

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

« » 2025 p.

 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 Душенко Данило Олександрович

1. Тема роботи: «Технічна експлуатація, обслуговування та ремонт паливного насоса високого тиску суднового середньообертового двигуна MAN 5L21/31».

Керівник роботи Галинкін Ю.М.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року за № 23.

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

3. Вихідні данні по роботі: Судновий двигун MAN 5L21/31 потужністю 7860 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 "Navigator Aries". 2. Поперечний переріз двигуна MAN 5L21/31. 3. ПНВТ двигуна MAN 5L21/31. 4. Технічне обслуговування ПНВТ.

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

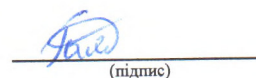
Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
5	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2025	
6	Оформлення кваліфікаційної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

Студент


(підпис)

Душенко Д.О.

Керівник
роботи


(підпис)

Галинкін Ю.М.

Анотація

Представлена кваліфікаційна робота містить у собі 70 сторінок, 27 рисунків. При підготовці проекту було використано 13 джерел інформації.

У роботі розроблений комплекс заходів щодо удосконалення проведення ремонтних та експлуатаційних робіт з обслуговування та ремонту паливного насосу високого тиску суднового дизельгенератора. Також розглянуті питання охорони праці та техніки безпеки при виконанні робіт.

Ключові слова:

ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ПАЛИВНА СИСТЕМА,
ПАЛИВНИЙ НАСОС ВИСОКОГО ТИСКУ, ВПРИСК

Abstract

The presented degree project contains 78 pages, 27 drawing. By preparation 13 sources of the information have been used.

The project developed a set of measures to improve the repair and maintenance work on the maintenance and repair of high pressure fuel pump of diesel ship. Also consider health and safety when working.

Keywords:

INTERNAL COMBUSTION ENGINE, GASEOUS FUELS, GAS-DIESEL,
INJECTION

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.....	7
1.3 Опис конструкції двигуна дизельгенератора	7
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА	30
2.1 Методика розрахунку робочого циклу двигуна.....	30
2.2 Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна	31
2.3 Розрахунок робочого циклу	33
РОЗДІЛ 3. ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ	39
2.1 Огляд конструкції та принцип дії сучасних ПНВТ	39
2.1.1 Огляд конструкції сучасних ПНВТ	39
3.1.2 Конструкція паливного насосу високого тиску двигуна MAN 5L21/31	42
3.2 Кавітаційно-ерозійні руйнування в ПНВТ	44
3.3 Загальні вказівки по контролю, діагностуванню та ремонту ПНВТ	45
3.4 Ремонт та технічне обслуговування паливного насосу високого тиску двигуна MAN 5L21/31	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1 Шкідливі фактори в машинному відділенні.....	62
4.2 Техніка безпеки при ремонті паливного насосу високого тиску	65
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	69

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ			
Вим..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Душенко Д.О.			Технічна експлуатація, обслуговування та ремонт паливного насосу високого тиску суднового середньообертового двигуна MAN 5L21/31	Лист.	Лист	Листів
Перевір.		Галинкін Ю.М.					3	70
						44-ЕМ-23		
Н. Контр.		Галинкін Ю.М.						
Затв		Нестеренко В.В.						

ВСТУП

Тенденції сучасного суднобудування характеризуються використанням двигунів, що мають високий ступінь форсування робочого процесу і відносно невеликий розрив між робочими і максимально допустимими рівнями теплової та механічної напруженості. У двигунах застосовують важкі сірчисті палива і прагнуть максимально повно використати під час експлуатації потужність двигунів внутрішнього згоряння, причому як головних, так і допоміжних. Ці обставини висувають підвищені вимоги до рівня технічної експлуатації, організації її на судах і кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому очевидна необхідність вивчення досвіду експлуатації двигунів, ознайомлення з їх характерними поломками і дефектами.

Паливна апаратура відноситься до найважливіших елементів дизелів. Від якості і ефективності її функціонування залежить величина потужності, що виробляє двигун, економічність, надійність та ресурс двигуна.

Одним з ключових елементів паливної апаратури є паливні насоси високого тиску, які використовуються для відмірювання (дозування) порції палива, що подається в циліндр, забезпечення необхідного моменту початку подачі палива (кута випередження), тривалості і характеристики впорскування (закону подачі), стиснення палива до заданих тисків упорскування.

Завдяки простоті конструкції та відносно низькій вартості найбільше розповсюдження отримали паливні насоси золотникового типу. Основним елементом якого є плунжерна пара (плунжер та втулка). Деталі плунжерної пари виготовляються з високою точністю та потребують підвищеної уваги під час експлуатації.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ціль даної роботи – розробити комплекс заходів з обслуговування та ремонту паливного насосу високого тиску двигуна фірми MAN 5L21/31, що використовується у дизельгенераторі судні «NAVIGATOR ARIES».

Задачі, розв'язувані в роботі полягають у наступному:

- проаналізувати особливості конструкції й експлуатації двигуна фірми MAN 5L21/31;
- проаналізувати комплекс заходів з обслуговування та ремонту паливного насосу високого тиску;
- розробити ряд заходів з охорони праці при виконанні ремонтних робіт.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Призначення і конструктивний тип судна

Navigator Aries являє собою LPG-танкер дедвейтом 24000 тон, судна такого типу вже встигли зайняти свою нішу у ринку морських газових перевезень.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна Navigator Aries

Судна такого розміру зазвичай використовують системи утримання, типу С (ІМО) використовуючи циліндричні, або бі-пелюсткові вантажні танки, які вбудовані у вантажний простір судна, розділений на чотири відсіки. Кожен з відсіків вміщує незалежні цистерни з лівого та правого борту, обладнані горловинами. Бортові баки зверху і знизу (останній в поєднанні з центральним танком подвійного дна), забезпечують водяний

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

баласт, а також складають частину вкрай необхідної системи підтримки вантажних танків. На додаток до основних вантажних танків, окремі циліндричні вантажні танки знаходяться на передній палубі.

Компресорне машинне відділення розміщено на верхній палубі, в якому використовуються установлений вантажний рефрижератор при мінімальній температурі -48°C . На судах такого типу перевозять такі товари як пропан, бутан, бутилен, пропилен, обезводнений аміак, бутадиєн.

Паливні танки розташовані в кормовій частині, носовій переборці і в носовій частині, і відокремлені від зовнішнього корпусу в цілях безпеки.

1.2 Склад енергетичної установки

У якості головного двигуна компанією Hyundai Heavy Industries встановлено головний двигун MAN B & W 6S46MC-C, що виробляє 7860 кВт при 129 хв^{-1} і працює на з гвинт фіксованого кроку. Це забезпечує швидкість судна 16 вузлів при роботі на 90 % потужності MCR.

Для вироблення електричного струму використовуються три дизельгенератори MAN 5L21/31. Кожен з них розвиває 1000 кВт, електрична потужність генераторів змінного струму складає 750 кВт.

Котел KangRim дозволяє отримувати 2500 кг пари на годину.

1.3 Опис конструкції двигуна дизельгенератора

MAN L21/31 створювалися на основі накопленого досвіду експлуатації дизелів ранніх випусків. Основними завданнями розробників, при проектуванні даної моделі двигуна, були спрощення експлуатації та технічного обслуговування, досягнення високої економічності і можливості роботи на низькоякісних важких паливах. Ресурс двигунів між переробками становить 20-25 тис. годин, для двигунів зазначеного класу це дуже високе

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

значення. Малі вібрації, низькі рівні шуму і емісії вихлопу є так само не менш важливими перевагами.

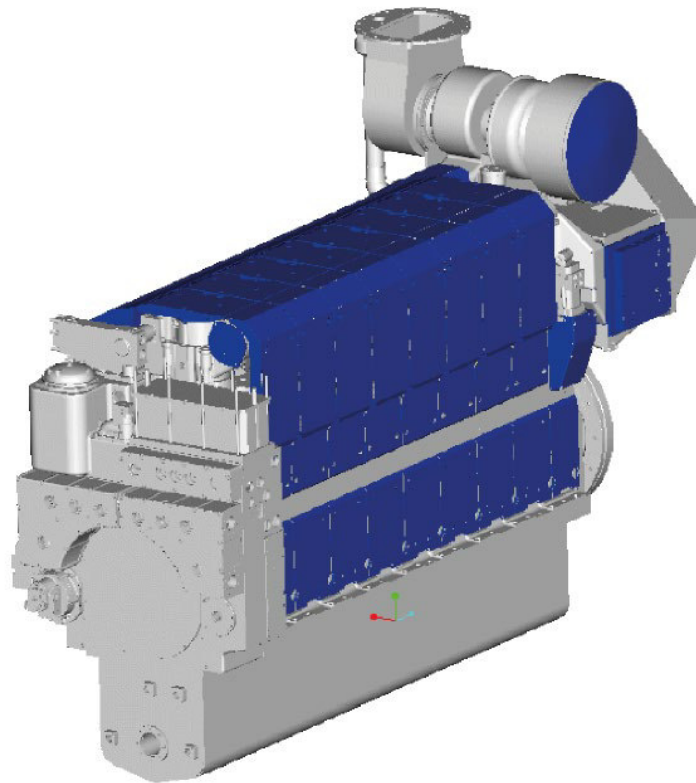


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна MAN L21/31

Кришка циліндра є сталевую відливкою з вбудованим ресивером надувного повітря, виготовлені як єдине ціле. Вона має товстостінні днище з охолоджуючими каналами, а також центральний отвір для форсунки і чотири клапана з перехресним потоком і високим коефіцієнтом наповнення. Інтенсивне водяне охолодження в області кінчика сопла дозволяє відмовитися від безпосереднього охолодження сопла. Клапан повернуто на 20° до осі, що забезпечує певне закручування повітря на вході.

Кришка циліндра кріпиться за допомогою чотирьох гайок і чотирьох шпильок, вкручених в станину двигуна. Гайки затягуються за допомогою гідравлічних пристосувань.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На кришці циліндра є верхня кришка, що закріплюється гвинтами. Вона має дві основні функції: забезпечення щільності камери коромисел і закриття верхньої поверхні кришки циліндра.

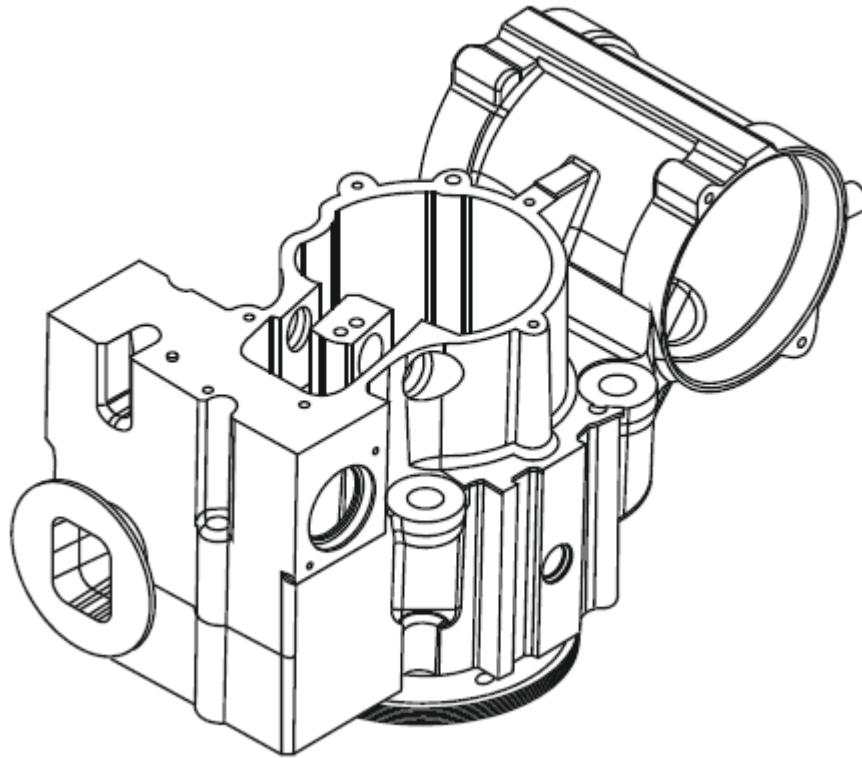


Рисунок 1.3 – Кришка циліндру

Шпинделі (тарілки) клапанів виготовлені з жароміцного матеріалу, а сідла клапанів наплавлені металом твердого сплаву.

Всі шпинделі клапанів обладнані механізмами повороту клапана, які повертають шпинделі кожен раз при роботі клапанів. Обертання шпинделів забезпечує рівномірний розподіл температури на тарілках клапанів і запобігає відкладенню на їх сідлах.

Кришка циліндра обладнана змінними сідлами. Сідла випускного клапана охолоджуються водою для забезпечення низької температури клапана.

Охолоджуваний маслом поршень складного типу має спідницю, виготовлену з кулястого чавуну і головку, виготовлену зі сталі, стійкої до деформації. Він обладнаний компресійними і маслосборними кільцями.

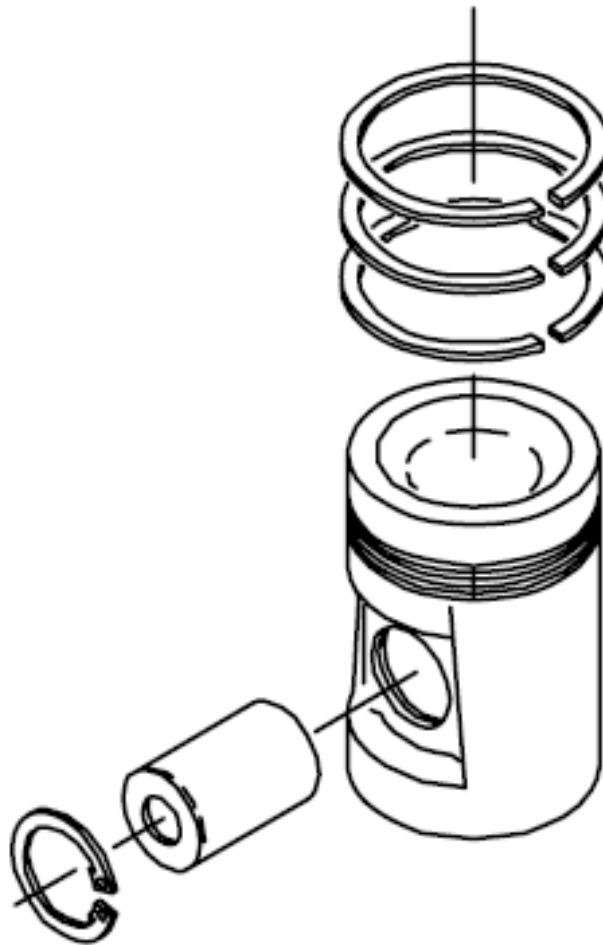


Рисунок 1.4 – Поршень

Завдяки поєднанню компресійних кілець з різними бочкоподібними перетинами і хромованими робочими поверхнями всіх кілець, комплект поршневих кілець є оптимальним для максимальної щільності і мінімального ступеня зносу.

У голівці поршня в районі поршневих кілець розташована порожнина охолоджуючого масла. Теплопередача і, отже, охолоджуючий ефект, засновані на ефекті від збовтування, що виникає при русі поршня. В якості охолоджувального масла використовується масло системи змащення.

Масло подається в охолоджуючу порожнину через отвір в шатуні. Воно зливається з охолоджувальної порожнини через канали, розташовані діаметрально до вхідних каналів.

Поршневий палець плаваючого типу фіксується в осьовому напрямку двома кільцями.

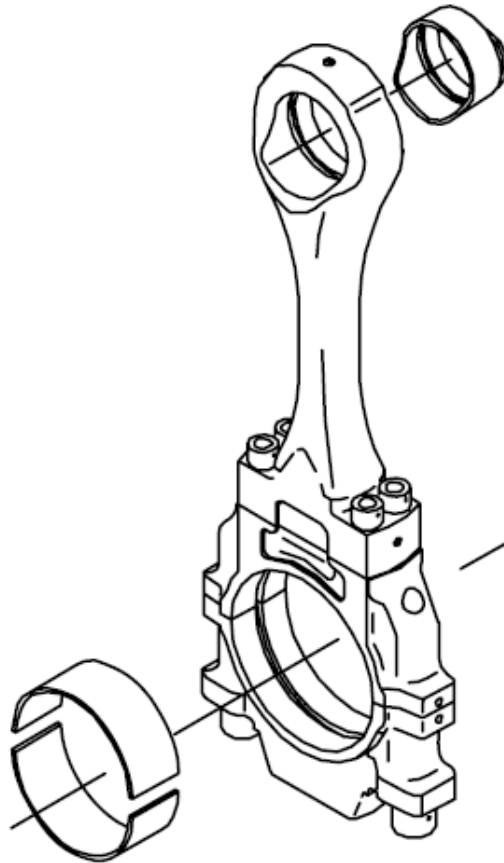


Рисунок 1.5 – Шатун

З'єднання шатуна з нижньою головкою морського типу знаходиться вище мотильового підшипника. Це означає, що розбирання мотильового підшипника при виїмці поршня не потрібно. Це є перевагою з точки зору обслуговування при експлуатації (виключається підгонка) і дозволяє зменшити висоту, необхідну для перебирання або виймання поршня.

