур, тиску, електричного струму, горючих і токсичних речовин. У разі надзвичайної ситуації в цій частині судна – будь то пожежа, затоплення, витік палива або технічна аварія – необхідно діяти швидко, чітко й відповідно до встановлених процедур.

Усі члени машинної команди зобов'язані знати місцезнаходження та правила користування аварійним обладнанням, а також чітко розуміти свій функціонал під час тривоги. На кожному судні повинен бути розроблений План аварійної готовності (Emergency Preparedness Plan), що включає дії на випадок різних типів аварій. Цей план періодично оновлюється й вивчається екіпажем.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Навчальні тривоги повинні проводитись регулярно, не рідше одного разу на місяць. Особливу увагу слід приділяти тренуванням дій при пожежі, витоку палива або затопленні машинного відділення. Усі дії екіпажу під час таких тренувань фіксуються у відповідному журналі.

Пожежа в машинному відділенні – одна з найнебезпечніших ситуацій на судні. Основні причини: витік палива або мастила на гарячі поверхні, коротке замикання, перегрів обладнання, порушення під час зварювальних робіт.

У разі виникнення пожежі:

- негайно подати загальну або локальну пожежну тривогу;
- відключити подачу палива, електроживлення, вентиляції до машинного відділення;
- запустити систему пожежогасіння (CO₂ або пінна);
- дотримуватись засобів захисту: теплоізоляційний одяг, протигаз або апарат на стисненому повітрі;
- закрити всі протипожежні двері й люки, герметизувати відділення.

У разі задимлення заборонено спускатись без апарата дихального захисту. Після ліквідації пожежі – обов'язкова перевірка на наявність повторного займання та вентиляція приміщення.

Затоплення може бути спричинене проривом труб, поломкою сальників, аварійним входом води після зіткнення чи пошкодження корпусу.

При виявленні затоплення:

- подати сигнал аварійної тривоги;
- визначити джерело протікання;
- активувати водовідливну систему (осушні помпи);
- задіяти аварійні засоби герметизації (дерев'яні клини, брезент, аварійний цемент).

При необхідності – перекрити відповідні клапани, забортні отвори, системи охолодження.

Заборонено входити у затоплене відділення без попередньої оцінки безпеки – є ризик ураження електричним струмом або отруєння парами.

Навіть невеликий витік може призвести до пожежі, отруєння або ковзання персоналу. Основні дії:

- встановити джерело витоку;
- перекрити подачу палива/мастила до місця аварії;
- встановити ємності для збору рідини;
- видалити розлив за допомогою абсорбентів або спеціальних сорбуючих матів;
- повідомити старшого механіка та записати інцидент у журнал.

Заборонено змивати паливно-мастильні продукти у зливну систему або відкрито скидати в море.

Умови підвищеної вологості й високих температур у машинному відділенні збільшують ризик коротких замикань. У разі виявлення задимлення електрообладнання:

- негайно відключити електроживлення ділянки;
- заборонено гасити електричну пожежу водою або пінними засобами – використовують порошкові або CO₂-вогнегасники;
- перевірити заземлення перед повторним підключенням обладнання;
- усі роботи з електрообладнанням проводять лише кваліфіковані електромеханіки з відповідними допусками.

У надзвичайній ситуації персонал повинен зберігати спокій, не панікувати й діяти згідно з аварійними інструкціями. Заборонено самовільно залишати пост чи проводити необумовлені дії.

Кожен член екіпажу повинен:

- мати при собі ЗІЗ;

- чітко знати шлях евакуації з машинного відділення;
- уміти користуватись аварійним зв'язком і повідомити про ситуацію на містках;
- допомагати колегам, які втратили орієнтацію або потребують допомоги.

Після ліквідації аварії проводиться детальний огляд, складається акт, і здійснюється аналіз причин інциденту з метою запобігання в майбутньому

4.2 Техніка безпеки при ремонті деталей циліндро-поршневої групи

Перед початком робіт необхідно переконатися, що

- двигун зупинений;
- пускове повітря перекрито;
- паливо перекрито;
- циркуляція мастила припинена;
- натиснуто блокування.

При виконанні суднових робіт члени екіпажу зобов'язані користуватися спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями (касками, окулярами, рукавицями, протигазами тощо). У несправному або забрудненому спецодязі й спецвзутті члени екіпажу до роботи не допускаються. Адміністрація судна повинна стежити за регулярною заміною та забезпеченням регулярного прання та ремонту спецодягу й спецвзуття.

Необхідно стежити за тим, щоб усі органи управління, горловини цистерн і запірні пристрої паливної, масляної, водяної і інших суднових систем мали чіткі написи або знаки, що визначають їх призначення. Усі вентилі, клапани й клинкетти повинні мати покажчики напрямку «Відкрито» і «Закрито». Забороняється користуватися органами управління, що не мають фіксуючих пристроїв, які виключають їх мимовільне зсування та переміщення.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Перед пуском механізмів або пристроїв необхідно:

- відповідно до інструкції з обслуговування переконатися в справності устаткування й арматури, аварійно-попереджувальної сигналізації й засобів захисту, а також у відсутності на і біля механізмах сторонніх предметів;
- попередити людей, що знаходяться поблизу механізмів і устаткування, про майбутній пуск.

