

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Модернізація паливної системи головного двигуна MAN B&W 6S50ME газозову «ATLANTIC GAS» для використання пропан-бутанового газового палива

Виконав:
студент групи 61-ТЕМмаг-22
_____ ***Друзенко О.А.***
(підпис)

Керівник роботи:
д-р техн. наук, проф.
(посада, науковий ступень, вчене звання)
_____ ***Ткач М.Р.***
(підпис)

Первомайськ - 2023 р.

Анотація

Представлений дипломний проект містить у собі 78 сторінок, 26 рисунків, 6 таблиць. При підготовці проекту було використано 12 джерел інформації.

У проекті розроблено ряд схемних та конструктивних рішень щодо покращення паливної економічності суднової енергетичної установки з головним двигуном MAN B&W 6S50ME шляхом використання у головному двигуні зрідженого газового палива.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, зріджене газове паливо, система, паливна економічність

Abstract

The diploma project includes 78 pages, 26 drawings, 6 tables. At design preparation it has been used 12 information source.

The project developed a series of circuitous and constructive solutions the fuel efficiency of the ship power plant from main engine MAN B&W 6S50ME by using in the main engine liquefied gas fuel.

Keywords: internal combustion engine, utilization, exhaust gas, fuel economy

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ.....	6
1.1 Опис судна	6
1.2 Опис енергетичної установки	9
1.3 Опис конструкції та систем головного двигуна.....	10
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА В СУЧАСНИХ СУДНОВИХ ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	34
2.1 Розрахунок робочого циклу двигуна	34
2.2 Технічне обслуговування модернізованого двигуна.....	45
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА ТА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА	47
3.1 Складності переведення суднових двигунів на газове паливо.....	47
3.2 Концепція суднового малообертового газового (LPG) двигуна	50
3.3 Модернізація паливної системи головного двигуна та суднової системи подачі палива	55
3.3.1 Модернізація паливної системи двигуна.....	55
3.4 Модернізація суднової системи подачі палива.....	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Шкідливі фактори в машинному відділенні.....	63
4.2 Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинно- котельному відділенні.....	66
4.3 Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту малообертових двигунів, що працюють на зрідженому газовому паливі...	70
4.4 Дії екіпажу в надзвичайних ситуаціях	72
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	77

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ						
Вим..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					Лит.	Лист	Листов
Розроб.	Друзенко О.А.				Модернізація паливної системи головного двигуна MAN B&W 6S50ME газозову «ATLANTIC GAS» для використання пропан-бутанового газового палива						
Перевір.	Ткач М.Р.										3
Н. Контр.	Ткач М.Р.				61ТЕМмаг-22						
Затв	Нестеренко В.В.										

ВСТУП

Враховуючи нестабільність сьогоденних цін на паливо в поєднанні із запровадженням більш жорсткого регулювання викидів в областях контролю викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах головних двигунів, актуальними є питання, пов'язані зі зменшенням експлуатаційних витрат судна. Важке нафтове паливо (HFO) є одним з найдешевших видів судового палива, і, хоча коливання цін на нього спостерігаються постійно, можна було компенсувати ці коливання протягом життєвого циклу судна відносно простими операційними або технічними заходами.

Впровадження MARPOL Annex VI з 1 січня 2015 р. при експлуатації на паливах, які містять менше 0,1 % сірки у ЕСА, сьогодні змусило багатьох власників та операторів проводити власні дослідження щодо економічної доцільності експлуатації альтернативних видів палива. Це, в свою чергу, привело до відродження інтересу до альтернативних видів палива, зокрема газового палива, який дещо зменшився через збільшення об'ємів світового видобутку нафти. Газове паливо є доступним у формі зрідженого природнього газу (LNG) та зрідженого нафтового газу (LPG), використання яких стрімко набуває популярності в судовій енергетиці в основному за рахунок політичних та фінансових ініціатив, які призвели до збільшення об'ємів фінансування та будівництва бункеровочних станцій та інших об'єктів газової інфраструктури в рамках програмами ЕСА.

Основною проблемою при використанні газового палива на судні є відсутність резервуарів для зберігання такого палива. Але у спеціалізованих судах для перевезення газового палива, яким є прототип даного дипломного проекту, такі ємності є невід'ємною складовою судна, тому переобладнання паливної системи значно спрощується.

Оскільки більшість суден торгового флоту використовуються на короткострокових мінливих маршрутах, досить важко прогнозувати

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		4

наявність газового палива. Для танкерів-перевізників LPG, де газ вже є на борту, не існує суттєвих перепон по застосуванню його у якості основного палива суднової енергетичної установки, зокрема у головному двигуні. На сьогоднішній день на ринку суднового обладнання існує велика кількість пропозицій готових елементів паливних систем, використання яких дозволяє провести дообладнання головного двигуна.

Мета даного дипломного проекту – розробка схемних та конструктивних рішень, що дозволять використовувати зріджене газове паливо (LPG) у головному двигуні.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Опис судна

ATLANTIC GAS (IMO 9662019, MMSI 219302000) є першим судном у серії з шести одиниць, побудоване для чилійського судновласника Ultragas в рамках своєї програми оновлення флоту, яка передбачає, що у флоті цього власника з'являться більше екологічно чистих суден. Судно було доставлено власнику у вересні 2014 з STX Offshore & Shipbuilding, рис. 1.1 [1].

Судно призначене для переміщення та транспортування охолоджених скраплених газів. Суднова система "Atlantic Gas" складається з чотирьох вантажних відсіків (P & S) з верхнім та подвійним дном, семи пар баластних резервуарів та двох пар паливних баків для важкого палива. Чотири ізольовані вантажні відсіки є танками IMO типу C, призначені для максимальної щільності – 972 тонн/м³, максимального тиску газу 5,3 бара (0,53 МПа) і найнижчої температури –52 °С. Додаванням до судна екологічно чистої концепції є дві системи очищення води від баласту Panasia потужністю 500 м³/год. Креслення судна наведено на рис. 1.2

Судно має енергетичну установку з головним двигуном MAN 6S50ME, що має потужність 7310 кВт при MCR та забезпечує експлуатаційну швидкість судна 16 вузлів. Судно також оснащено шахтним гвинтом фіксованого шагу, розробленим та виготовленим компаніями STX Offshore & Shipbuilding та Nakashima Propeller, діаметром 5,8 м. Рульова установка також особлива, включає навігаційну та контрольну-сигнальну систему. Основні параметри судна наведено в таблиці 1.1.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна "Atlantic Gas"

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

Таблиця 1.1 – Технічні параметри судна

Параметр	Значення
Довжина найбільша, м	159,83
Довжина між перпендикулярами, м	152,75
Ширина найбільша, м	26,60
Висота до головної палуби, м	17,40
Осадка, м	11,50
Дедвейт, т	24218
Об'єм вантажних танків, м ³	22721
Об'єм баластних танків, м ³	11058
Швидкість судна, вуз	16,0

Контроль навантаження на вантажні резервуари (тиску газу) здійснюється для забезпечення того, щоб стан судна знаходився в заданих межах міцності та стійкості.