Шатун і корпус підшипника виготовлені з ковано-штампованої хром молібденової сталі.

Вкладиші мотильового підшипника виготовлені з того ж матеріалу, що і рамні підшипники колінчастого вала. Використовуються тонкостінні вкладиші підшипника, що мають прироботочний олов'янисто - алюмінієвий шар. Вкладиші підшипника виконані прецизійними і тому не вимагають при установці шабрення або будь-якої підгонки.

Головний підшипник – металічного типу, запресований у верхню головку шатуна. Втулка обладнана внутрішньою круговою канавкою і кишенею для розподілу масла по самій втулці, а також для подачі масла до втулок пальця.

Втулка циліндра виготовлена зі спеціального чавуну, відлитого відцентровим способом, і встановлена в отворі станини двигуна. Втулка притиснута кришкою циліндра і направляється фланцем на станині двигуна. Таким чином, втулка має можливість вільного подовження при нагріванні під час роботи двигуна.



Рисунок 1.6 – Втулка циліндру

Втулка фланцевого типу і висота фланця ідентична з водяною охолоджуючою порожниною, що дає рівномірний розподіл температури по всій поверхні втулки. Нижня частина втулки не охолоджується, що дозволяє виключити її холодну корозію. В районі картера води немає. Газове ущільнення між втулкою і кришкою циліндра забезпечується сталевим кільцем.

Для зменшення шліфування отвору втулки і витрат мастила в верхній частині втулки встановлюється вогневе кільце.

Двигун забезпечений двома розподільними валами. Один служить для приводу клапанів, другий – для приводу насосів впорскування палива. Використання двох розподільних валів дає можливість змінювати впорскування палива незалежно від часу закриття впускних клапанів.

Розподільний вал клапанів розміщений на стороні випуску двигуна високо над станиною для того, щоб штанги клапанів були якомога коротше, що дозволяє зменшити рухомі маси. Розподільний вал впуску розміщений на стороні розподілення двигуна.

Обидва розподільні вали складаються з секцій. Секції кулачків та секції цапф пов'язані один з одним болтами. Це дозволяє замінювати кулачкові секції циліндра через оглядові люки станини. Розподільні вали розміщені в замінних втулках підшипників, які запресовані в розточеннях станини двигуна холодною посадкою. Зубчаста передача для приводу розподільного валу розміщена з боку маховика двигуна. Мастило зубчатих коліс подається з двох розпилювальних сопел.

Штовхачі (напрямні ролики)

Паливні насоси високого тиску і коромисла впускних і випускних клапанів приводяться від кулачків розподільних валів через штовхачі. Штовхачі випускного і впускного клапанів розташовуються в отворах у водяної сорочки кожного циліндра.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ролик обертається у втулці, встановленій на осі, яка запресована в напрямну штовхача і застопорена стопорним гвинтом.

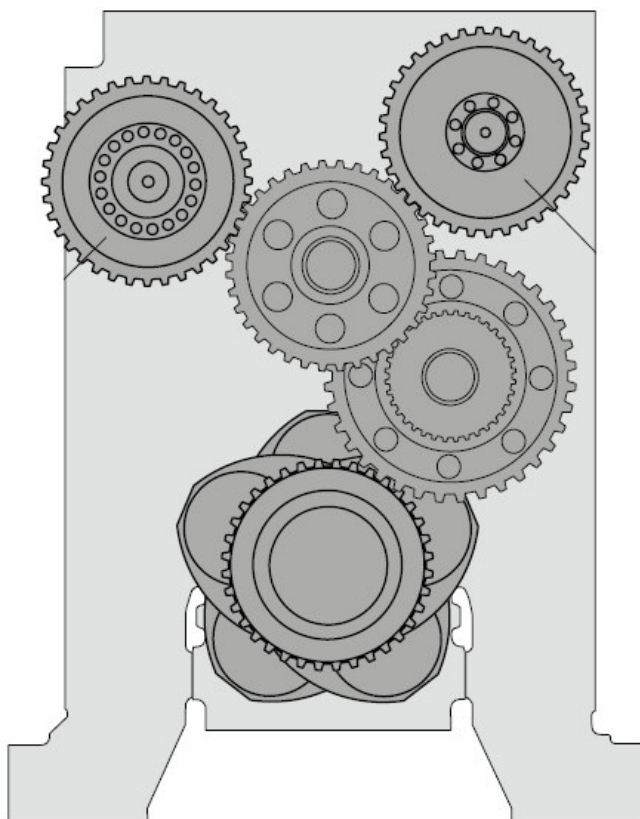


Рисунок 1.7 – Привід розподільного валу

Приводний механізм ПНВТ

ПНВТ, які змонтовані безпосередньо на станині двигуна, приводяться в дію через упори штовхача. Штовхач вбудований в ПНВТ у вигляді одного вузла. Ролик притискається до кулачка пружиною, яка встановлена між направляючою штовхача и опорною плитою ПНВТ.

Механізм приводу клапанів

Коромисло приводиться через штовхачі и штанги. Штовхачі впускного и випускного клапанів встановлені в водяній сорочці. Кожне коромисло впливає на два шпинделя клапанів через траверсу клапанів, нажимний гвинт і гвинт для регулювання зазору клапана.

Механізм приводу клапана змазується маслом під тиском від циркуляційної масляної системи двигуна, масло проходить через водяну сорочку, потім в вал коромисла до його підшипника.

Колінчастий вал і рамні підшипники. Демпфер вібрації

Цільнокований колінчастий вал підвішений в підвісних підшипниках. Рамні підшипники – трьохметалічного типу, вкриті притирочним шаром. Для досягнення прийняттого рівня тиску в підшипниках і вібрації колінчастий вал обладнаний противагами, які прикріплені до колінчастого валу за допомогою двох гідравлічних болтів.

З боку маховика колінчастий вал обладнаний зубчастим колесом, яке через дві проміжні шестерні приводить розподільні вали. На передньому торці двигуна є зубчасте колесо для приводу масляного і водяного насосів.

Масло з рамних підшипників подається по свердлінням в станині двигуна. З рамних підшипників масло проходить по свердлінням колінчастого валу до мотильового підшипника, а звідти через канали в шатунах, на змащення поршневих пальців і охолодження поршнів.

Демпфер вібрації встановлений на колінчастому валу для обмеження крутильних коливань. Демпфер складається з первинної і вторинної частин. Між ними розташовані групи пакетів пластинчастих пружин, які затиснуті по зовнішнім кінцям.

Ці пружинні пакети разом з первинними і вторинними деталями утворюють камери, які заповнені маслом. Якщо зовнішня деталь вібрує по відношенню до внутрішньої деталі, пластинчасті пружини згинаються і нагнітають масло з однієї камери в іншу, гальмуючи відносний рух цих двох деталей і, таким чином, деформують крутильні коливання. Для захисту пластинчастих пружин від перевантаження їх відхилення обмежується буферами.

Пружність визначається ретельним вибором пластинчастих пружин, а коефіцієнт демпфірування – зазором між первинними і вторинними деталями.

Станина двигуна

Моноблокова станина двигуна відлита з чавуну і виконана дуже жорсткою. Всі компоненти станини двигуна утримуються під напруженою стисненням. Станина спроектована для оптимальної передачі зусиль від кришки циліндра вниз до колінчастого валу, також вона передає вібрацію поверхні нижнього вкладиша назовні.

Два розподільних вали розміщені в станині двигуна. Клапанний розподільний вал розміщений на стороні випуску в найвищому положенні, а паливний розподільний вал розташований на стороні обслуговування двигуна.

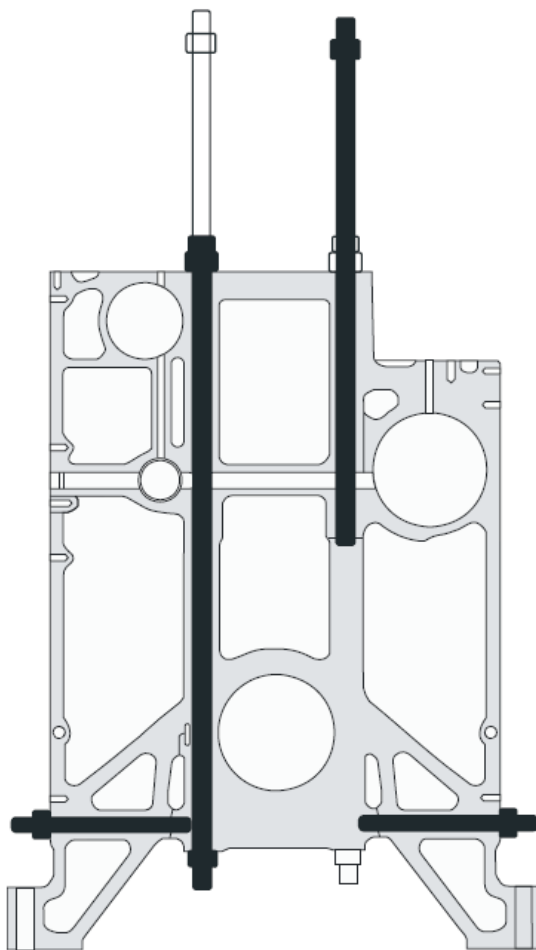


Рисунок 1.8 – Станина двигуна

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Рамні підшипники колінчастого вала розміщені в масивних опорах, утримуваних анкерними зв'язками і кріпляться кришками підшипників. Кришки підшипників забезпечені бічними напрямними і утримуються на місці за допомогою шпильок з гайками, які гідравлічно затягуються. Рамний підшипник обладнаний змінними вкладишами, які встановлюються без шабровки (підгонки).

З боків станина має кришки для доступу до розподільних валів і картеру. Деякі кришки обладнані запобіжними клапанами, які спрацюють у випадку займання парів масла в картері (наприклад, в разі перегріву підшипників).

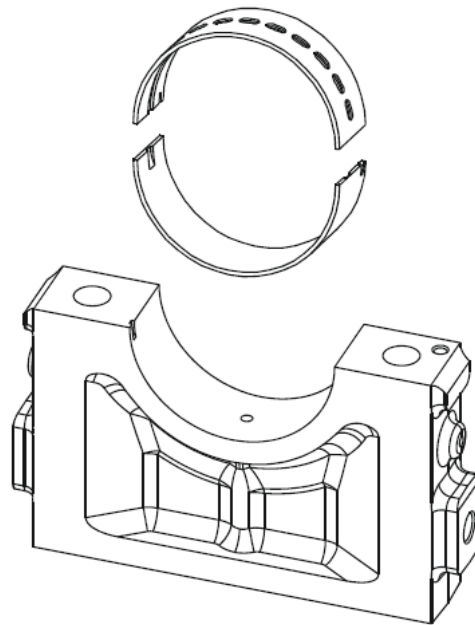


Рисунок 1.9 – Рамний підшипник

Залежно від якості палива двигун може бути оснащений різним обладнанням. Для роботи на дизельному паливі (MDO) на стандартний двигун встановлюються:

- паливopідкачуючий насос;
- здвоєний фільтр з металевими вставками;
- система змащення ПНВТ;

- ПНВТ з сальниковим ущільненням протікання палива;
- неохолоджувані форсунки.

Навісне обладнання для роботи на MDO спроектовано для установок з одним двигуном. Для дизельних енергетичних установок з декількома двигунами рекомендується або мати роздільну подачу палива, або замінити навішені насоси на електричні.

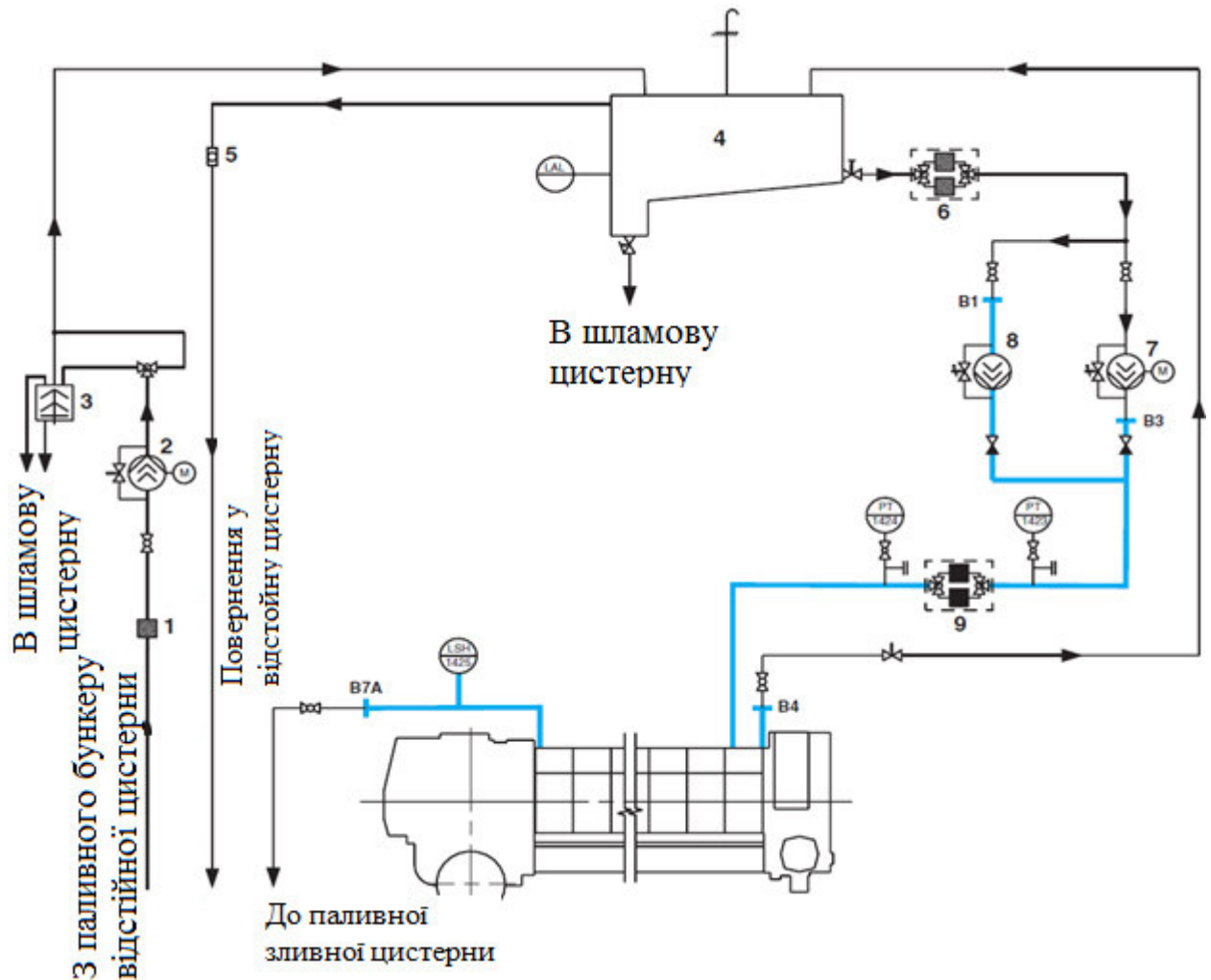


Рисунок 1.10 – Схема паливної системи:

1 - паливний фільтр грубої очистки перед пурифікатором, 2 - перекачуючий насос, 3 - сепаратор-пурифікатор, 3 - витратний бак легкого палива, 4 - оглядове скло на переливній трубці легкого палива, 5 - здвоєний 6 - фільтр (магнітна вставка), 7 - резервний насос, 8 - паливопідкачуючий насос, 9 - здвоєний фільтр з металевими вставками

Для роботи на важкому паливі (НРО) на стандартний двигун встановлюються:

- здвоєний паливний фільтр з металевими вставками;
- підпірний клапан зворотнього палива;
- система змащення ПНВТ;
- неохолоджувані форсунки.

Навісне обладнання спроектовано для використання в паливних моделях, зазвичай званих бустерними модулями. Для багатомашинних дизельних енергетичних установок загальна система паливоподачі повинна охоплювати всі двигуни.

Рекомендується використовувати важке паливо з в'язкістю до 380 сСт/50 °С, навіть якщо двигун розрахований на паливо з в'язкістю до 700 сСт / 50 °С, в залежності від фактичної якості палива. Максимальна в'язкість при уприскуванні – 12...14 сСт.

Внутрішня паливна система, як показано на рис. 1.11, складається з наступних частин:

- налагоджувального фільтра;
- обладнання для вприскування під високим тиском;
- системи зливу відпрацьованого масла і палива.