На працюючих машинах і механізмах забороняється:

- кріпити гайки й вибирати слабіну в системах руху;
- заміряти зазори;
- чистити й обтирати частини, що рухаються, а також виконувати змащення тертьових частин вручну,
- без спеціальних пристосувань, призначених для забезпечення безпеки при змащенні (шприців, мазничок та ін.);
- виконувати будь-які ремонтні роботи;
- виконувати інші небезпечні роботи на ходу судна, які можуть привести до травматизму.

Запасні частини, пристосування й реманент повинні бути надійно закріплені у своїх гніздах. Їх кріплення потрібно оглядати й перевіряти щоразу після виконання робіт для яких вони використовувалися, а також перед виходом судна в море.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даного дипломного проекту було проаналізовано конструктивні особливості двотактного малообертового двигуна MAN 5S50MC. Основними перевагами, заявленими фірмою виробником, є паливна адаптивність, економічність та дотримання високих стандартів екологічної ефективності. Двигуни MAN B&W характеризуються міцністю, надійністю та легкістю обслуговування, що є передумовою для досягнення напрацювань більш ніж вісім тисяч годин на рік.

Для забезпечення надійної роботи необхідно своєчасно та ефективно проводити технічне обслуговування та ремонт механізмів та систем, оскільки їх елементи піддаються значному навантаженню. Особливо це стосується деталей циліндро-поршневої групи, оскільки вони піддаються найбільшому навантаженню. Вихід з ладу навіть однієї з зазначених деталей може призвести до аварії та зупинки двигуна, тому в ході виконання роботи, значна увага приділена їх ремонту та обслуговуванню.

Проведений розрахунок робочого циклу, дозволив встановити індикаторні та ефективні показники двигуна, а також тиск робочих газів у циліндрі.

В окремому розділі розглянуто питання техніки безпеки та дії екіпажу в надзвичайних ситуаціях. Пророблено питання техніки безпеки при ремонті деталей газорозподільного механізму.

Двотактних дизельні двигуни MAN B&W є життєздатним варіантом, який слід вибирати клієнтами в будь-якому місці, де потрібні надійні та економічно поршневі двигуни, особливо якщо паливо має низьку якість.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. MAN Energy Solutions. MAN B&W Two-Stroke Marine Engines: Operation Manual. - Augsburg, MAN Energy Solutions, 2020. - 450 p.
2. MAN Energy Solutions. MAN Four-Stroke Marine Engines: Service Manual (L21/31, L27/38, L32/40 series). - Augsburg, MAN Energy Solutions, 2021. - 380 p.
3. Woodyard, D. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. - 10th ed. - London, Butterworth-Heinemann, 2020. - 928 p.
4. Nikki, M. Marine Diesel Engines: Maintenance, Troubleshooting, and Repair. - 4th ed. - New York, McGraw-Hill Education, 2018. - 432 p.
5. Anderson, E.P. Diesel Engine Repair: Marine Applications. - 3rd ed. - Centreville, Cornell Maritime Press, 2015. - 320 p.
6. Khetarpal, K.M. Marine Engineering and Ship Maintenance. - Delhi, Khanna Publishers, 2017. - 680 p.
7. Dempsey, P. Troubleshooting and Repair of Diesel Engines. - 5th ed. - New York, McGraw-Hill, 2019. - 416 p.
8. Carlton, J. Marine Propulsion Systems: Principles and Maintenance. - Hoboken, Wiley, 2018. - 552 p.
9. McGeorge, H.D. Ship Machinery and Maintenance. - 2nd ed. - London, Routledge, 2016. - 464 p.
10. MAN Energy Solutions. MAN Diesel & Turbo Technical Documentation. - Augsburg, MAN Energy Solutions, 2022. [Електронний ресурс]
11. Liam, S. Marine Diesel Engine Maintenance and Overhaul. – 3rd ed. – New York, Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2017. – 512 p.
12. Taylor, D.A. The Marine Diesel Engine: Its Operation, Maintenance and Repair. – 2nd ed. – London, The Institute of Marine Engineering, Science & Technology, 2019. – 645 p.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.08.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		73

13. Hountalas, D.T., Mavropoulos, G.C. Modern Marine Internal Combustion Engines: A Technical and Historical Overview. – Athens, Symeon Publishing, 2021. – 724 p.

14. MAN Energy Solutions. Common Rail System for MAN Four-Stroke Marine Engines: Service and Maintenance. – Augsburg, MAN Energy Solutions, 2023. – 298 p.

					ПННІ НУК 142.44.25.08.ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		