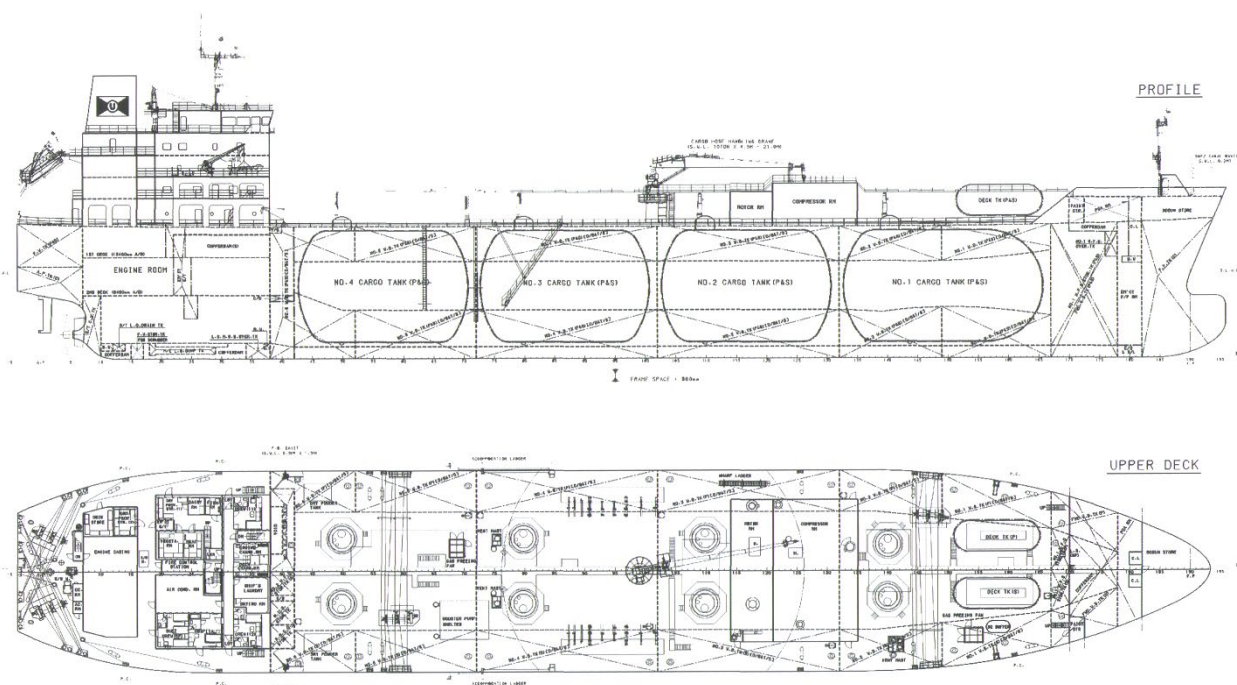


Рисунок 1.2 – Судно "Atlantic Gas"

Окрім перевезення зрідженого нафтового газу (LPG) судно може використовуватись для перевезення пропілена, пропана, комерційного пропана, пропан-бутанової суміші, безводного аміаку, вінілхлориду, мономеру (VCM), бутана, бутилена, бутадієна, бутана, диметиламіна, діетилового ефіру, етиламіна, ізопрена (мономер), ізопропіламіна, вінілового ефіра (фракція C4), пентана (всі ізомери), пентена (всі ізомери).

1.2 Опис енергетичної установки

В якості головного, на судні встановлений двотактний дизель з газотурбінним наддуванням MAN 6S50ME (MAN Diesel & Turbo) з діаметром циліндра 500 і ходом поршня 2000 мм [2].

Двигуни серії S фірми MAN Diesel & Turbo характеризуються високим співвідношення ходу поршня до діаметра циліндрів і високим ступенем стиснення. Ці характеристики спрощують конструкцію камери згоряння й дозволяють мати високі експлуатаційні показники при роботі на як на режимах часткових навантажень і при високій потужності.

Використовуваний двигун має потужність $N_e = 7310$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n_{кв} = 115$ хв⁻¹.

Суднова електроенергетична установка складається з трьох допоміжних дизель-генераторів 6L23/30 потужністю 960 кВт при 900 хв⁻¹ та котла фірми KangRim Heavy Industries.

На даному судні встановлено електрогідравлічний під'ємний кран з робочим радіусом 4,5-20 м, вантажопідйомністю до 10 тонн, кутом повороту 360°, швидкість підйому 20 м/хв без навантаження, кут нахилу 78°, а також два допоміжних електричних під'ємних крана.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

1.3 Опис конструкції та систем головного двигуна

Дизель ряду MAN B&W 6S50 ME-C – це двотактний, шестициліндровий, реверсивний однорядний двигун внутрішнього згорання з вертикально розташованим циліндрами, рис. 1.3.

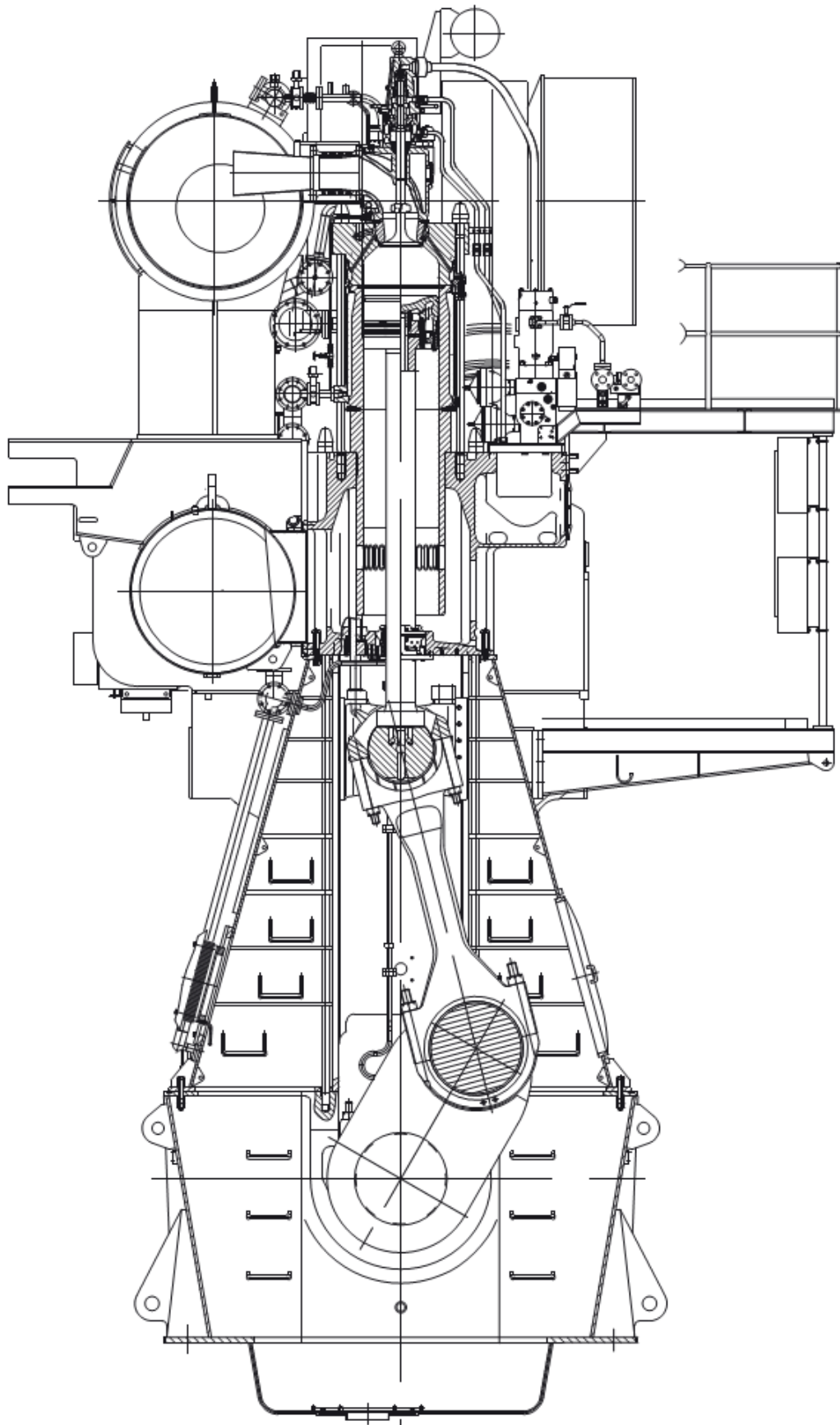
Двигуни модельного ряду MC (продовженням якого є двигуни типу ME) – перші двигуни компанії MAN B&W з прямоточно-клапанною продувкою. Потік повітря рухається вздовж вісі циліндру з чистим витісненням продуктів згорання без значного перемішування їх з повітрям. Завдяки якій організації процесу газообміну двигуни з такою схемою продувки мають найменші значення коефіцієнту залишкових газів.