Налагоджувальний паливний фільтр має тонкість фільтрації 50 мк і розташований у вхідному трубопроводі. Він служить для видалення забруднень в паливній трубі між захисним фільтром і двигуном в період приробітки (обкатки).

Фільтр повинен бути знятий перед здачею судна або передачею судна замовнику.

Рекомендується встановлювати фільтр щоразу, коли система зовнішніх паливних труб була демонтована, але важливо знову зняти фільтр, коли всі забруднення з зовнішньої паливної системи будуть видалені.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Кожен циліндр має власний комплект **обладнання для вприскування палива**, що складається з ПНВТ, трубки високого тиску і форсунки.

Устаткування для уприскування і розподільні трубопроводи укладені в повністю закриті відділення, що мінімізує втрати тепла підігрітого палива. Таке розміщення зменшує температуру зовнішніх поверхонь і знижує ризик пожежі, викликаній протіканням палива.

ПНВТ включає в себе штовхач, розташований безпосередньо над розподільним валом.

Кількість палива, що вприскується в кожний циліндр, визначається регулятором, який утримує частоту обертання двигуна на заданому рівні, постійно змінюючи положення рейок ПНВТ через загальний регулюючий вал і підпружинену рейку кожного насоса.

Форсунка вставлена в центр кришки циліндра.

ПНВТ подає паливо до форсунки через трубку високого тиску з подвійними стінками і вставку в кришці циліндра.

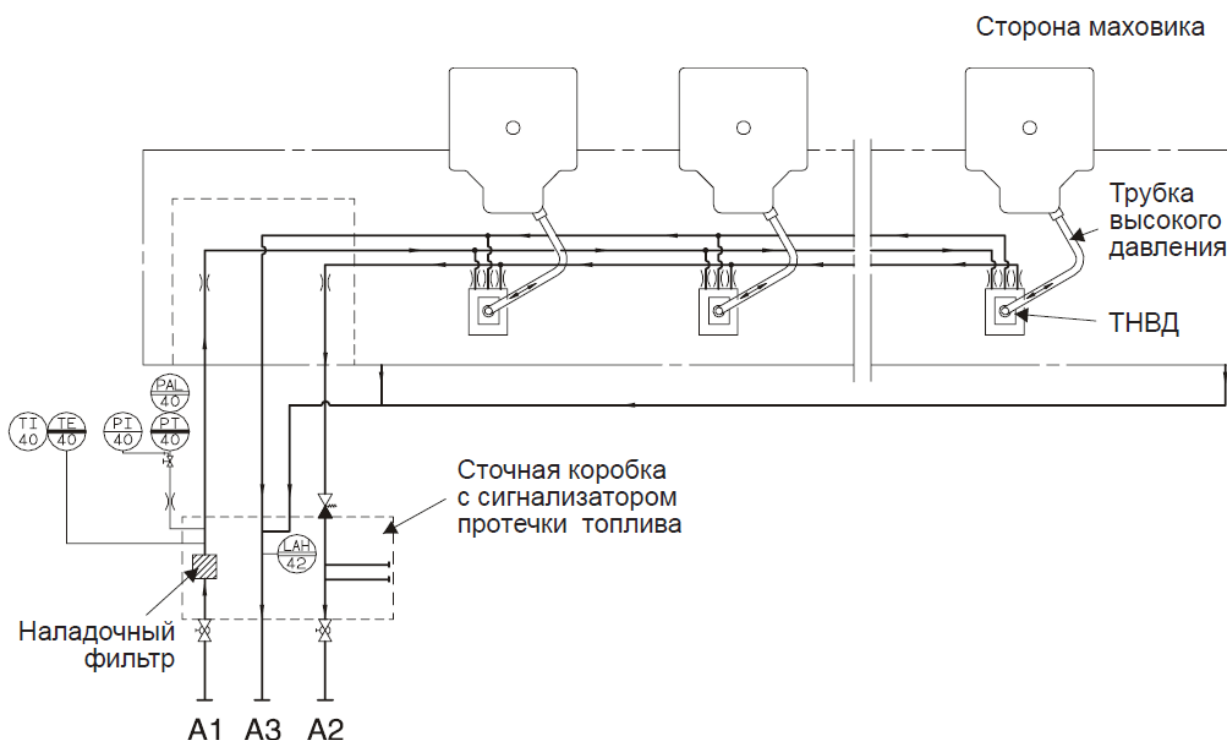


Рисунок 1.11 – Внутрішня паливна система двигуна 21/31

Протікання відпрацьованого масла і палива з відділення ПНВТ та від форсунок направляються в блок сигналізації протікання палива.

Блок сигналізації протікання складається з коробки з поплавковим реле (сигналізатором рівня). У разі підвищеної протікання реле ініціює сигнал «Аварія паливної системи». Блок обігрівается паливом, що подається до двигуна, дозволяє зберігати дренажний прохід вільним навіть у разі протікання відпрацьованого масла або палива великої в'язкості.

Система турбонадуву двигуна є системою з постійним тиском газів і складається з колектора випускних газів, турбонагнітача, охолоджувача надувного повітря і ресивера надувного повітря.

Колесо турбіни турбонагнітача приводиться випускними газами двигуна, а турбіна обертає компресор турбонагнітача, встановлений на тому ж валу. Компресор всмоктує повітря з машинного відділення через повітряні фільтри.

Турбонагнітач подає повітря через охолоджувач надувного повітря (ОХНП) в ресивер надувного повітря. З ресивера надувного повітря, повітря подається в кожен циліндр через впускні клапани.

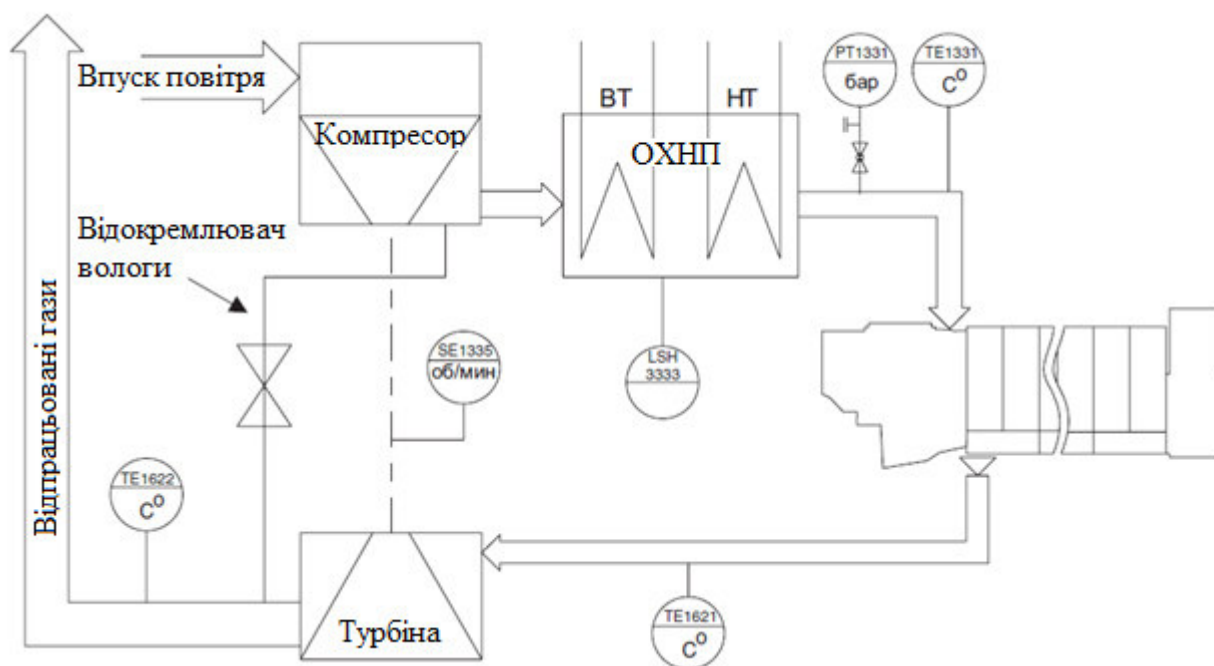


Рисунок 1.12 – Система турбонадуву

ОХНП є компактним двоступінчастим охолоджувачем трубчастого типу з великою поверхнею охолодження. Вода високої температури проходить через першу ступінь ОХНП, а вода низької температури – через другу ступінь.

В кожному ступені ОХНП вода проходить через нього двічі, оскільки кінцеві кришки спроектовані з перегородками, які змушують охолоджуючу воду повертатися. За стандартом уловлювач водяного туману розташовується після ОХНП.

Від випускних клапанів випускні гази проходять через колектор випускних газів, де вирівнюються пульсації тиску від окремих випускних клапанів, і направляються до турбонагнітача при постійному тиску, а далі – до глушника і на випуск.

Колектор вихлопних газів складається з трубчастих секцій, по одній на кожен циліндр, з'єднаних між собою за допомогою компенсаторів для запобігання високих напруг в трубах, виникаючих через теплові розширення.

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

Схема системи змащення наведена на рис. 1.13. Масляний піддон містить масло, необхідне для змащення і охолодження всіх рухомих деталей. Масло подається насосом, розташованим в носовому боксі, який приводиться від колінчастого вала за допомогою зубчастої передачі.

Перед тим, як масло потрапляє на підшипники та інші змащувальні поверхні, воно проходить незворотній клапан подвійної дії 8, через який в двигун надходить також масло з резервного насоса, охолоджувач масла самоочищається у протиточному фільтрі у верхній частини носового боксу двигуна. Розмір комірок сітки фільтра 30 мікрон. Розмір комірок захисної сітки фільтра – 100 мікрон.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

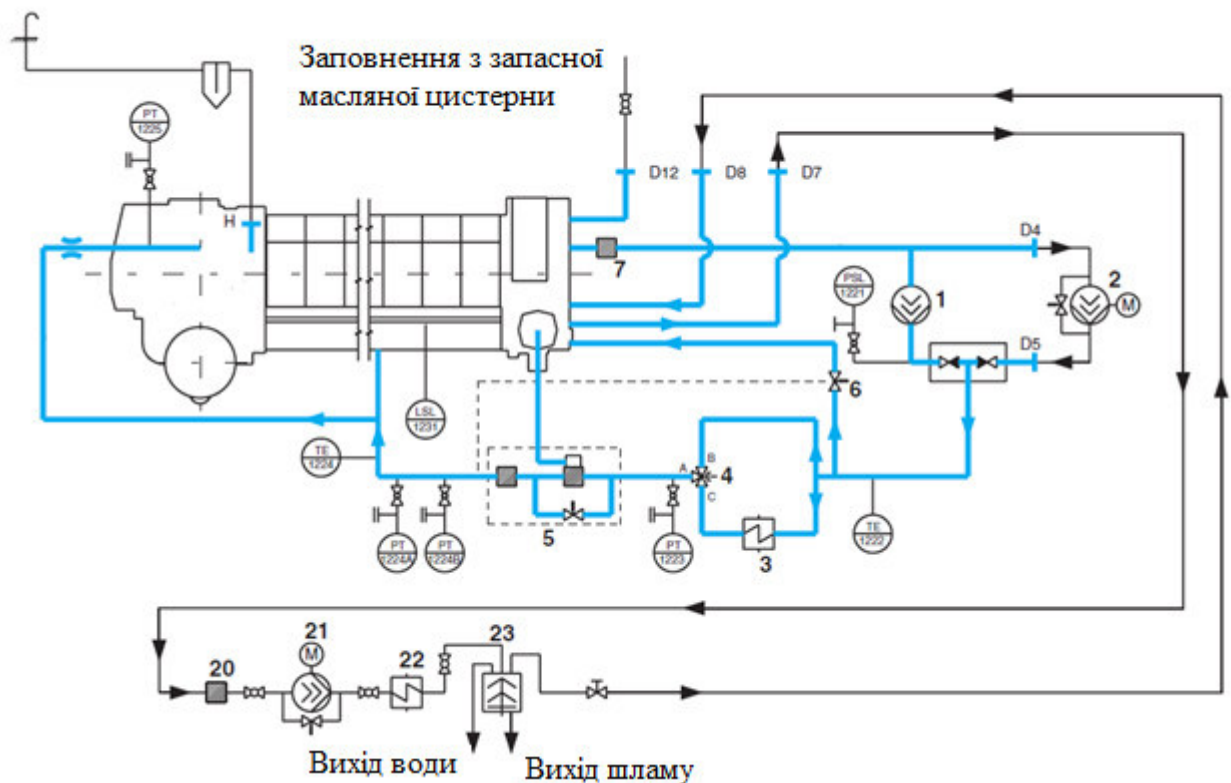


Рисунок 1.13 – Схема системи змащення:

1 – насос змазуючого масла, навісний, 2 – насос змазуючого масла, резервний, 3 – охолоджувач масла, 4 – термостатичний клапан (термостат), 5 – автоматичний протиточний фільтр, 6 – клапан регулювання тиску мастила, 7 – сітчастий фільтр (магнітна вставка), 20 – Фільтр попереднього очищення пурифікатора змазуючого мастила, 21 – насос пурифікатора мастила, 22 – підігрівач для пурифікатора мастила, 23 – пурифікатор мастила

Частинки, затримані протиточним фільтром, спускаються в піддон, звідки вони повинні віддалятися пурифікатором. Температура масла контролюється термостатичними елементами, вбудованими в носовий бокс. Термостатичні елементи при виготовленні налаштовані на певне значення температури, і ця уставка не може бути змінена, але, на вимогу класифікаційного товариства, може бути перерегульована вручну.

Потік масла через турбонагнітач контролюється дроселем на вході в турбонагнітач. Тиск масла регулюється гідравлічно навантаженим поршнем. Масло з насоса проходить через дросель в центрі поршня і створює тиск в камері за поршнем. Цей тиск притискає поршень до його сидла і таким чином керує тиском масла. Для регулювання тиску, підпружинений керуючий клапан був підключений до згаданої камери по нагнітальній стороні після протиточного фільтра. Налаштовуючи зусилля пружини, можна відрегулювати тиск масла.

Система **охолоджуючої води** складається з низькотемпературного і високотемпературного контурів. Обидва контури охолоджуються прісною водою. Вода в низькотемпературному контурі проходить через циркуляційний насос низької температури, який прокачує воду через другу ступінь ОХНП, а потім через охолоджувач масла.

Охолоджуюча вода високотемпературного контуру проходить через циркуляційний насос високотемпературного контуру, а потім через першу ступінь ОХНП до входу її в водяну охолоджувальну сорочку і кришку циліндра. Після цього, вода виходить з двигуна разом з водою низької температури.

Вода низької і високої температури виходить з двигуна через окремі триходові термостатичні клапани (термостати), які регулюють температуру води.

Система **стисненого повітря** двигуна складається з системи пуску, системи управління пуском і системи захисту. Крім того, система подає повітря в систему підкручення турбонагнітача і до стоп-циліндрів на кожному ПНВТ. Стиснене повітря надходить з балонів пускового повітря. Робочий тиск для повітряного стартера: мін. 1,5 МПа, макс. 3,0 МПа.