Тангенціальне розташування вікон відносно стінки циліндру забезпечує закручення потоків повітря, що надходять в циліндр і їх гвинтоподібний рух від продувних вікон до випускних клапанів. Тангенціальний обертальний рух повітря зберігається до кінця стиснення і сприяє покращенню сумішоутворення.

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

На малих ходах двигун забезпечується допоміжними компресорами з електричним приводом. При набиранні навантаження компресори автоматично відключаються при надмірному тиску наддуву 0,065-0,07 МПа, при скиданні навантаження двигуна компресори включаються при тиску надувного повітря 0,045...0,040 МПа. На повних ходах надувне повітря двигуна стискається до тиску 0,26...0,39 МПа. Вихлопні гази з усіх циліндрів надходять в один загальний вихлопний ресивер, що і утворює систему наддуву при постійному тиску.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10



317 72 1

Рисунок 1.3 – Двигун MAN B&W S50ME-C

										Аркуш
										11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ					

Фундаментна рама двигуна має підвищену жорсткість у порівнянні з більш ранніми конструкціями за рахунок її коробчатої форми. У фундаментній рамі вварені поперечні сталеві литі опори для рамних підшипників, де розташовані сталеві тонкостінні вкладиші, залиті білим металом. З носа двигуна є невеликий відсік для розміщення поршневого демпфера осьових коливань і ланцюгового приводу противаг для урівноваження моментів 2-го порядку.

Анкерні болти двигуна – сталеві з'їзвані, складаються з двох частин, стягують воедино блок, станину і фундаментну раму, рис. 1.4. Гайки анкерних болтів затягуються гідравлічно.

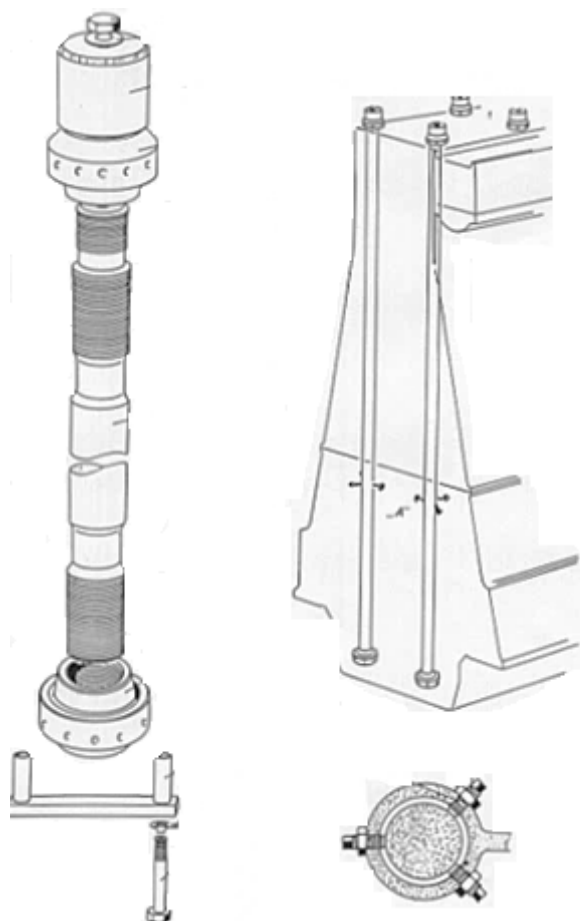


Рисунок 1.4– Анкерні болти

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Кришка циліндра. Кришка циліндра виготовлена із сталі і має центральний отвір для випускного клапана, який кріпиться чотирма шпильками. Крім того, кришка має отвори для форсунок, які монтують в корпусах з використанням шпильок під гайками і з тарілчастими пружинами, рис. 1.5. Інші отвори передбачені для пускового клапана, запобіжного клапана і індикаторного крана.