Для запобігання потрапляння сторонніх часток у внутрішню систему на повітропроводі до двигуна встановлюється сітчастий фільтр.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

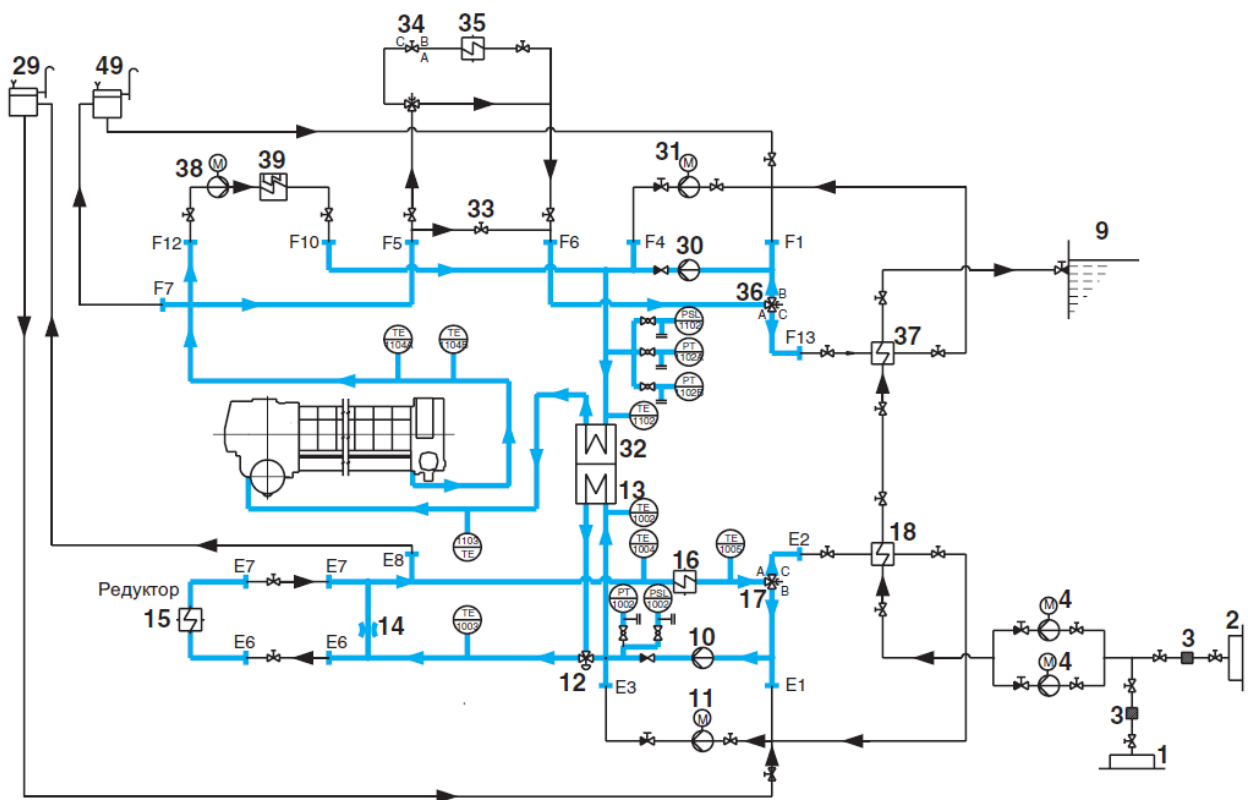


Рисунок 1.14 – Схема системи охолодження:

1 – кінгстон (нижній), 2 – кінгстон (верхній), 3 – фільтр забортної води, 4 – насос забортної води, 9 – клапан для зливу води за борт, 10 – насос НТ, 11 – резервний насос НТ, 12 – регулюючий клапан (поставка на вимогу), 13 – охолоджувач надувного повітря, секція НТ, 14 – дросель для охолоджуючої води до редуктора, 15 – охолоджувач масла редуктора, 16 – охолоджувач мастила двигуна, 17 – термостат НТ, 18 – центральний охолоджувач, 29 – розширювальний бак НТ, 30 – насос ВТ, 31 – резервний насос ВТ, 32 – охолоджувач наддув. повітря, секція ВТ, 33 – рег. клапана для утилізації тепла, 34 – термостат для утилізації тепла, 35 – утилізатор, 36 – термостат ВТ, 37 – Охолоджувач прісної води ВТ, 38 – циркуляційний насос для підігрівача, 39 – Підігрівач, 49 – Розширювальний бак ВТ

Двигун запускається за допомогою пневмостартера, який є мотором з коробкою передач, запобіжною муфтою и валом приводу з шестернями. Окрім того, є також головний пусковий клапан системи управління.

Управління повітряним стартером – електричне, за допомогою соленоїдного пневматичного клапана. Клапан може бути задіяний вручну з панелі управління на двигуні, також він може бути пристосований для дистанційного керування, ручного або автоматичного.

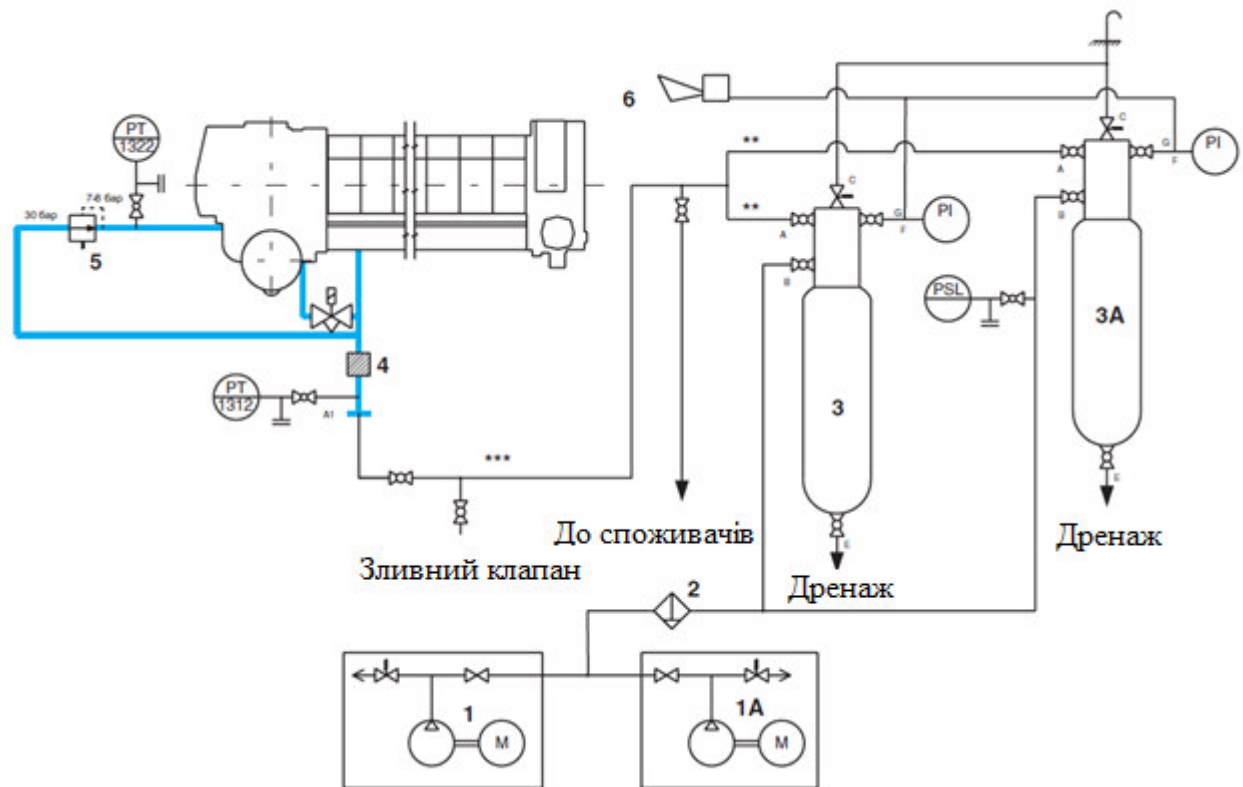


Рисунок 1.15 – Система стисненого повітря:

1 – компресор, 1А – компресор, 2 – фільтр з водо роздільником, 3 – балон пускового повітря, 3А – балон пускового повітря, 4 – фільтр, 5 – редукційний клапан, 6 – сифон

Для дистанційного включення котушка пуску приєднується таким чином, що кожен пусковий сигнал на пускову котушки проходить через функцію блокування пуску, з'єднану з системою захисту, встановлену на двигуні.

Крім того, пусковий клапан також діє в якості аварійного пускового клапана, за допомогою якого, в разі відмови живлення, повітряний стартер включається вручну.

При роботі двигуна подача повітря повинна не перериватися.

Як правило, кожен ПНВТ обладнаний пневматичним стоп-циліндром, який починає діяти при спрацьовуванні системи захисту. Система захисту оснащена електричним сигналом.

При відкритті пускового клапана повітря надходить в корпус приводного вала повітряного стартера. Повітря, впливаючи на поршень, вводить шестерню приводу в зачеплення із зубчастим вінцем на маховику двигуна.

Коли шестерня повністю введена в зачеплення, керуюче повітря надходить до головного пускового клапану і, відкриваючи його, потрапляє в повітряний стартер, який починає обертати двигун.

Коли частота обертання перевищить приблизно 158 хв^{-1} , при яких відбудеться спалах, пусковий клапан закривається, тим самим роз'єднуючи повітряний стартер з маховиком.

На двигуні реалізована концепція повністю електронного та резервного приладового оснащення, що забезпечує оператору всебічне і якісне уявлення, та надходження інформації про його стан.

Панель оператора – «Головний Двигун (ПО-ГД)» розміщена близько регулятора. Це зроблено для того, щоб забезпечити оператору найкращі умови щодо управління та контролю за всіма двигунами з одного поста.

Обчислювальний блок під назвою Alphacomm Safety (ACS) діє як незалежна система захисту, використовуючи ПО-ГД для відображення інформації. Обчислювальний блок під назвою Alphacomm Monitoring-Engine (АСМ-Е) виконує наступні завдання:

- діє як пристрій збору даних, використовуючи ПО-ГД для відображення інформації
- вимірювання і відображення найважливіших параметрів. Дубльовані вимірювання позначені на схемі символом "S".

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Устаткування двох блоків Alphacom, позначених ACS і АСМ-Е, ідентичні. Ці блоки діють як незалежні обчислювальні блоки, датчики яких безпосередньо приєднані до виходів. Електроживлення здійснюється від мережі постійного струму напругою 24 В з аварійним акумуляторним живленням. Блоки взаємодіють з панеллю оператора через послідовне з'єднання. Зв'язок блоків один з одним здійснюється через дубльовану мережу.

АСМ-Е пов'язаний з судновою системою управління за допомогою послідовного з'єднання, що дає доступ до всіх показань датчиків. ACS пов'язана з системою управління пропульсивного комплексу (PCS) за допомогою послідовного з'єднання, що робить можливим дистанційне відображення інформації і дії системи захисту.

Панель оператора головного двигуна (ПО-ГД) служить для трьох цілей:

- є каналом передачі даних до суднової системи керування;
- реалізує функції автоматичного управління головного двигуна;
- є резервною системою захисту

Взагалі, всі датчики є аналоговими, що дає користувачеві можливість прочитати точне значення будь-якого параметра. Здійснюється постійна перевірка того, що всі датчики знаходяться в встановлених межах вимірювання. Якщо який-небудь датчик вийде за свої межі виміру, оператор буде сповіщений про це.

Функція місцевого контролю використовує стовпчасті графіки або діаграми для представлення результатів усіх вимірювань на двигуні. Для зручності діаграми розташовані у вигляді мнемонічною схемою, яка показує орієнтовні положення датчиків двигуна.

На додаток до індикації на стовпчастих діаграмах, можна побачити точне значення кожного датчика, використовуючи дисплей "Measurement" ("Вимірювання") і кнопки. Над діаграмою, що відповідає обраному параметру, загориться жовта лампа. Цифровий дисплей під написом

"Measurement" покаже значення, що надходять від датчиків, приєднаних до АСМ-Е.

Система захисту

Система захисту діє як незалежна окрема система, що володіє своїми власні датчиками. Для того, щоб забезпечити ще більший рівень безпеки, функції захисту продубльовані в АСМ-Е, тобто при відмові діючої системи захисту, захист двигуна за допомогою автостопу буде забезпечуватися в повному обсязі через АСМ-Е, впливаючи на стоп-клапан регулятора.

У разі занадто високої частоти обертання турбонагнітача перепускний клапан відкриється для зниження оборотів турбонагнітача. При дистанційному управлінні PCS зазвичай уникає високої частоти обертання турбонагнітача, зменшуючи навантаження двигуна.

Захист за допомогою блокувань пуску діє і при дистанційному, і при місцевому управлінні. У разі несправності АСМ все блокування пуску автоматично будуть зняті. Оператор повинен запобігти небезпечну ситуацію при пуску двигуна, тобто перевірити, що валоповоротний механізм відключений.

Взагалі, всі виміри АСМ-Е можуть бути передані в судову систему керування, яка виявить можливі перевищення меж і видасть необхідний аварійно-попереджувальний сигнал по судну.

Підключення до судової АПС реалізовано за допомогою послідовного підключення "точка-точка". Нагляд за лінією зв'язку повинен здійснюватися судовою системою керування, тому що вона діє як головна.

Відповідно до програми обслуговування двигуна перевірки датчиків повинні проводитися при будь-якому великому перебиранні. Перевірка повинна засвідчити, що в разі ненормальних умов роботи для запобігання великої поломки буде видано попередження.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА

2.1 Методика розрахунку робочого циклу двигуна

В даному дипломному проєкті буде розглядатися розрахунковий цикл, який базується на класичному методі теплового розрахунку, розробленого професором В. І. Гриневецьким в 1907 р. А після, вчені Е. К. Мазінг, Н. Р. Брілінг, А. С. Орлін, Б. С. Стечкин розвинули цей метод стосовно до різних типів двигунів.

Метод теплового розрахунку заснований на загальновідомих положеннях термодинаміки і термохімії, досить повно охоплює сутність теплових явищ, що відбуваються в робочому циліндрі, і являє собою інженерне аналітичне дослідження. На його основі можна:

- кількісно оцінити ці явища як при проектуванні, так і при дослідженні побудованого двигуна;
- дати уявлення про основні параметри циклу і фактори, що впливають на робочі процеси циклу;
- визначити розрахункові значення параметрів стану робочого тіла у характерних точках розрахункового циклу, а також ефективні показники, що характеризують роботу двигуна в цілому.

Розрахунковий цикл поршневого ДВЗ значно відрізняється від ідеальних циклів. У розрахунковому циклі ДВЗ змінюються кількість робочого тіла, його склад і фізичні властивості. Внаслідок кінцевої швидкості згоряння і дисоціації продуктів згоряння, прихована в паливі хімічна енергія, виділяється не миттєво. У процесі розширення відбуваються догоряння палива і відновлення дисоційованих газів з виділенням теплоти. У розрахунковому циклі робоче тіло не можна приймати з постійними

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

теплоємністю, так як температура і склад газів в циліндрі значно змінюються. У розрахунковому циклі є також теплові та аеродинамічні втрати.

Метод забезпечує задовільну для практики точність розрахунків, незважаючи на те, що цикл, який протікає в двигуні, описується найпростішими термодинамічними процесами і вводиться ряд опитних коефіцієнтів, що оцінюють реальні умови протікання робочих процесів у двигуні.

Робочий процес двигуна складався з послідовного розрахунку п'ятих процесів, що відтворюються у циклі: наповнення, стиску, згоряння палива, розширення та випуску.

Точність розрахунку вважалася задовільною, якщо різниця між заданою і отриманою в результаті розрахунку потужності не перевищувала 0,5%. Для двигунів, що мають вільний газотурбінний наддув, при розрахунку циклу двигуна необхідно забезпечити баланс потужності турбіни і компресора турбокомпресора.

Забезпечення необхідного балансу отримувалось шляхом підбору таких значень коефіцієнта надлишку повітря α і тиск повітря за компресором турбокомпресора P_k , при якому потужність газової турбіни була рівній потужності компресора, насадженого на загальний з турбіною вал турбокомпресора. При цьому різниця між підбраним і дійсним значенням P_k (отриманим в результаті розрахунку циклу) не перевищувала 0,5%.

2.2 Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 293$ К.

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

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

Коефіцієнт надлишку повітря α . Цей коефіцієнт також залежить від розмірів циліндра і способу сумішоутворення. Цей параметр при підвищенні зменшує питому витрату пального, водночас зменшуючи середній ефективний тиск та потужність. Відповідно його слід підбирати з кількох спроб розрахунку з урахуванням одночасного досягнення заданої потужності і найкращої можливої економічності. Вибір остаточного значення α робиться з вибором оптимального значення P_k . З урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha = 2,34$.

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 проектованого. Приймаємо $\xi_z = 0,92$; $\xi_b = 0,95$.

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

Підігрів заряду від стінок циліндру ΔT_a . Приймаємо $\Delta T_a = 20$ К.

Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають увагу на тип двигуна та особливості системи газообміну. Приймаємо $\zeta = 0,98$.

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.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

$C = 0,870$ - кількість вуглецю;

$H = 0,128$ кг - кількість водню;

$S = 0,002$ кг - кількість сірки;

$O = 0,004$ кг - кількість кисню.

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

Кількість циліндрів i . Згідно даних двигуна - прототипу $i=5$.

Діаметр циліндру D . Згідно даних двигуна - прототипу $D=0,21$ м.

Хід поршня S . Згідно даних двигуна - прототипу $S=0,31$ м.

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

2.3 Розрахунок робочого циклу

Розрахунок процесу наповнення

Температура повітря за компресором, К

$$T_k = T_0 \times \left(1 + \frac{\frac{P_k}{P_0}^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right) = 293 \times \left(1 + \frac{\frac{0,41}{0,1013}^{0,286} - 1}{0,805} \right) = 471,93$$

Температура повітря перед двигуном, К

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 471,93 - 0,8 \times (471,93 - 293) = 316,26$$

Температура заряду наприкінці процесу наповнення, К

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{316,26 + 20 + 0,025 \times 820}{1 + 0,05} = 348,06$$

Тиск повітря перед двигуном, МПа

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,41 - 0,005 = 0,405$$

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тиск заряду наприкінці процесу наповнення, МПа

$$P_a = \xi_a \times P_s = 0,99 \times 0,397 = 0,401$$

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \eta) = \frac{12}{12 - 1} \times \frac{0,389}{0,397} \times \frac{342,8}{374,1} \times \frac{1}{1 + 0,05} \times (1 - 0,0) = 0,933$$

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, випар палива, згоряння палива наприкінці стиску. У зв'язку із цим точний термодинамічний опис процесу стиску в реальному двигуні ускладнено.