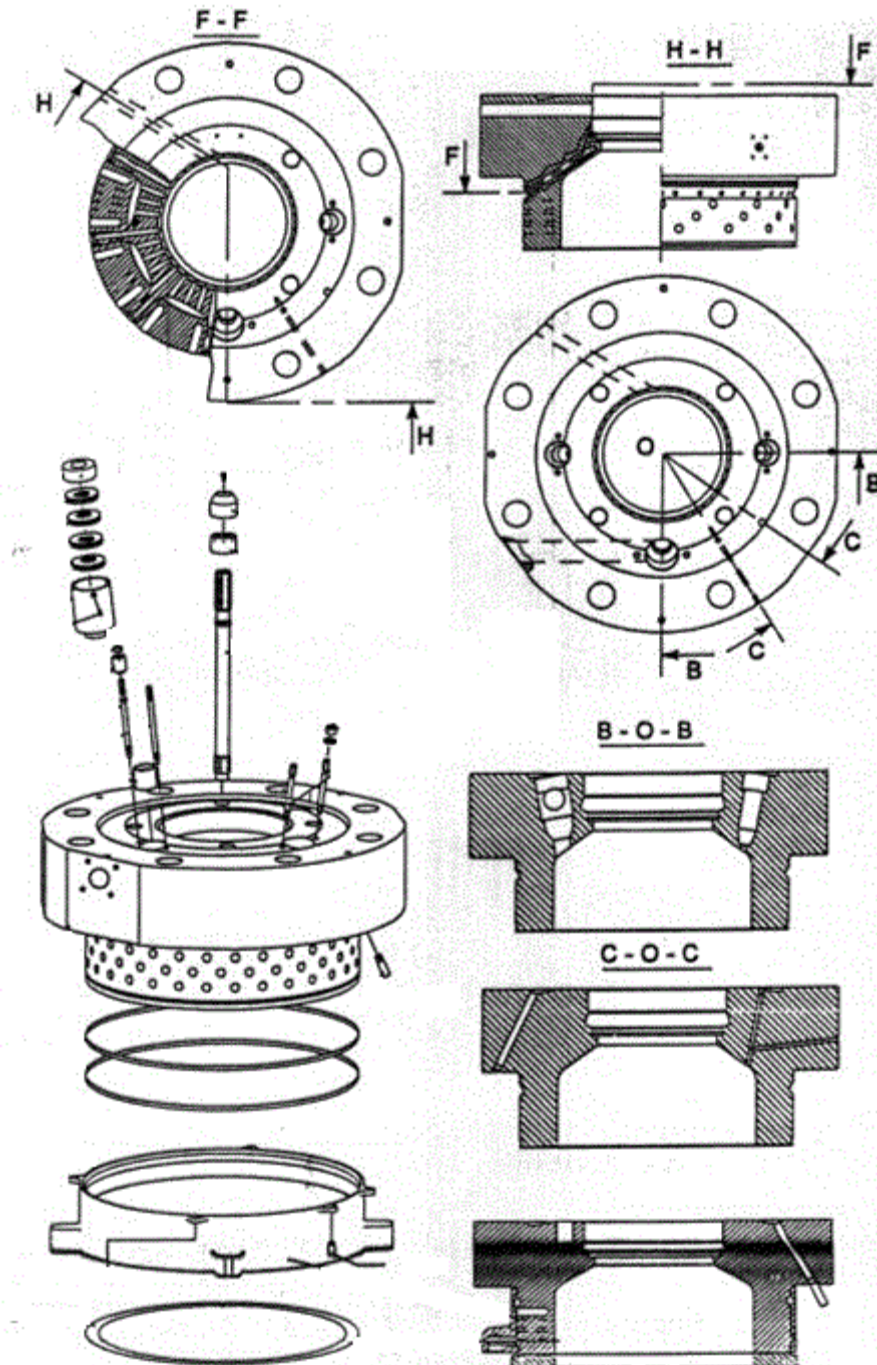


Рисунок 1.5 – Кришка циліндра

Охолоджуюча сорочка встановлена в нижній частині кришки циліндра, утворюючи порожнина охолодження. Інша охолоджуюча порожнина утворюється навколо сідла випускного клапана після його установки. Ці дві порожнини з'єднані великою кількістю радіальних свердлень для охолодження кришки.

Вода подається з сорочки охолодження навколо втулки циліндра і надходить через перехідник в сорочку охолодження навколо кришки циліндра, і далі, через отвори в порожнину навколо сідла випускного клапана. З кришки вода відводиться через два відповідні отвори. Через один з отворів вода виходить в головну випускную трубу охолоджуючої води, через інший отвір вода виходить в головну випускную трубу через корпус випускного клапана. Ущільнення між кришкою циліндра і втулкою циліндра забезпечується за допомогою кільця ущільнювача, виготовленого з м'якої сталі.

Випускний клапан. Відкриття клапана здійснюється за допомогою гідроприводу, закриття – пневматичною пружиною. Обертання клапана забезпечується встановленим на штоку імPELLером (крилаткою). Усунення ударів при посадці клапана на сідло забезпечує масляний демпфер, м'яка посадка продовжує ресурс сідла, виготовлений клапан з німоніку.

Інтенсивно охолоджуване сідло встановлюється у верхню частину кришки циліндра в корпус вихлопного клапана, рис. 1.6. У більш пізніх модифікаціях нижнє ущільнювальне кільце корпуса клапана замінено на розрізне підпружинене фторопластове кільце, ресурс якого збільшився в 3 рази.

Робоча поверхня сідла має наплавку, добре протидіючу високотемпературній корозії. Появу на сідлі плям прогару не рекомендується усувати до тих пір, поки не з'являться наскрізні канавки, зазвичай ресурс пари клапан-сідло становить 20...25 тис. годин.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

шпильок кріплення кришки циліндра, рис. 1.7. Свердління в цьому кільці утворюють циліндри пристроїв затягування, які з'єднані просвердленими масляними каналами. Кожен циліндр обладнаний кільцевим поршнем з двома комплектами ущільнюючих кілець. Кожна гайка кришки циліндра складається з встановленої на шпильці кришки внутрішньої гайки, що упирається в поршень пристрою затягування, і зовнішньої гайки з різьбою, відповідною зовнішній різьбі внутрішньої гайки. При затягуванні кришки внутрішня гайка, і разом з нею поршень пристрою затягування, нагвинчують воротком.

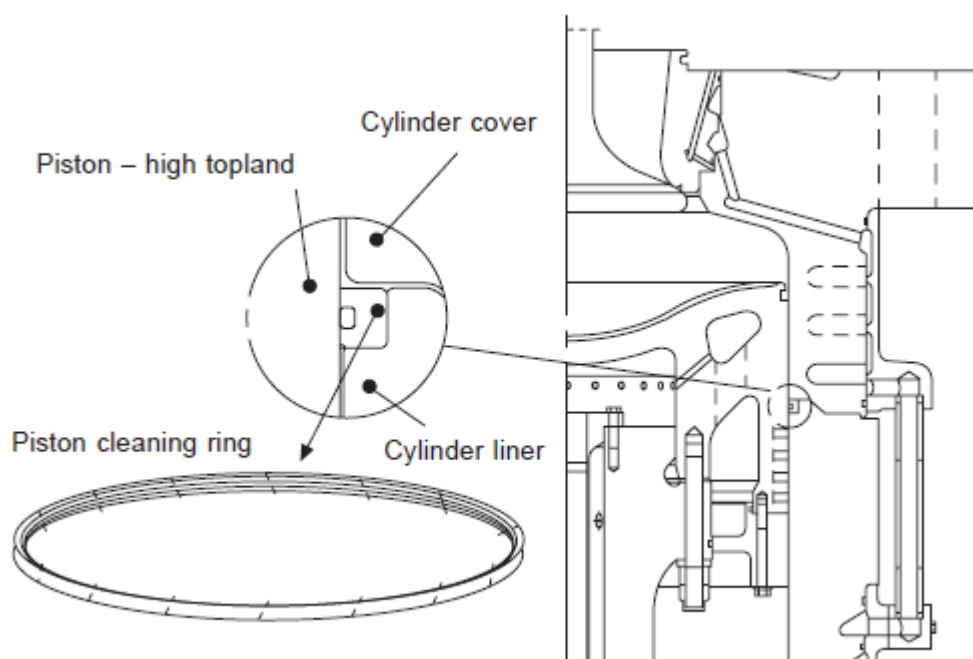


Рисунок 1.7 – Гідравлічне кільце втулки циліндра та схема його розташування

Після підйому гідравлічного тиску в системі, поршень затяжного пристрою рухається вгору, у результаті чого шпилька кришки злегка подовжується, і зовнішня гайка затягується (вниз) воротком. Коли гідравлічний тиск в системі падає, зусилля затягування передається через зовнішню гайку до кришки циліндра. На гідрокільці між двома затяжними пристроями з боку розподільчого вала двигуна встановлена обтискна муфта

										Аркуш
										16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ					

для приєднання гідронасоса високого тиску. У верхній частині кільця між пристроями розташовані гвинти для випуску повітря. Вони повинні бути відкриті під час заповнення або вентиляції системи. Гідрокільце і кришка циліндра забезпечені чотирма різьбовими отворами для рем-болтів, за допомогою яких можна підняти кільце або кришку з кільцем. Зазвичай кільце не знімається з кришки циліндрів.

Блок циліндрів. Циліндрова секція, рис. 1.8 двигуна складається з ряду блоків циліндра, який прикріплений до картера і фундаментної рами двигуна за допомогою крізних вертикальних анкерних зв'язків. Блок циліндра стягнутий разом в вертикальних роз'ємах. Два центральні отвори у верхній частині і на половині висоти всередині блоку циліндра, передбачені для втулки циліндра. Верхня частина блоку циліндра утворює частину порожнини охолоджуючої води навколо центральної частини втулки циліндра, а нижня частина утворює порожнину надувного повітря. Центральний отвір в днищі блоку циліндрів служить для сальника штока поршня. Днище є подвійним і має порожнину, для циркуляції охолоджуючої води. З боку випуску блок циліндра має круглий отвір, через яке простір надувного повітря навколо втулки циліндра з'єднується з ресивером надувного повітря, розташованого вздовж двигуна. Крім того, там є вхідні трубки охолоджуючого і мастильного масла і охолоджуючої води. Блок циліндра обладнується кришками для чищення та огляду порожнини охолоджуючої води і надувного повітря. У блоці циліндра встановлені шпильки для кріплення кришки циліндра. Шпильки мають ущільнюючі кільця, попереджуючі утворення іржі на різьбі. Втулка циліндра вище блоку обладнується сорочкою і отворами для охолодження. Гумові кільця, розташовані в проточених у втулці циліндра канавках, забезпечують ущільнення порожнини охолоджуючої води. Охолоджуюча вода підводиться через водяні перехідники з блоку циліндра в нижню частину охолоджуючої сорочки. Вода далі проходить через ряд охолоджуючих трубок,

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

розташованих в отворах у втулки циліндра, у верхню частину сорочки охолодження і звідти, через водяні перехідники, в сорочку охолодження нижньої частини кришки циліндра.

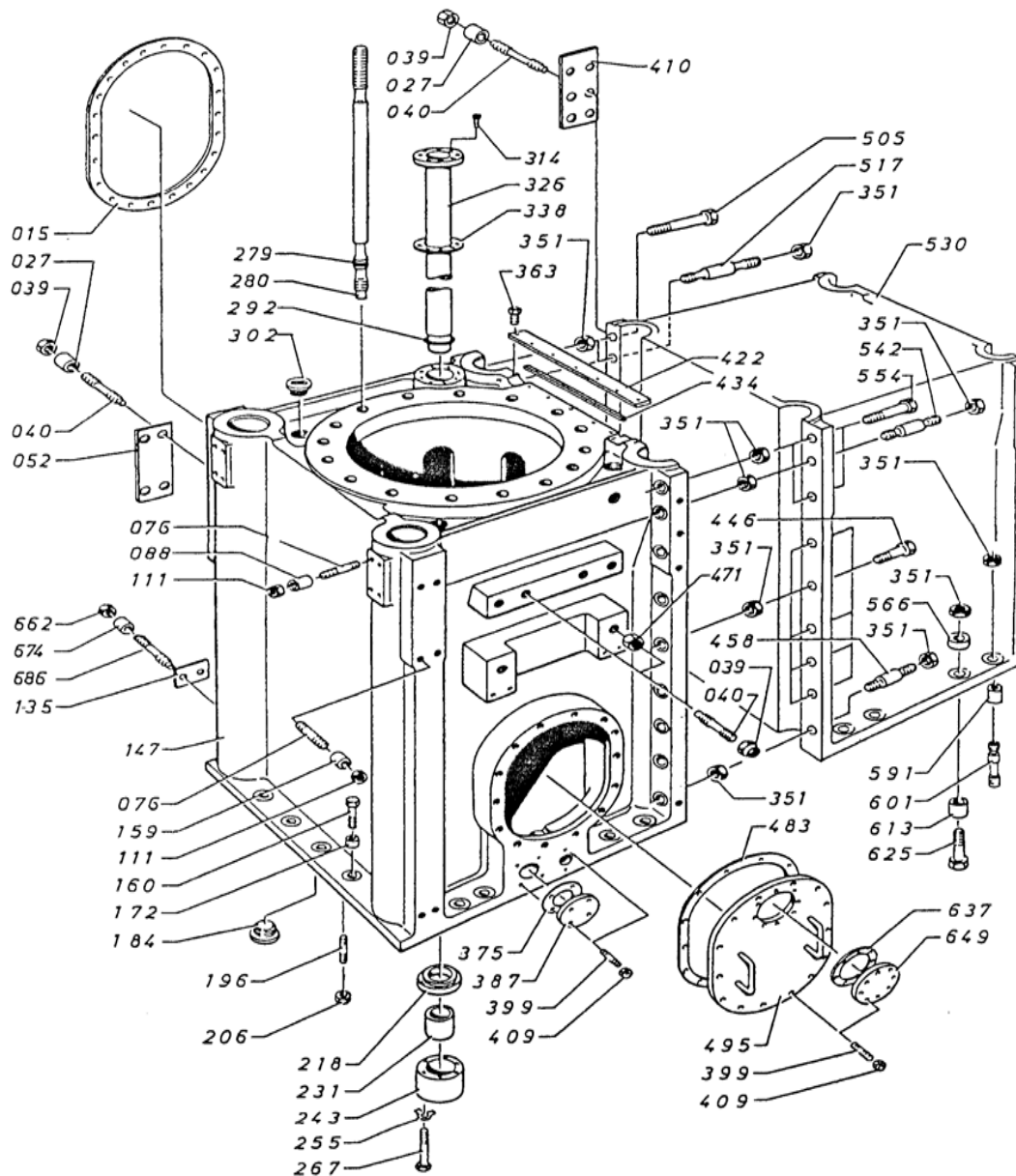


Рисунок 1.8 – Секція блоку циліндрів

Втулка циліндра притискається до верхньої частини блоку циліндра кришкою циліндра і направляється отвором на півдорозі вниз всередині блоку, тому вона може вільно розширюватися вниз при нагріванні під час експлуатації двигуна, рис. 1.9. Ущільнення, що протидіє витoku охолоджувальної води та надувного повітря, досягається з допомогою

чотирьох кілець із силіконової резини, розташованих в проточених канавках в направляючих втулки циліндра – двох для охолоджуючої води і двох для надувного повітря. Між ущільнюючими кільцями розташований отвір, що забезпечує перевірку ефективності ущільнення.

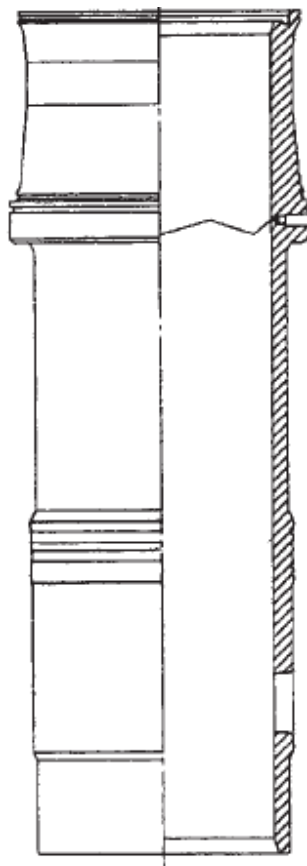


Рисунок 1.9 – Втулка циліндру

Частина втулки циліндра, розташована в порожнині надувного повітря блоку циліндру, має ряд вікон надувного повітря, які відкриваються поршнем в його нижньому положенні. Вікна надувного повітря просвердлені під косим кутом до осі втулки циліндра, щоб надати надувному повітряю обертальний рух в циліндрі. У вільній частині втулки циліндра, між охолоджуючою сорочкою і блоком циліндра є ряд отворів з безоборотними клапанами для подачі масла в циліндр. На робочій поверхні циліндра ці отвори з'єднані зигзагоподібними змащуючими канавками для рівномірного розподілення масла.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

Поршень зі штоком. Головка поршня кріпиться до верхньої частини штока за допомогою болтів, рис. 1.10. Болти застопорені стопорним дротом. Зверху головка поршня має теплостійке покриття. Головка поршня має канавки із хромовим покриттям для чотирьох поршневих кілець, рис. 1.10. Два верхніх можуть бути збільшеної висоти. Всі поршневі кільця мають косий роз'ємним: на поршневих кільцях № 1 і 3 – правий, і на поршневих кільцях № 2 і 4 -лівий.