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 [7].

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 розрахунок:

$$n_l = 1,361$$

Тиск в кінці процесу стиску, МПа

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,401 \times 15^{1,361} = 16,731$$

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Температура в кінці процесу стиску, К

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1-1} = 348,06 \times 15^{1,361-1} = 937,04$$

Розрахунок процесу згоряння

Дійсна кількість повітря для згоряння, кмоль/кг

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} = \frac{1,6}{0,21} \times \frac{0,870}{12} + \frac{0,128}{4} + \frac{0,002}{32} - \frac{0,004}{32} = 1,164$$

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,130 + 0,004}{32 \times 1,164} = 1,0276$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{0,9049 + 0,025}{1 + 0,025} = 1,0269$$

Доля палива, що згоріла в точці z

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,92}{0,95} = 0,968$$

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z

$$\beta_z = 1 + \frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \times x_z = 1 + \frac{1,0276 - 1}{1 + 0,025} \times 0,968 = 1,026$$

Максимальна температура згоряння, К

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

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

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

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

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

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						35
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:

$$T_z = 1825$$

Максимальний тиск згоряння, МПа

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,2 \times 16,731 = 20,007$$

Розрахунок процесу розширення

Ступінь попереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,026}{1,2} \times \frac{1825}{937,04} = 1,665$$

Ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,665} = 9,31$$

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:

$$n_2 = 1,284$$

Температура в кінці процесу розширення, К

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1825 \times \frac{1}{9,31^{1,284-1}} = 968,213$$

Тиск в кінці процесу розширення, МПа

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{20,007}{9,31^{1,284-1}} = 1,144$$

Визначення індикаторних показників

Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа

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

$$= \frac{16,731}{15 - 1} \times \left[1,2 \times (1,665 - 1) + \frac{1,2 \times 1,665}{1,361 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{9,31^{1,361-1}} \right) - \frac{1}{1,284 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,284-1}} \right) \right] = 2,723$$

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \eta_n) = 2,723 \times 0,98 \times (1 - 0,08) = 2,669$$

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

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,405 \times 0,938}{2,34 \times 0,495 \times 316,261 \times 2,669} = 0,168$$

Індикаторний ККД

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,168 \times 42720} = 0,501$$

Визначення ефективних показників

Середній ефективний тиск, МПа

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,669 \times 0,9 = 2,402$$

Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,501 \times 0,9 = 0,451$$

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,168}{0,9} = 0,187$$

Ефективна потужність двигуна,

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,21^2 \times 0,31 \times 0,5 \times 2,402 \times 1000 \times 5 = 1004,625$$

Порівняння заданої та отриманої потужності двигуна

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{1004,625 - 1000}{1004,625} \times 100 = 0,42\%$$

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

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ

2.1 Огляд конструкції та принцип дії сучасних ПНВТ

2.1.1 Огляд конструкції сучасних ПНВТ

Паливні насоси, зазвичай звані паливними насосами високого тиску (ПНВТ), виконують такі функції:

- відмірювання (дозування) порції палива, яка подається в циліндр (величини циклової подачі) в повній відповідності з заданим режимом роботи двигуна.

- забезпечення необхідного моменту початку подачі палива (кута випередження), тривалості і характеристики впорскування (закону подачі).

- стиснення палива до заданих тисків упорскування [воз].

Основним елементом насоса (рис. 3.1) є плунжерна пара, що складається з плунжера 1 і прецизійно виготовленої втулки 2. Зазор між ними для зведення до мінімуму витоків палива витримується в межах 5...12 мкм (в залежності від розмірів пари і в'язкості використовуваного палива). Плунжер приводиться в рух паливним кулачком, зворотний хід відбувається за рахунок сили стиснутої пружини. Регулювання подачі здійснюється розворотом плунжера і його косою кромкою 3, щодо відсічного отвору 4. Подача палива до форсунки здійснюється через нагнітальний клапан 5.

У золотникових насосах знаходять застосування три способи регулювання.

При першому способі регулювання (по кінцю подачі) – (рис. 3.2 (а)) початок подачі палива (точка А) залишається незмінним незалежно від числа обертів і навантаження двигуна.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

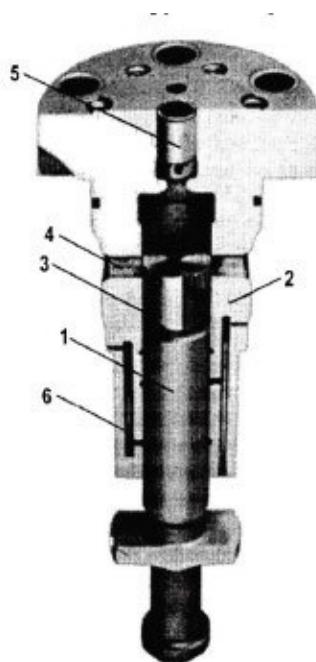


Рисунок 3.1 – Паливний насос високого тиску

Кінець нагнітання (точки B_1 , B_2 і B_3) змінюється шляхом повороту плунжера і викликану цим зміною положення його відсічної кромки щодо перепускних отворів у втулці плунжера. Поворотний механізм складається з зубчастої рейки, що входить в зачеплення з шестернею, насадженою на поворотну втулку, яка, в свою чергу, пов'язана з хвостовиком плунжера.

Рейка з'єднана з тягою управління двигуна і, при зміні режиму роботи двигуна, регулятором, при необхідності зменшити або збільшити подачу палива, переміщається в прямому або зворотному напрямку. У насосах цього типу кінець подачі при всіх навантаженнях відбувається на ділянці кривої руху плунжера, коли швидкість його досягає максимуму і тим самим забезпечуються високі тиски і швидкості уприскування.

Це, в свою чергу, визначає хороше розпилювання та згоряння палива. Чіткий кінець подачі забезпечується нагнітальним клапаном 9 з розвантажувальним паском.

При другому способі регулювання (по початку подачі) – (рис. 3.2 (б)) початок подачі палива змінний (точки A_1 , A_2 і A_3), а кінець подачі незмінний (точка B).

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

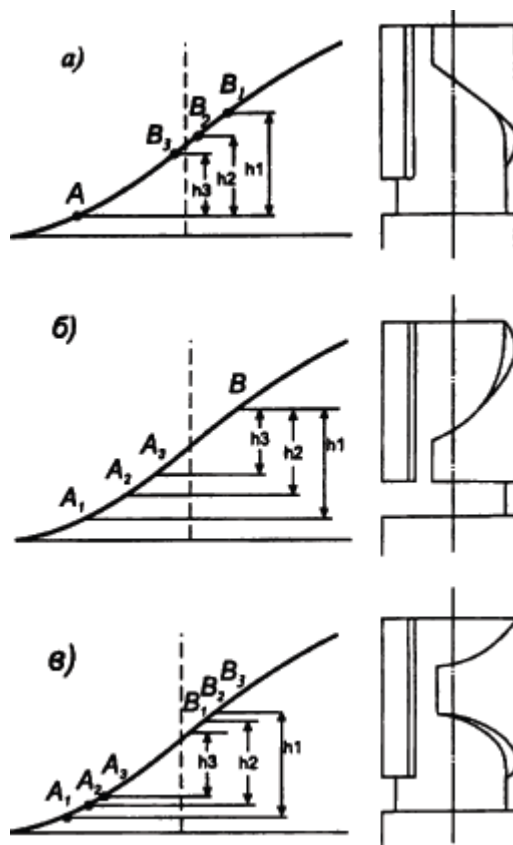


Рисунок 3.2 – Способи регулювання подачі практично на всій ділянці паливоподачі палива в циліндр

У цих насосах коса кромка, яка регулює величину подачі палива, розташовується у верхній частині плунжера і при його розвороті і русі вгору рано чи пізно перекриває впускний (відсічний) отвір у втулці, з цього моменту починається активний хід плунжера. А це означає, що рано чи пізно починається стиск і подача палива. Кінець активного ходу відповідає початку відсічення – сполучення відсічного вікна з проточкою в нижній частині плунжера, яка, як і в попередній конструкції, через поздовжню проріз сполучується з надплунжерним простором.

У цьому насосі зі зміною циклової подачі одночасно змінюється і кут випередження впорскування палива. Зменшення його подачі призводить до зменшення кута випередження, що забезпечує більш м'яке і своєчасне згоряння палива на режимах малих навантажень і обертів дизелів, що працюють на гребний гвинт. Важливо також, що початок подачі зміщується

на ділянку великих швидкостей плунжера (від точки A_1 до точки A_3), що означає більш інтенсивний ріст тисків в початковій стадії уприскування. Це сприяє поліпшенню розпилювання та згоряння палива, що для малих навантажень і обертів особливо важливо, так як при зниженні обертів тиск уприскування пропорційно падає.

При третьому способі регулювання (по початку і кінцю подачі – змішане регулювання) початок (точки A_1, A_2, A_3) і кінець подачі (точки B_1, B_2 і B_3) змінні, так як в цих насосах плунжери мають дві косі кромки, керуючі початком і кінцем подачі (з рис. 3.2 (в)). При зміні навантаження двигуна і викликаню цим зміною кількості палива, що впорскується, відбувається зміна як початку, так і кінця подачі. Такий спосіб регулювання забезпечує збереження раніше згадуваних переваг перших двох способів регулювання, але, одночасно виключає і їх недоліки. Це обумовлює широке застосування в сучасних дизелях насосів зі змішаним регулюванням.

3.1.2 Конструкція паливного насоса високого тиску двигуна MAN 5L21/31

Паливний насос і напрямна ролика є одним блоком, розміщеним над паливним кулачком. Мاستило від підшипника розподільного валу до направляючої ролику подається через відповідні канали.

Напрямна встановлена з ущільненнями на зовнішньому колі на різних рівнях, щоб уникнути витоків і дати можливість злити паливо з її нижньої частини. Конструкція також дає можливість додавати ущільнююче масло для мінімізації забруднення палива маслом.

Кількість палива, що впорскується насосом, регулюється поперечним зміщенням зубчастої рейки в бічній частині корпусу насоса. За допомогою зубчастого кільця, плунжер насоса з двома спіральними фрезерованими відсічними кромками, повертається, при цьому довжина ходу насоса

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

відраховується від моменту, коли плунжер закриває впускні отвори до тих пір, поки відсічні кромки знову не розкриють отвір.

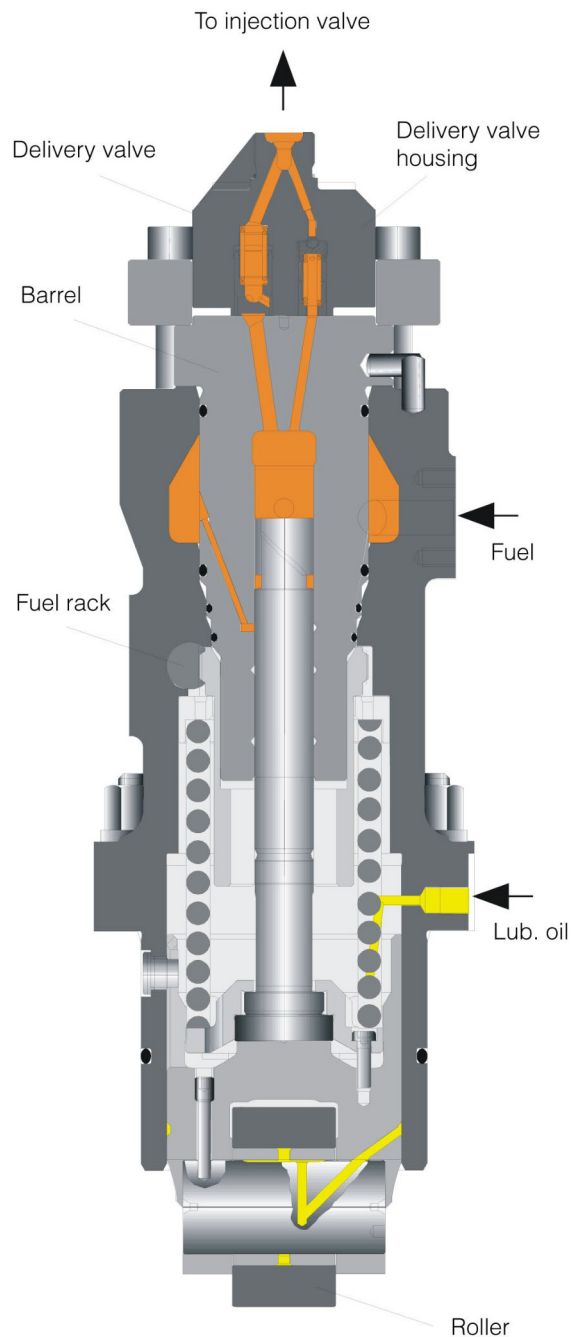


Рисунок 3.3 – Паливний насос високого тиску двигуна MAN 5L21/31

На верхній частині корпусу встановлений клапан подачі. У корпусі випускного клапана встановлений другий клапан. Цей клапан відкриється при виникненні хвиль високого тиску між голкою форсунки і нагнітальним клапаном насоса, змушуючи голку в паливній форсунці залишатися

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

закритою після завершення впорскування. Це зменшує утворення нагару навколо наконечника сопла і зменшує витрату палива.

Кількість палива, що впорскується в кожний циліндр, регулюється за допомогою регулятора, який підтримує частоту обертання двигуна в заданому діапазоні за допомогою безперервного позиціонування стійок паливного насоса через загальний регулюючий вал і підпружинені рейки для кожного насоса.

3.2 Кавітаційно-ерозійні руйнування в ПНВТ

Цей вид руйнувань в міру форсування двигунів і пов'язаних з цим зростанням тисків упорскування набув істотних розмірів. Виникнення кавітаційно-ерозійних руйнувань спостерігається в регулюючих органах і в елементах паливної системи. Під сідлом клапана з'являється кільцевий простір 1 (рис. 3.4), тиск в якому різко падає викликаючи появу бульбашок пари і розчиненого в паливі повітря. Під впливом хвиль тисків, що виникає при ударах в каналах напрямної 2 об корпус ПНВТ, бульбашки лопаються. В їх розріджену зону спрямовуються потоки палива, що створюють точкові удари великої сили (до тиску 1000 МПа), що і викликає ерозійне руйнування тарілок і сідел клапанів (рис. 3.4, а).

У золотниковому ПНВТ (рис. 3.4, б) відбувається відсічення тиску в кінці подачі, близького до максимуму, і тому потік палива в перерізі вікна набуває велику швидкість. При цьому напрямок її по ходу потоку змінюється (див. S_1 , S_2 , S_3), що створює сприятливі умови для виникнення кавітації з утворенням в кутку 8 вакуумних бульбашок, схлопування яких призводить до виникнення гідравлічних ударів, що викликають ерозійне руйнування бічної поверхні плунжера. У свою чергу удар потоку об корпус 5 ПНВТ і його поворот (по стрілці А) призводять до сильної ерозії корпусу, а в деяких випадках і поверхні 6 вікна втулки 4.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

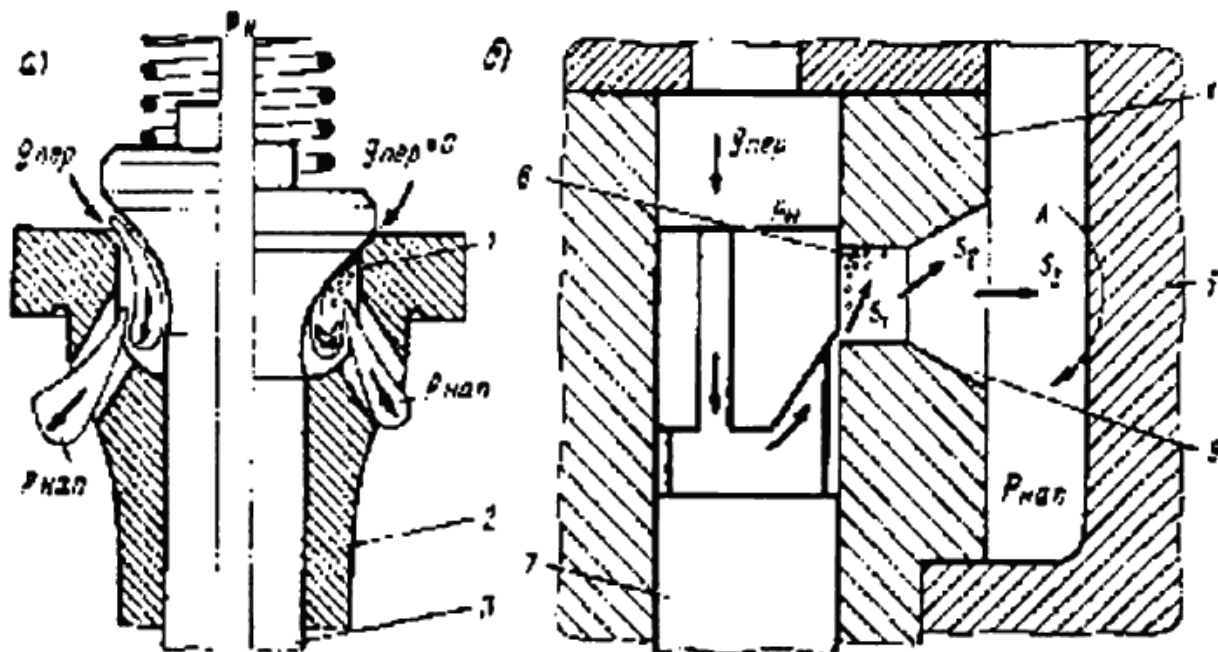


Рисунок 3.4 – Ерозійні руйнування в ПНВТ

Продукти зносу елементів ПНВТ у вигляді металевих частинок потоками палива розносяться по всій системі від насоса до форсунки, викликаючи їх зношування, що нерідко приводить до заклинювання плунжерних пар і голок.