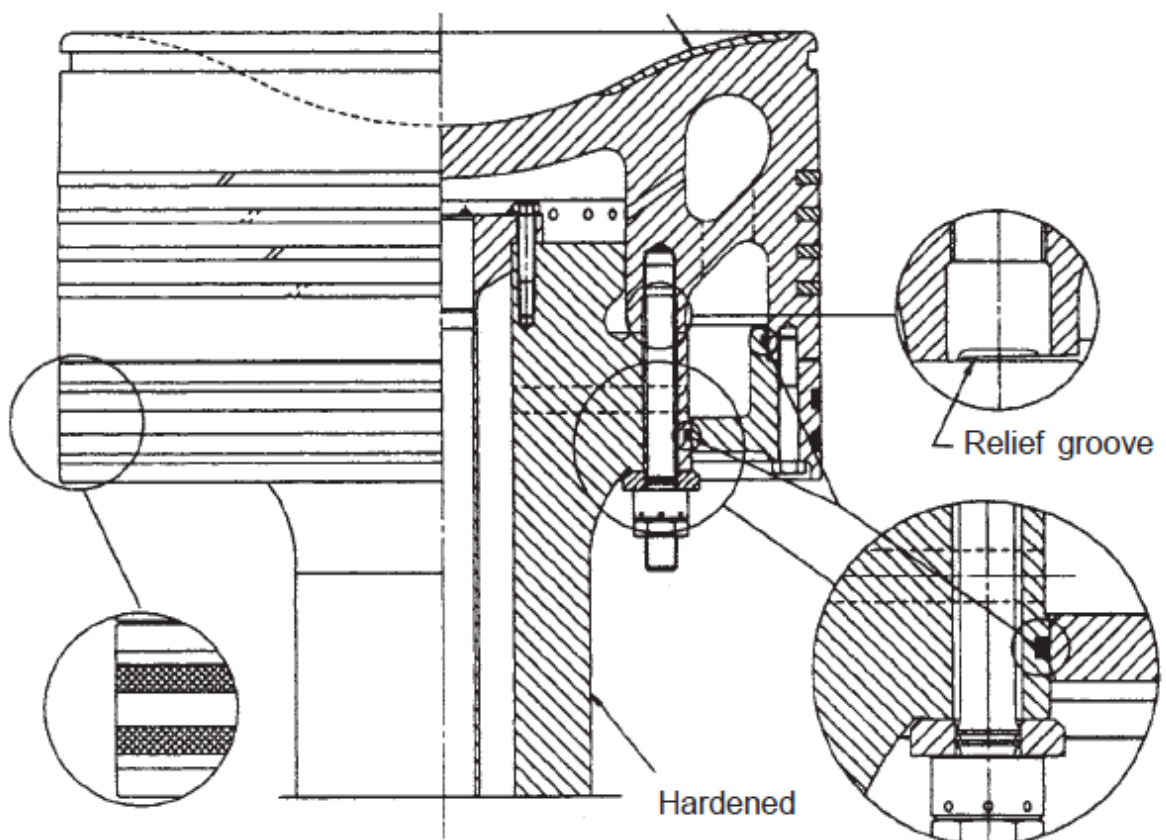


Рисунок 1.10 – Поршень

У верхній частині головки поршня мається канавка для установки підймальних пристроїв. Шток поршня має крізний отвір для труби охолоджуючого масла, яка кріпиться до верхньої частини штока поршня за допомогою болтів з відбортовкою. Охолоджувальне масло подається по телескопічній трубі до крейцкопфа і проходить по свердленню в підставці

										Аркуш
										20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ					

штока поршня і через трубу охолоджуючого масла в штоку до голівки поршня.

Масло проходить через ряд отворів у ребрах жорсткості головки поршня і надходить у простір навколо труби охолоджуючого масла в штоку поршня. Біля виступів нанесені ризи для установки кута випередження подачі палива. Кожна риза відповідає куту повороту колінчастого валу. З отвору в п'яті (підставі) штока поршня масло направляється через крейцкопф до зливного коліна і далі в трубу з прорізом усередині картера двигуна, а також через датчики контролю потоку і температури масла. Нижня основа штока поршня спирається на торцевій виріз у поперечині крейцкопфа і направляється трубою в крейцкопф.

Шток кріпиться до поперечини крейцкопфа чотирма болтами, які вгвинчуються крізь підставу штока поршня в крейцкопф. Болти застопорені стопорним дротом. В отвір для штока поршня в днищі ресивера надувного повітря встановлений сальник штока поршня, що запобігає потраплянню масла з картера в порожнину надувного повітря. Сальник запобігає також потраплянню надувного повітря в картер. Сальник встановлений на фланці, прикріплений болтом до днища ресивера надувного повітря. Сальник виймається разом з штоком поршня під час ревізії поршня, але може бути також розібраний при ревізії в картері, при цьому поршень залишається в двигуні. Корпус сальника складається з двох частин, що з'єднуються болтами.

Крейцкопф зі шатуном. Крейцкопф спроектований у вигляді центральної частини (поперечки) з шийками опорних підшипників на кожному кінці, на яких встановлені плаваючі направляючі черевики. Центральна частина крейцкопфа спроектована у вигляді шийки підшипника крейцкопфа (головного підшипника). У кришці підшипника крейцкопфа є виріз для з'єднання штока поршня з крейцкопфом. Підшипник крейцкопфа

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

(головний) має вкладиші, залиті шаром білого металу. Крім того, нижній вкладиш має прирлений шар покриття.

Шток поршня спирається на крейцкопф і направляється напрямних кільцем, рис. 1.11. Щоб забезпечити відповідність різним модифікаціям двигуна, між штоком поршня і крейцкопфом може бути встановлена прокладка. Шток поршня кріпиться до крейцкопфа чотирма болтами. На кронштейн крейцкопфа, встановлений між направляючим черевиком і підшипником крейцкопфа, прикріплена телескопічна труба, яка подає мастильне та охолоджувальне масло до крейцкопфа. Випускна труба масла, що охолоджує поршень, прикріплена до протилежного кінця поперечки крейцкопфа. Випускна труба ковзає усередині труби з прорізом, встановленої в картері двигуна, звідки масло, проходячи через датчики контролю на кожному циліндрі для перевірки його температури і витрати, зливається в цистерну змащуючого масла. Крейцкопф має свердленні канали для розподілу масла, що подається через телескопічну трубу, частково для охолодження поршня, частково на змазку головного підшипника крейцкопфа і направляючих черевиків, а через свердління в шатуні на змазку мотильового підшипника.

В цілях економії висоти шатун зроблений відносно коротким, нижня частина крейцкопфного підшипника, несе основне навантаження, виготовлена більш широкою, ніж верхня, навантажена тільки силами інерції.

Поверхні ковзання двох направляючих черевиків залиті білим металом. Стопорний болт встановлюється в нижній частині центрального отвору. Крейцкопф рухається по напрямних крейцкопфа в картері двигуна і надійно захищений від зсуву направляючими планками, прикріпленими до направляючих черевиків. Збірка підшипника крейцкопфа проводиться за допомогою чотирьох шпильок з гайками.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