3.3 Загальні вказівки по контролю, діагностуванню та ремонту ПНВТ

Роботу паливних насосів і їх приводів контролюють щодня. Оглядають чи відсутні сліди витікання по різьбовим з'єднанням і в сполученнях деталей. Звертають особливу увагу на наявність течі палива в сполученнях корпусу з плунжерною втулкою і в самій плунжерній парі. В односекційних насосах вони накопичуються на штовхачах і їх можна виявити через вікно в корпусі насоса (рис. 3.5). У блочному насосі протікання палива потрапляють в його картер, розріджують масло і викликають небезпеку задиру кулачкових шайб і

роликів штовхачів. Побічно їх наявність виявляють через погіршення якості масла.

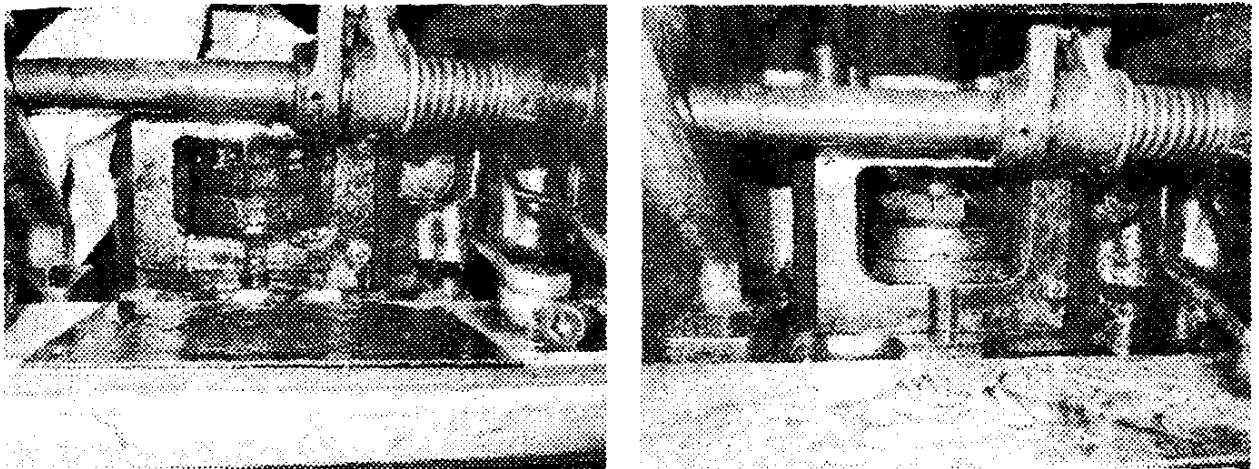


Рисунок 3.5 – Забруднений та очищений штовхач ПНВТ

Виявляють на дотик підвищену температуру корпусів, вібрацію, сторонні стуки. Їх відхилення можуть свідчити про пошкодження приводу (задири роликів, кулачкових шайб). Крім того, підвищена температура може бути наслідком нестачі палива для охолодження через зношування паливопідкачуючого насоса.

Досить чутливим засобом контролю роботи розподільних валів і штовхачів є детектори масляного туману. Задири на поверхнях кулачкових шайб, роликів штовхачів призводять до зростання температур цих деталей. Інтенсивне виділення тепла в "гарячих точках" посилює випаровування масла і концентрація масляного туману в районі штовхачів і в картері підвищується.

Основну увагу слід приділяти параметричному контролю паливних насосів по температурам випускних газів і тискам згоряння по циліндрах.

В процесі експлуатації деталі паливних насосів зношуються, в тому числі механічними домішками, що містяться в паливі. До них відносяться нагнітальні, всмоктувальні і перепускні клапани, а також плунжери з плунжерними втулками. Знос цих деталей призводить до збільшення

протікання палива через зазори, тобто погіршення щільності насосів. В результаті порушується закон подачі палива (кількість палива, що подається в циліндр по куту повороту колінчатого вала) і процес упорскування (зміна тиску уприскування по куту повороту колінчатого вала): паливо буде пізніше впорскуватися в циліндри, фактичні циклові подачі в порівнянні з геометричними будуть зменшуватися, а розпил палива погіршуватися. Знос кулачних шайб, роликів штовхачів, регулювальних болтів, шайб призводить до аналогічних явищ.

Погіршення розпилу палива викликає затримку самозаймання палива, зміщення згоряння на більш пізній період. При цьому тиску згоряння знижується, а температури випускних газів зростають. До таких же наслідків призводить більш пізнє уприскування палива. Зниження фактичної циклової подачі палива викликає менш інтенсивне згоряння палива при менших тисках і температурах.

Так як ці процеси для кожного циліндра індивідуальні, то для двигуна в цілому збільшується нерівномірність тисків згоряння, температура випускних газів і розподіл навантаження по циліндрах, тобто механічна і теплова напруженість, вібрація двигуна в цілому.

При цьому необхідно враховувати вплив на зазначені параметри технічного стану турбокомпресора, охолоджувача наддувочного повітря, форсунки.

При відхиленні вказаних параметрів від допустимих виявляють конкретні несправності паливного насоса шляхом контролю його щільності, кута випередження подачі палива, рівномірності подачі палива по циліндрах, огляду деталей насоса і приводу. Як правило, дані роботи виконують також попереджувально в терміни, встановлені заводом-виробником, як правило, не рідше одного разу на рік.

Щільність нагнітального клапана паливного насоса перевіряють способом, рекомендованим заводом-виробником.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Якщо передбачене ручне прокачування паливного насоса, провертають колінчастий вал в положення, при якому ролик штовхача буде перебувати на циліндричній частині кулачної шайби, тобто плунжер насоса буде в нижньому положенні з повним ходом. Рукоятку управління двигуном встановлюють в положення повної подачі палива. Від'єднують трубку форсунки і відводять її в сторону. Замість неї приєднують трубку з манометром на кінці або трійник з манометром, заглушивши його вільний штуцер глухою гайкою. Накидну гайку на насосі злегка затягують. За допомогою рукоятки ручного прокачування насоса (рис. 2.6) витісняють повітря з насоса до тих пір, поки з-під злегка затягнутої гайки не стане виходити паливо без повітряних бульбашок. Потім гайку остаточно затягують. Підвищують тиск до рекомендованого заводом-виробником (зазвичай трохи нижче тиску уприскування). При щільному приляганні клапана до сидла, тобто відсутності перетоків в нагнітальну порожнину плунжерної пари, воно не повинно помітно знижуватися за досить довгий проміжок часу, який визначається за рекомендаціями заводу-виробника.

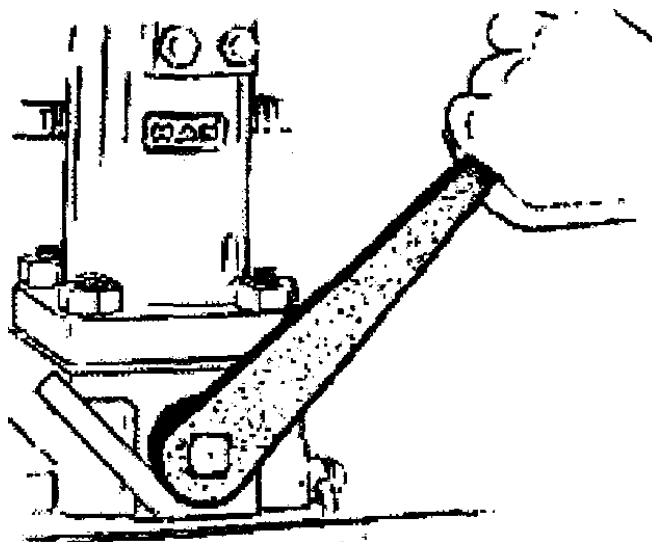


Рисунок 3.6 – Прокачка паливного насоса

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При їх відсутності можна керуватися наступними рекомендаціями. При початковому тиску близько 50 МПа (500 кгс/см²) падіння тиску на 10 МПа (100 кгс/см²) повинно відбуватися не менше ніж за 5 хв. При початковому тиску близько 30 МПа (300 кгс/см²) падіння тиску на 10 МПа (100 кгс/см²) має відбуватися не менше ніж за 10 хв. Більш швидке падіння тиску свідчить про недостатню щільності клапана і необхідності його притирання.

При наявності всмоктуючого клапана, його нещільність буде також приводити до полегшеного ходу плунжера при ручному прокачуванні насоса. Тому при незадовільних результатах опресовування плунжерної пари слід також перевірити всмоктуючий клапан.

Не менш, важливою є різниця щільності плунжерних пар на одному дизелі, що фактично викликає різницю циклових подач насосів и нерівномірність розподілу навантаження по циліндрах. При необхідності її контролюють одночасно з перевіркою щільності плунжерних пар. Рукояткою для ручного прокачування насоса створюють підтримуючий тиск, близько тиску уприскування (зазвичай 20 МПа). Для плунжерних пар, які перебувають в експлуатації, щільність вважають достатньою, якщо час збереження тиску буде 5-7 секунд. Для нових вона винна бути в межах 15...30 секунд. Різниця щільності плунжерних пар, встановлених на одному дизелі, що не винна перевищувати $\pm 20\%$ від середньої щільності. В іншому випадку двигун не буде якісно відрегульований.

Щільність всмоктуючого клапана перевіряють тільки при незадовільних результатах опресування плунжерної пари. Для цього виймають нагнітальний клапан і глушать отвір плунжерної втулки (щоб виключити вплив їх можливої нещільності). Опресовування виконують через нагнітальний штуцер сусіднім насосом або переносним гідравлічним насосом. Норми щільності ті ж, що для нагнітального клапана.

Перевірка нульової подачі палива насосами полягає у визначенні положення паливної рейки, при якому одночасно вимикаються всі насоси

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

двигуна. Для цього встановлюють рукоятку управління на "Стоп" і прокачують всі насоси. Рука не повинна відчувати опору.

Заводом-виробником нульова подача встановлюється з гарантією (рис. 2.7, а, б). Проріз 8 на голівці плунжера поступово заходить на вікно 7 втулки: спочатку вона торкається окружності вікна (рис. 2.7 б), а потім займає положення в центрі вікна (рис. 2.7, в). Тому за весь період суміщення перепускного каналу 8 з вікном 9 активний хід плунжера дорівнює нулю. Значить, нульова подача фактично починається раніше, ніж рукоятка управління прийде в положення "Стоп".

Проте, в процесі експлуатації можуть бути випадки її порушення, коли через втрату щільності плунжерних пар активний хід окремих секцій періодично збільшують, а нульову подачу не контролюють.

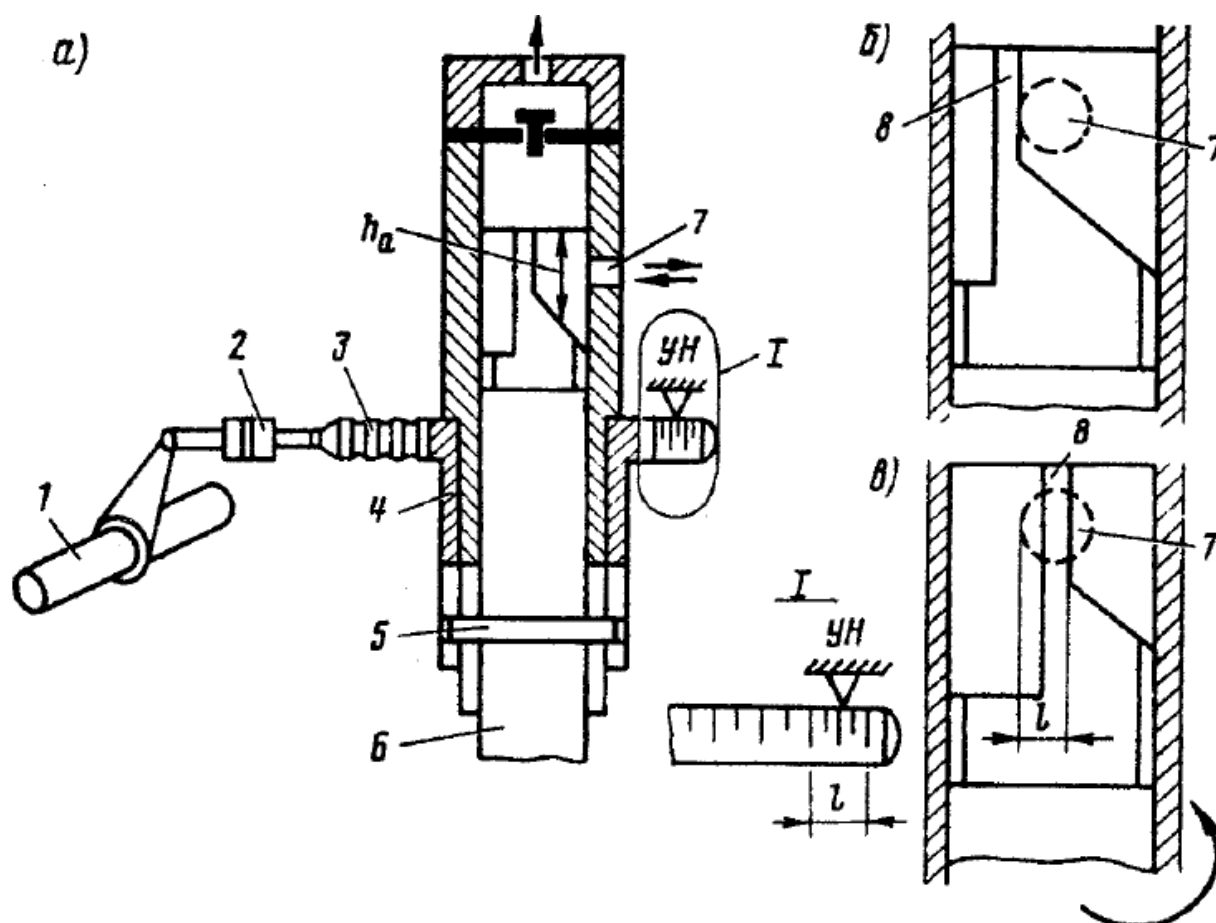


Рисунок 3.7 – Схема контролю нульової подачі палива

Колінчастий вал повертають в положення, при якому ролик приводу перевірки насоса знаходиться над циліндричною частиною кулачкової шайби. Рукоятку управління двигуном встановлюють в середнє положення (середньої подачі палива). Від'єднують нагнітальну трубку і, за допомогою важеля, прокачують насос. Паливо буде витікати з нагнітального штуцера. Паливну рейку за допомогою рукоятки управління двигуном переміщують в сторону зменшення подачі, прокачують насос, до припинення витікання палива. Це положення паливної рейки буде відповідати початку нульової подачі. Повинен залишитися запас її ходу до положення "Стоп" в 3...5 мм.

Перевірка початку подачі палива (кута випередження). Знос деталей ПНВТ і його приводу зазвичай викликає зменшення кута випередження подачі палива. Чим пізніше буде початок подачі палива, тим менш інтенсивно буде наростати тиск згоряння в циліндрі. Двигун буде працювати м'якше, але погіршаться фізико-хімічні процеси підготовки палива до самозаймання і подальшого згоряння, збільшаться втрати тепла з димовими газами і в охолоджуючу воду, знизиться потужність і ефективність роботи двигуна.

Кут випередження подачі палива встановлюється заводом-виробником в градусах повороту колінчастого вала до підходу поршня до ВМТ на ході стиснення. Початок подачі перевіряють при підвищеній різниці тисків згоряння по циліндрах різними способами в залежності від конструкції насоса.

Класичним є перевірка початку подачі палива моментоскопа. Він являє собою скляну трубку з внутрішнім діаметром 1,5-2,0 мм. 2 гумова трубка вона з'єднана зі сталевією трубкою - ніпель 3, на який попередньо надіта накидної гайкою 4. За допомогою цієї гайки і ніпель моментоскопа під'єднує до штуцера 5 насоса. Моментоскоп визначає закінчення закриття плунжера припливних отворів в плунжерній втулці, тобто початок подачі палива (див. рисунок 3.9).

Рукоятка управління двигуном встановлює в положенні "Робота" (найбільша подача палива). Рукояткою ручного прокачування насоса або обертання колінчастий вал видаляється повітря – в скляній трубці моментоскопу не повинні бути рух бульбашок повітря. Видалити зайве паливо струшуванням, щоб його рівень встановився посередині скляної трубки. Повільно повертає маховик дизеля і фіксує момент зрушування меніска палива в трубці, який і має відповідати початку подачі.

Спочатку підвищують знижений тиску згоряння, який свідчить про недовантаження циліндрів. Якщо підвищити в одному циліндрі тиск згоряння, то збільшиться його потужність. Відповідно будуть розвантажені інші циліндри і зменшено в них тиску згоряння.

Широко поширені конструкції насосів з регулювальним болтом, вкручувати в штовхач, а з іншого боку - що впирається в плунжер. Якщо, не змінюючи положення кулачної шайби, вивернути даний болт, то він підніме плунжер, який зі свого нижнього положення раніше досягне момент перекриття припливних отворів, тобто кут випередження подачі палива і тиск згоряння збільшаться. Конкретні рекомендації встановлює завод-виготовлювач по гранях болта.

До аналогічного результату приведе установка більш товстих регулювальні шайби під плунжером на насоси з відповідним компонованням. Установка прокладок під корпус насосної секції підніме її щодо кулачної шайби. Вона буде пізніше набігати на ролик штовхача і кут випередження подачі палива зменшиться. І навпаки – видаленням, наприклад, однієї прокладки товщиною 0,4 мм можна збільшити тиск згорання на 0,1 МПа (1 кгс/см²). При цьому плунжер опускається, збільшується час до перекриття припливних отворів і збільшується кут випередження подачі палива.

Зустрічаються конструкції насосів, в яких невеликі зміни кута випередження подачі палива досягаються зміщенням насоса в площині обертання кулачної шайби в межах спеціально встановлених обмежувачів.

3.4 Ремонт та технічне обслуговування паливного насосу високого тиску двигуна MAN 5L21/31

3.4.1 Демонтаж та монтаж ПНВТ

Демонтаж ПНВТ

- 1) Відкрутити накидну сполучну гайку трубки (рис. 3.8).
- 2) Зняти трубку високого тиску.

Накидна з'єднувальна гайка трубки

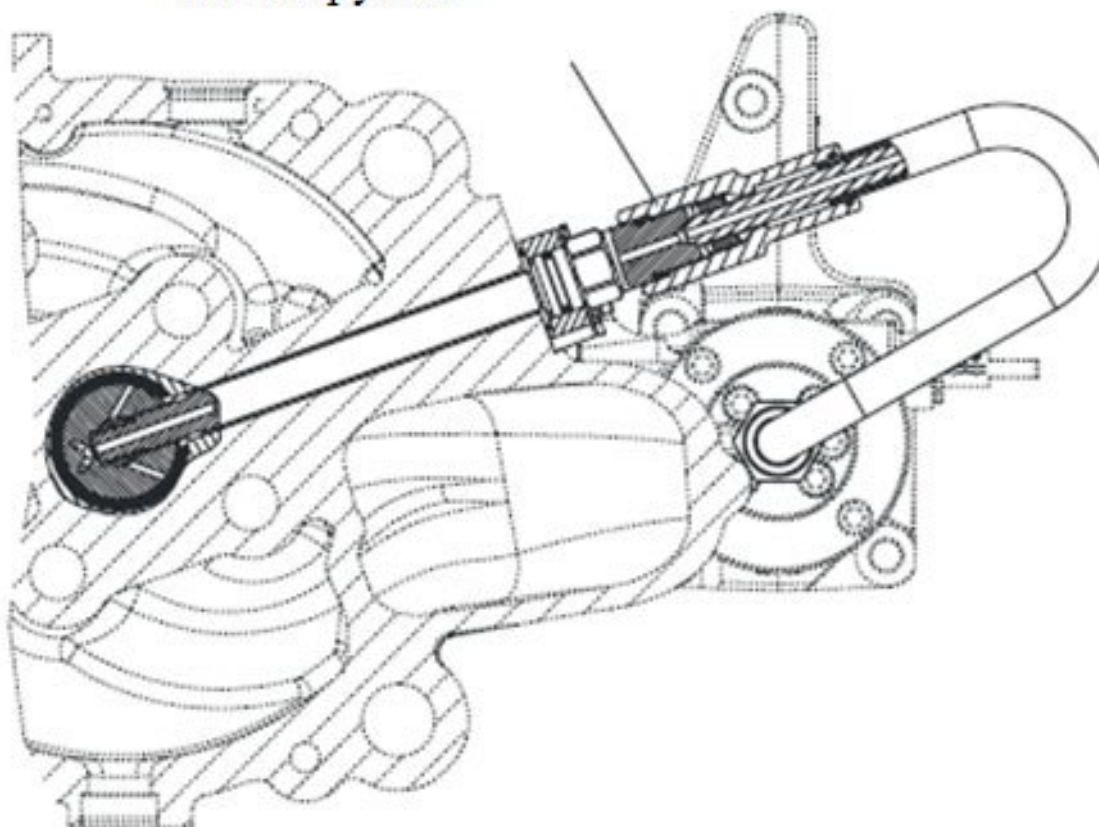


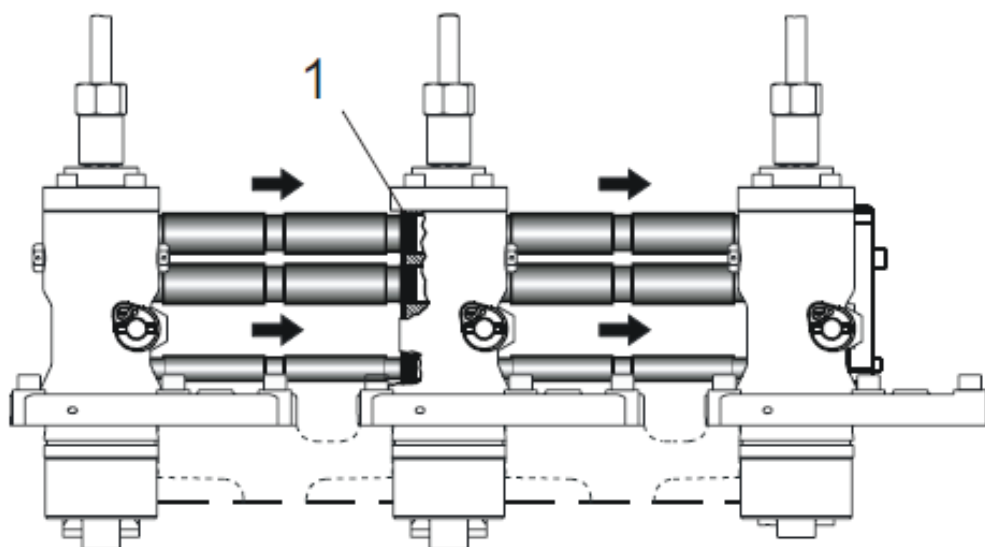
Рисунок 3.8 – Демонтаж трубки високого тиску

Демонтаж паливних і дренажних труб

- 4) Стопорне кільце (рис. 3.9), має бути зміщене в канавку в центрі трубки.

5) Прошовхнути паливні та дренажні труби в сусідній насос, поки демонтований ПНВТ не буде вільний (рис.3.9).

Шаг 1



Шаг 2

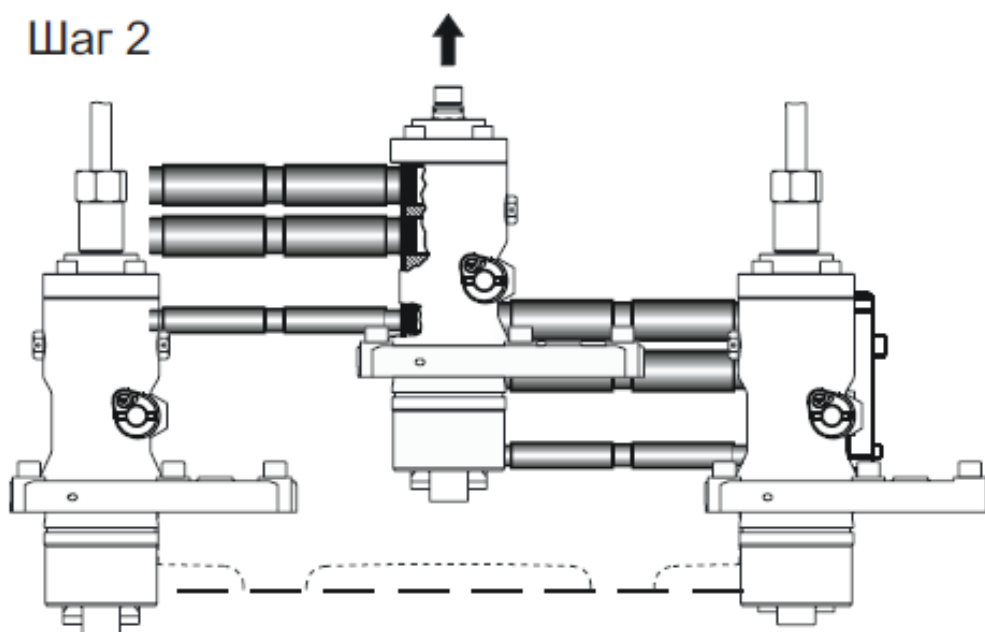


Рисунок 3.9 – Демонтаж паливних і дренажних труб

Зняття ПНВТ

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

6) Відключити навантажений пружиною важіль (поводок) від регулювальної тяги на ПНВТ.

7) Зняти гвинти нижнього фланця і вийняти ПНВТ.

Монтаж ПНВТ

З нових насосів зняти консервуюче масло.

8) Закріпити ПНВТ на станині двигуна, затягнувши п'ять болтів крутним моментом 120 Н·м.

9) Приєднати регулювальну тягу до повідця.

Збірка трубки високого тиску (ВТ)

10) Замінити О-кільце і покрити різьбові з'єднання високого тиску ПНВТ і патрубку високого тиску форсунки, включаючи О-кольця монтажною пастою.

11) Пригвинтити вручну паливну трубку високого тиску до патрубка високого тиску форсунки.

12) Необхідно перевірити правильність розташування ущільнюючого конусу паливної трубки високого тиску і гнізда головки ПНВТ. Ущільнювальний конус повинен бути повністю занурений в сполучне гніздо ПНВТ (близько 3,6 мм). Накидна гайка повинна бути вручну нагвинчена на гніздо ПНВТ (див. рис. 2.1).

13) Затягнути гайку на трубці високого тиску форсунки моментом 110 Нм.

14) Затягнути гайку на сполучному гнізді ПНВТ моментом 110 Нм.

Монтаж паливних і дренажних труб

15) Перевірити паливні та дренажні труби, вони не повинні мати ніяких гострих країв на зовнішньому колі, внутрішнє коло повинно бути вільне від будь-яких залишків.

16) Натріть О-кільця ПНВТ пастою для манжетного ущільнення.

17) Змонтуйте труби в порядку, зворотному порядку демонтажу (пункти 4-5).

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.4.2 Ремонт ПНВТ

Якщо поломки ПНВТ трапляються протягом гарантійного періоду, сервісне обслуговування повинно проводитися виробником або уповноваженим заводом, в іншому випадку втрачаються права на гарантію.

Увага! При розбиранні ПНВТ слід подбати, щоб робоче місце було чистим (були відсутні стружка та сміття). Рекомендується промити всі деталі дизельним паливом і покласти їх на неворсисту тканину.

Зібраний ПНВТ не повинен розташовуватися на твердій або металевій поверхні роликком. Не використовуйте видобуту регулюючу рейку в якості рукоятки!

Повинні бути враховані наступні рекомендації:

Не змішуйте деталі плунжерної пари і розвантажувального клапана (скидання постійного тиску).

Перед установкою поверхні високого тиску повинні бути забезпечені від пошкодження і промиті чистим дизельним паливом, та протерті неворсистою тканиною або папером.

Перед установкою демонтованих деталей їх О-кільця, як правило, повинні бути замінені на нові.

Повинні використовуватися тільки оригінальні О-кільця виробника. Перед установкою нанесіть на О-кільця мастило для монтажу.

Різьба і дотичні поверхні циліндричних гвинтів повинні бути покриті графітовою змазкою; затягуйте їх хрест-навхрест крок за кроком (в три прийоми однаковим крутним моментом) до необхідного моменту затягування.

Циліндричні гвинти повинні відгвинчуватися також хрест-навхрест крок за кроком (в три прийоми однаковим крутним моментом).

Розбирання ПНВТ

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 1) Натисніть штовхач за допомогою демонтажного пристрою, (рис. 2.10).
- 2) Вигвинтіть направляючий гвинт 10 (рис. 3.11).
- 3) Відпустіть зусилля пружини і зніміть демонтажний пристрій.
- 4) Витягніть напрямну штовхача 13, роликовий штовхач 14, ролик 22, упорну деталь пружини 11, пружину насоса 9 і плунжер 17, 18.

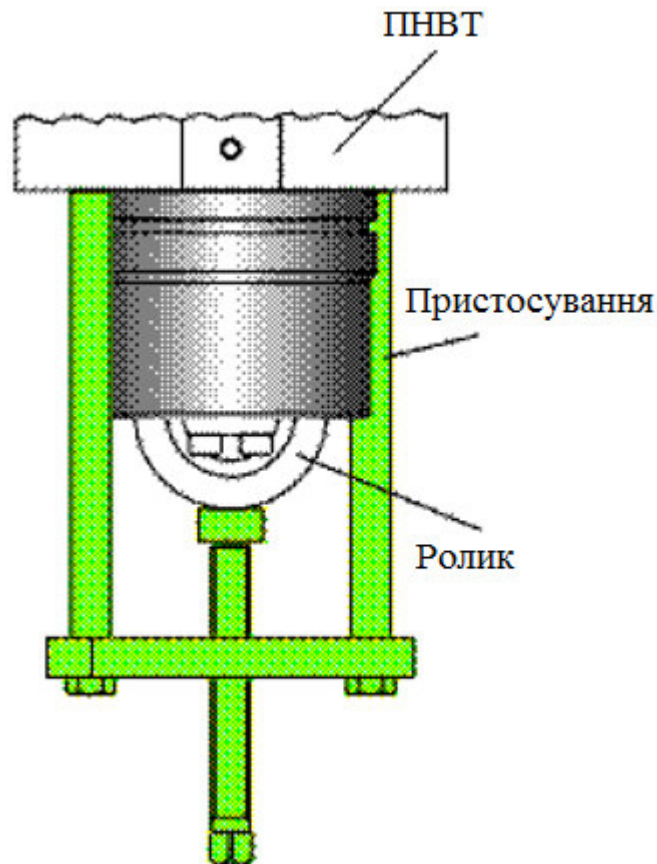


Рисунок 3.10 – Демонтаж роликового штовхача

Обережно! Не зашкодьте плунжер.