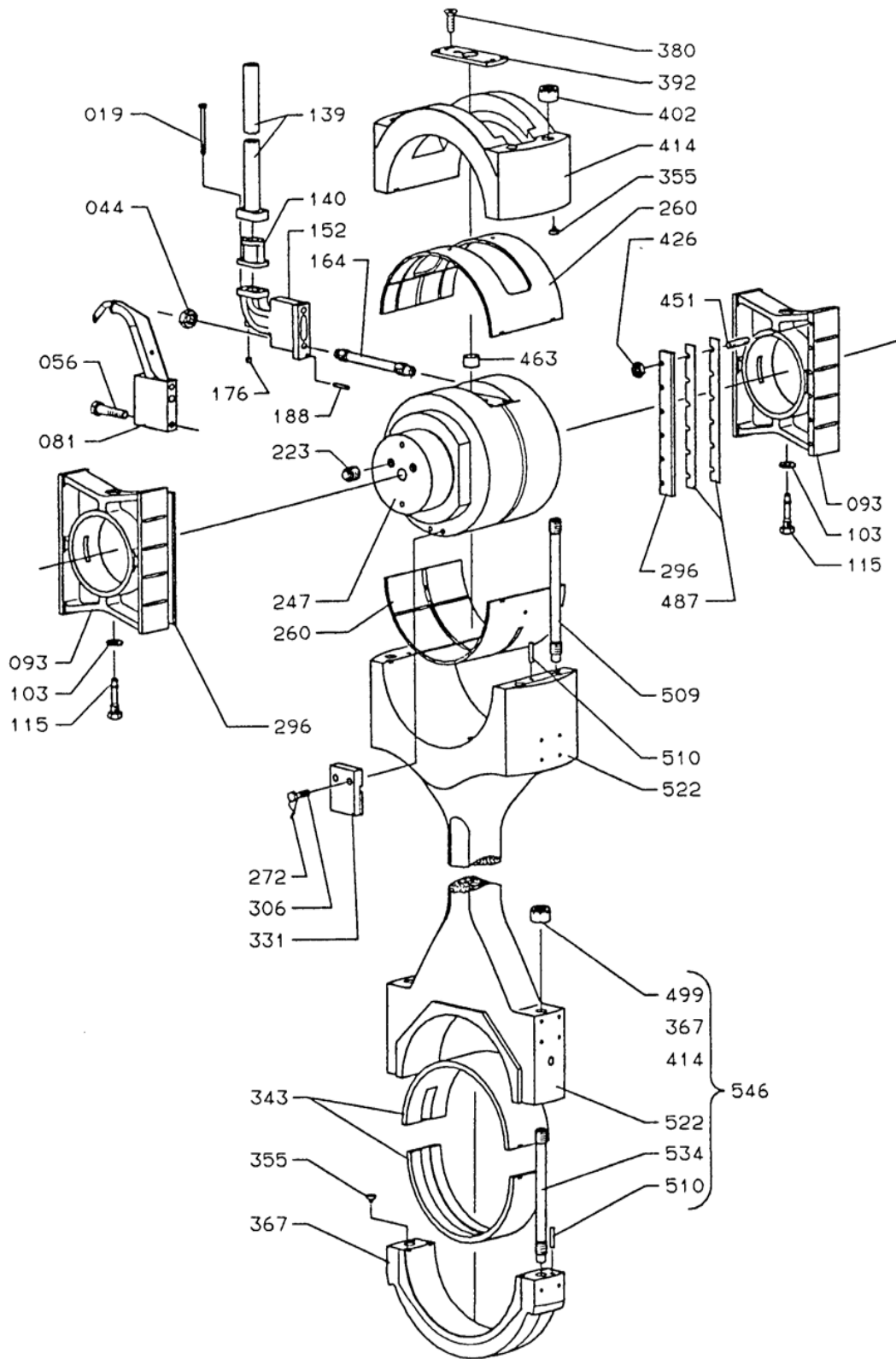


Рисунок 1.11 – Крейцкопф зі шатуном

									Аркуш
									23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ				

Колінчастий вал. Колінчастий вал полускладовий, тобто частини з'єднані або посадкою в гарячому стані, або зварюванням, рис. 1.11. Для 4-8 циліндрових двигунів колінчастий вал цілісний.

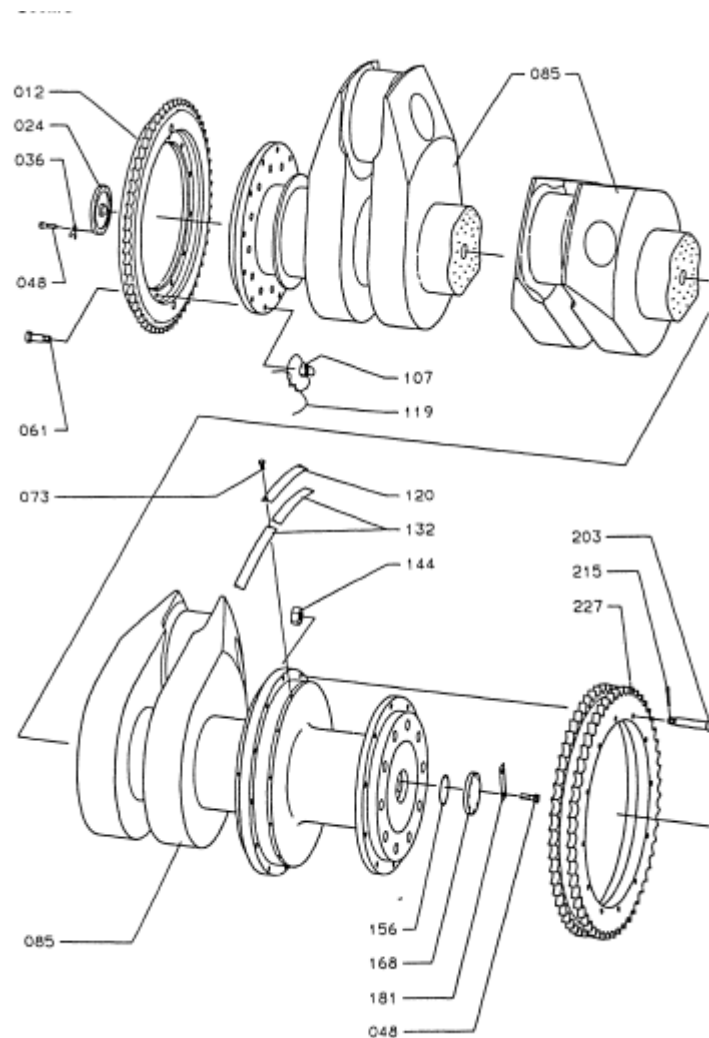


Рисунок 1.12 – Колінчастий вал

Рамні підшипники змащуються з головного маслопроводу, через відгалуження до окремих підшипників, тоді як масло для змащення мотильових підшипників подається з крейцкопфа по отворах у шатунах. У кормовій частині колінчастого валу встановлено маховик і упорний диск упорного підшипника. Для 4-8 циліндрових двигунів в кормовому кінці встановлена також зірочка ланцюгового приводу розподільчого валу.

										Аркуш
										24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

Упорний підшипник вбудований в кормову частину фундаментної рами двигуна. На колінчастому валу мається упорний диск, який передає упор на ряд сегментів, встановлених в упорних колодках з кожної сторони упорного гребеня. Упорні колодки спираються на поверхні в корпусі упорного підшипника і утримуються на місці двома поперечинами (скобами). Сегменти, які контактують із упорним гребенем, залиті білим металом. Упорний підшипник змазується з системи циркуляційного масла двигуна. Масло подається між сегментами через розпилюючі трубки і сопла.

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

Налаштування синхронізації двигуна здійснюється примусово мастилом між кулачками, фланцями або зубчастими колесами і валами, яке дозволяє частинам обертатися відносно один одного. Частота обертання розподільчого валу завжди залежить від частоти обертання колінчатого вала. Коли двигун реверсують, позиція роликів паливного насоса змінюється в напрямку кулачкових дисків, таким чином зміна синхронізації паливного насоса відповідає новому напрямку обертання.

Перший двигун з електронним управлінням *паливною системою* фірмою МАН був створений на базі моделі МС в 2003 році. У цьому двигуні фірма відмовилася від розподільного валу з його приводом і ввела електронне управління процесом паливоподачі, регулюванням числа обертів, замінивши механічний регулятор на електронний, процесами пуску і реверсування двигуна, вихлопним клапаном і змащенням циліндрів, рис. 1.13.