- 5) При необхідності зніміть стопорне кільце 20, що направляє палець 21 і вийміть регулювальну рейку 3 і пробку 23 з протилежного кінця регулювальної рейки 3.
- 6) Ослабте чотири циліндричних гвинта 2 і зніміть сполучаюче гніздо (кришку ПНВТ) 1 і втулку 7. Нагнітальний клапан знаходиться в сполучному гнізді 1 і може бути замінений тільки в складі вузла.
- 7) Обережно випресуйте втулку 7 алюмінієвою оправкою.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

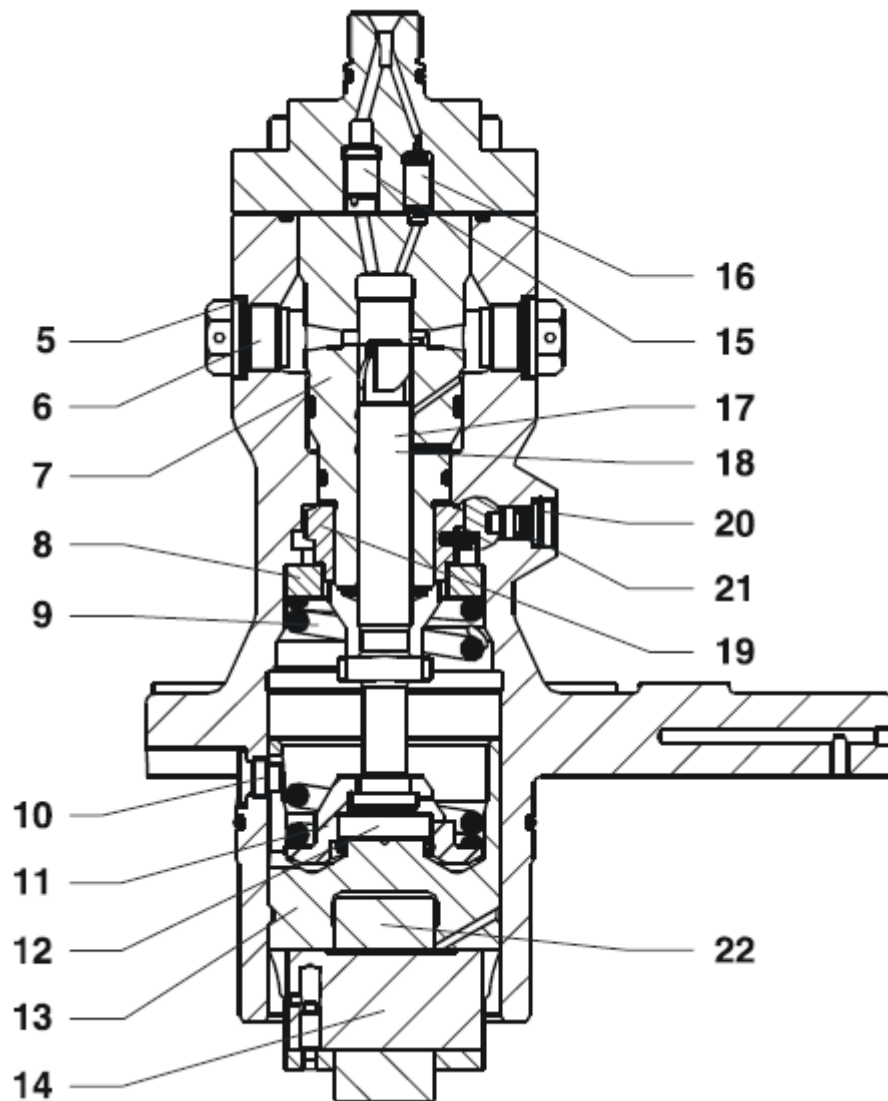


Рисунок 3.11 – Переріз ПНВТ двигуна МАН 21/31

Установка

8) Плунжерні пари можуть бути замінені тільки як єдине ціле (пара - плунжер і втулка).

9) Вставте втулку (7), (див. рис. 3.11), обережно в корпус ПНВТ (4), використовуючи алюмінієву оправку і неворсисту тканину для захисту поверхні високого тиску.

10) Встановіть кришку ПНВТ (1), (див. рис. 3.11), затягніть 4 циліндричних гвинта. Момент затяжки 2...60 Н м (див. рис. 3.11).

11) Поверніть ПНВТ вертикально на 180°.

12) Встановіть регулювальну втулку 19. **Слідкуйте за маркуванням!**

13) Далі збірка проводиться в порядку, зворотному розбиранню (провідний прямокутний виступ розташовується в прорізи регулювальної втулки). Направляючий гвинт 10 необхідно встановлювати з Loctite 0577.

14) Маркування на провідному виступі плунжера проставлене попереду розточення регулюючої рейки.

При заміні плунжерної пари рекомендується перевірити попередній хід. Це здійснюється наступним чином:

ПНВТ збирається без пружини насоса 9 і буферних болтів 6.

Плунжер 18 стопориться в перевірній розточці вимірювальним пальцем, (рис. 3.12).

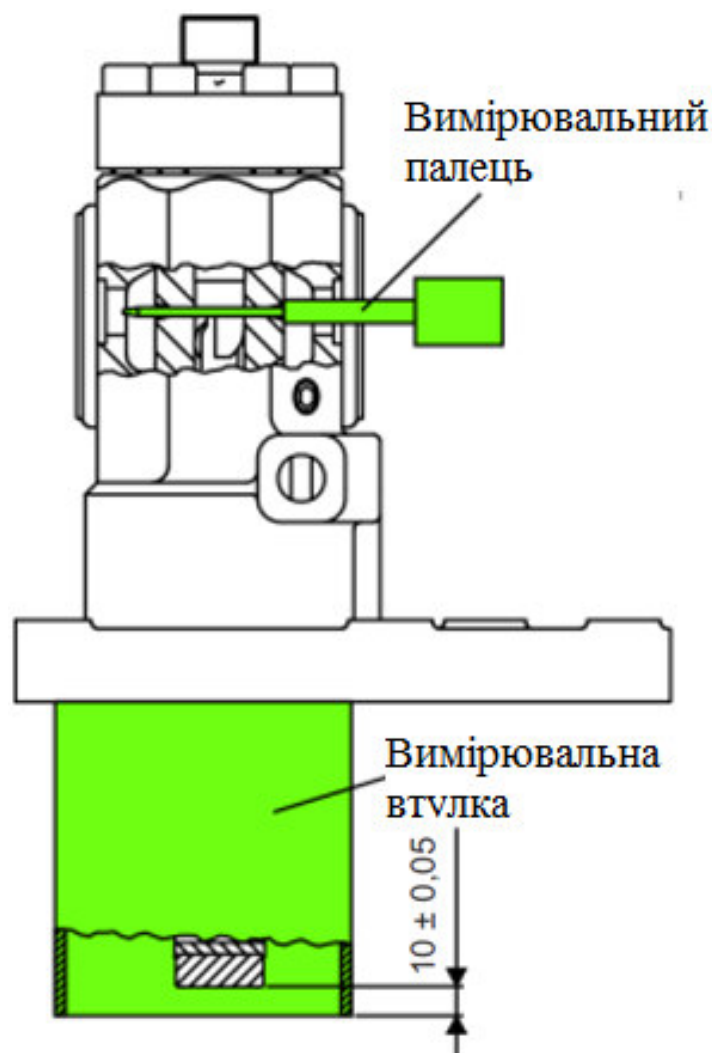


Рисунок 3.12 – Схема заклинки плунжеру

Відстань між вимірювальною втулкою і роликом вимірюється мікрометром-глибиноміром.

При необхідності, різниця до необхідного розміру $10 \pm 0,05$ мм повинна бути знову відрегульована за допомогою упорної деталі пружини 11.

Якщо попередній хід неправильний, максимальний тиск згоряння згаданого циліндра буде невірним.

Якщо попередній хід правильний, то зберіть ПНВТ з пружиною насоса 9 і буферними гвинтами 6 і затягніть моментом затяжки 120 Н·м.

Увага! Зафіксуйте напрямні гвинти 10 за допомогою Loctite 0577.

Консервація

Основні деталі кожного ПНВТ, надані виробником, були законсервовані в період їх перевірки на випробувальному стенді.

Як консервуюче масло використана P3 GERO CUT S 102, що має в'язкість $3,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 20°C відповідно до DIN 53015.

Всі зовнішні поверхні заґрунтовані.

Зовнішні оброблені поверхні покриваються антикорозійним мастилом або консервуються консервуючим маслом Castrol Rustilo DWX31, питома вага якого 820 кг/м^3 при 15°C згідно DIN 51757.

Термін дії консервації - 2 роки.

Переконасервація

Якщо ПНВТ не був введений в експлуатацію протягом двох років після його поставки, повинна бути проведена переконасервація. З цією метою верхня кришка на виході палива (сполучаюче гніздо) з ПНВТ повинна бути знята.

Камера всмоктування ПНВТ заповнюється консервуючим маслом через свердління виходу палива і закривається.

Порожнини заповнюються консервуючим складом переміщенням плунжера.

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Всі зовнішні поверхні, покриті антикорозійним складом, повинні бути законсервовані ще раз.

Щоб уникнути заїдання плунжера слід переміщати регулювальну рейку приблизно раз в 3 місяці.

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Шкідливі фактори в машинному відділенні

Підвищений рівень вібрації та шуму. Систематичний вплив вібрацій машино котельному відділенні (ГД, ДГ, валопроводу і т.д.) може бути причиною вібраційної хвороби. Відповідно до ДСТ 121012-78 норми по обмеженню загальних вібрацій (підлоги, сидінь і т.п.) встановлюють величину логарифмічного рівня коливальної швидкості в основних діапазонах середньо геометричними значеннями: 2, 4, 8, 16, 32 Гц, а норма по обмеженню локальної вібрації в октавних смугах частот із середньо геометричними значеннями: 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц (гігієнічні норми встановлені для тривалості робочої зміни 8 годин.). Власні частоти більшості внутрішніх органів людини 6...9 Гц, голови 25...30 Гц.

Джерелом шуму на судні є головний двигун, дизель-генератори, допоміжні механізми, вентилятори та т.п. Для зниження шуму застосовують кожухи, глушники, звукоізоляцію, пружні ущільнювачі. Обслуговуючий персонал МВ забезпечується засобами індивідуального захисту. Для зниження вібрації машини встановлюють на амортизатори, застосовують звуковбирні матеріали. Обслуговуючий персонал забезпечується ковдрами, антивібраційними рукавицями. Джерелами теплових випромінювань є нагріті поверхні машин, механізмів, устаткування, трубопроводів, радіостанції. Інтенсивність теплового випромінювання, що допускається, 350...500 Вт/м². Навколо працюючих механізмів у МВ виникають шкідливі теплові, електромагнітні й інші випромінювання. Джерелами шкідливих випромінювань є: нагріті поверхні машин і трубопроводів, радіостанція,

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

радіолокаційні станції. Для захисту персоналу застосовують герметизацію та теплоізоляцію механізмів, машин, паропроводів та газоходів.

Рівні шуму в МВ сучасних судів знаходяться в межах 105 - 117 дБ. Існують тимчасові і перехідні норми, згідно яких для захисту від дії шуму варто обмежувати час перебування в зонах дії шуму і застосовувати індивідуальні засоби захисту. Вушні вкладиші послабляють рівень шуму на 20 дБ, навушники - на 30 дБ, спільне застосування - на 35 дБ.

Кодексом передбачається обов'язкове застосування попереджувальних написів у входів до приміщення, для яких рівень шуму перевищує 85 дБ. На території з підвищеним рівнем шуму персонал має носити захисні навушники, які мають ізолювати вухо від негативного та небезпечного впливу шуму та вібрації. Для зниження шуму застосовують кожухи, глушники, звукоізоляцію, пружні ущільнювачі. Припустимий рівень широко-смугового шуму на робочих місцях регламентується ГОСТ 12.1.003-83.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань . Для захисту від впливу електромагнітних полів, створених антенами, генераторами, розподільними щитами, застосовують різні екрани, що відбивають чи поглинають електромагнітні випромінювання, використання засобів індивідуального захисту - комбінезони і халати з металізованої тканини. Рівні припустимого електромагнітного опромінення визначені ДСТ 121006-76 «Електромагнітні поля радіо частот». Загальні вимоги безпеки . Як уже було зазначено, судно належить до нового покоління, на усіх небезпечних зонах були передбачені відповідні етапи захисту від електромагнітних випромінювань.

Підвищена запиленість і загазованість. З основних забруднень, що можуть бути присутні у МВ - вуглеводні, сірчаний і сірчистий ангідрид, монооксид вуглецю і оксид азоту (IV) з концентрацією, що перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) , спричиняють виражений вплив на організм людини. Деякі з них, такі як оксиди азоту впливають на

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

центральну нервову та кровоносну систему, вступаючи в реакцію з гемоглобіном, викликають запаморочення, слабкість, нудоту. Діоксид азоту має подразнюючу дію, уражаючи органи дихання. Вуглекислий газ в концентрації більше 1 % викликає задишку, при концентрації 25 % – явище наркозу, що супроводжується пригніченням дихального центру та центральної нервової системи.

Захист від підвищеної запиленості і загазованості – вентиляція, а також газо та пиловловлюючі засоби індивідуального захисту й устаткування. Наявність шкідливих речовин в робочій зоні регламентується ДСТУ 12.1.005 –88. Нормативний документ, який регламентує параметри загазованості в приміщеннях є ДСТУ 2456 –94.

Температура повітря, вологість, швидкість повітря.

Серед шкідливих факторів, яким протидіє вентиляція можна виділити: температура, вологість та швидкість повітря і підвищена запиленість та загазованість робочої зони виробничих приміщень, які повинні оцінюватися відповідно до вимог санітарних правил і норм СанПіН 2.2.4.548-96 «Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень»

Нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату для робочої зони виробничих приміщень, є ГОСТ 12.1.005-88 та ДСН 3.3.6.042-99. В основу принципів нормування цих параметрів покладено диференційну оцінку оптимальних та допустимих метеорологічних умов у залежності від категорії робіт, періоду року та виду робочих місць.

Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це веде до зниження працездатності і може стати причиною травматизму. Низька температура може викликати місцеве чи загальне охолодження організму. Для підтримки нормальної температури передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря. Для підтримки гарного самопочуття людей

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

немаловажне значення має температура поверхонь огорожуючих приміщень. Вона повинна бути не нижче температури повітря в приміщенні більш ніж 6°C і не менше крапки роси. Нормування параметрів мікроклімату полягає у встановленні їх оптимальних або допустимих величин стосовно конкретних виробничих умов. Воно проводиться з урахуванням таких характеристик: ступеня важкості виконуваної роботи; пори року; кількості надлишкового тепла, що надходить у робочу зону від устаткування.

Освітленість. У МВ судна застосовується штучне освітлення. Нерівномірність освітлення робочих місць підвищує стомлюваність органів зору від частоті переадаптації зору - при перекладі погляду з більш освітленої поверхні на менш освітлену. Наявність тіней на робочих поверхнях, а також близькості, відбитої від робочих поверхонь устаткування створюють несприятливі умови для роботи органів зору. Найкращий розподіл світла на робочих місцях створює загальне освітлення. При аварійному висвітленні освітленість робочих поверхонь повинна бути не менш 25% установлених для робочого освітлення норм, а на сходінках трапа і проходах - не менш 5 лк. Норми освітленості регламентуються діючими нормами штучного освітлення на судах морського флоту ДСТ 2506-81. У МВ загальне освітлення на палубі згідно цих норм повинне бути не менш 20 лк, на шкалах приладів - 75 лк, на сходінках трапа - 20 лк.

4.2 Техніка безпеки при ремонті паливного насосу високого тиску

Перед початком робіт необхідно переконатися, що

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

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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.

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 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даного дипломного проекту було проаналізовано конструктивні особливості чотиритактного середньообертового двигуна MAN 5L21/31. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що, завдяки створенню сучасної концепції фірмою виробником та використанню оригінальних технічних рішень, двигун широко застосовуватися на судах.

Проте, завжди актуальною для суднових двигунів внутрішнього згоряння лишатиметься проблема надійної роботи всіх механізмів та двигуна в цілому. Для вирішення цієї проблеми необхідно своєчасно та ефективно проводити технічне обслуговування та ремонт механізмів та систем, оскільки їх елементи піддаються значному навантаженню. Одними з найбільш навантажених є деталі паливного насосу високого тиску, тому, в ході виконання роботи, значна увага приділена його ремонту та обслуговуванню.

Також проведено розрахунок робочого циклу двигуна за методикою Грінівецького - Мазінга, встановлено, що вказані параметри не перевищують значень, наведених фірмою-виробником.

В окремому розділі проведений аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливного насосу високого тиску в машинному відділенні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vessel Finder: НВ TAMBAQUI Bulk Carrier, IMO 9555785 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/details/9555785>
2. Wartsila [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com/media/news/01-10-2007-upgraded-wartsila-rt-flex50-engines>
3. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газодизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми бензинового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.
5. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна на альтернативних видах рідкого палива з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння». // Доценко С.М.– Первомайськ: ПФ НУК, 2021 - 50 с.
6. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В., Гірікович В.С.- Первомайськ ППІ НУК, 2010. – 52с.
7. Методичні вказівки до виконання практичної роботи розрахунок робочого процесу дизельного двигуна з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння» // Доценко С.М., Діденко О.В - Первомайськ ППІ НУК, 2012. – 36с.
8. Jouhara, H. Waste heat recovery technologies and applications [Text] / Hussam Jouhara, Navid Khordehgah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech,

					ПННІ НУК 14.2.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou // Thermal Science and Engineering Progress/
– Volume 6, June 2018, Pages 268-289.

9. A review of modified Organic Rankine cycles (ORCs) for internal combustion engine waste heat recovery (ICE-WHR) [Text] / Lingfeng Shi, Gequn Shu, Hua Tian, Shuai Deng // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Volume 92, September 2018, Pages 95-110.

10. Exergy based model predictive control of an integrated dual fuel engine and a waste heat recovery system [Text] / C.R. Reddy, V. Bonfochi Vinhaes, J.D. Naber, R.D. Robinett III, M. Shahbakhti // Control Engineering Practic. – Volume 135, June 2023, 105510 p.

11. MAN ES [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.man-es.com/discover/the-status-of-the-maritime-energy-transition>

12. MAN Energy Solutions and Orcan Energy agree to collaborate [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com/media/news/01-10-2007-upgraded-wartsila-rt-flex50-engines>

					ПННІ НУК 142.44.25.07.ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		