Управління уприскуванням палива і вихлопними клапанами здійснюється за допомогою гідравлічних сервоприводів. Масло, яке використовується в гідросистемі (рис. 1.14), забирається з циркуляційної системи мастила, пропускається через фільтр тонкого очищення і насосами з

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

приводом від двигуна або з електроприводом (при пуску) стискається до тиску в 200 бар (20 МПа). Далі стиснене масло надходить до мембранних акумуляторів і від них – до гідропідсилювачу тиску уприскування палива і насосів гідроприводу вихлопних клапанів (див. рис. 1.15 та 1.16). З мембранних акумуляторів масло потрапляє до електронно керованого відповідного клапанам блоку ELFI і ELVA, які відкриваються під дією сигналу, що надходить від електронних модулів (CCU), встановлених для надійності на кожному циліндрі.

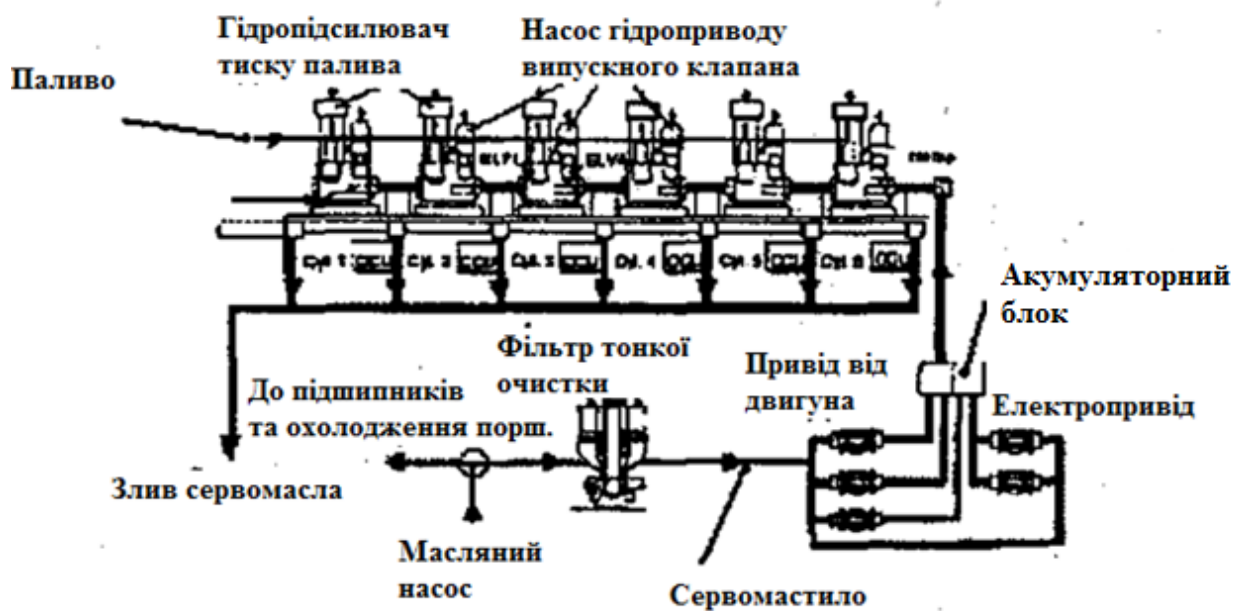


Рисунок 1.14 – Схема гідросистеми двигунів серії

Гідропідсилювачі тиску уприскування являють собою поршневі сервомотори, в яких поршень великого діаметру піддається дії масла, що знаходиться під тиском 20 МПа, поршень малого діаметра (плунжер), що є продовженням поршня великого діаметру, при русі його вгору стискає паливо до тиску в 100 МПа (відношення площ поршня сервоприводу і плунжера 1/5). Момент надходження масла під поршень сервомотора і початок стиснення палива, визначається надходженням керуючого імпульсу від електронного модуля CCU.

Коли тиск палива досягне тиску відкриття голки форсунки, відбудеться впорскування палива в циліндр. Закриття голки форсунки і припинення впорскування відбуваються при падінні тиску палива, останнє визначається моментом закриття керуючого клапана і скиданням тиску масла в сервомоторами.

Система уприскування і електронне управління дозволяють не тільки оптимізувати фази подачі палива, але і за необхідності забезпечувати більш високий тиску уприскування і зміну закону подачі.

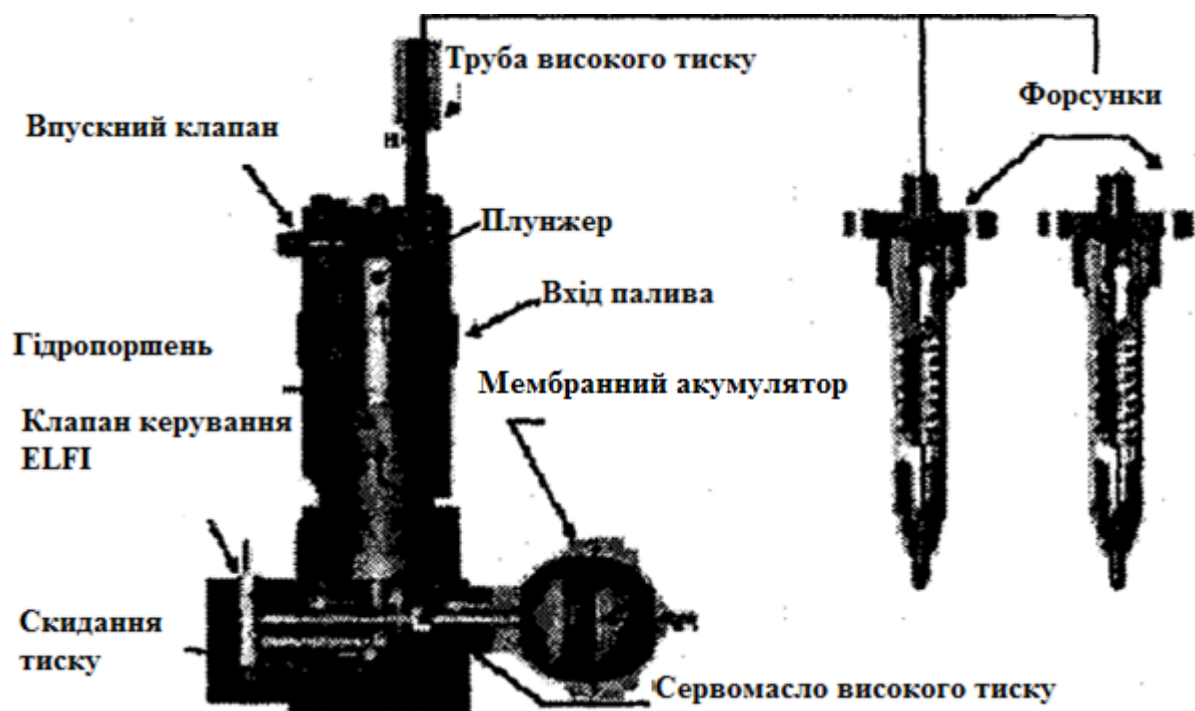


Рисунок 1.15 – Сервопривід системи впорскування палива

На рис. 1.16 показані криві тисків впорскування, отримані в двигуні 7S50MC-C і в двигуні 7S50ME-C. В останньому двигуні впорскування здійснюється при більш високому тиску і подача більш концентрована. На рис. 1.10 наведені відповідно розглянутим законам подачі криві тепловиділення.

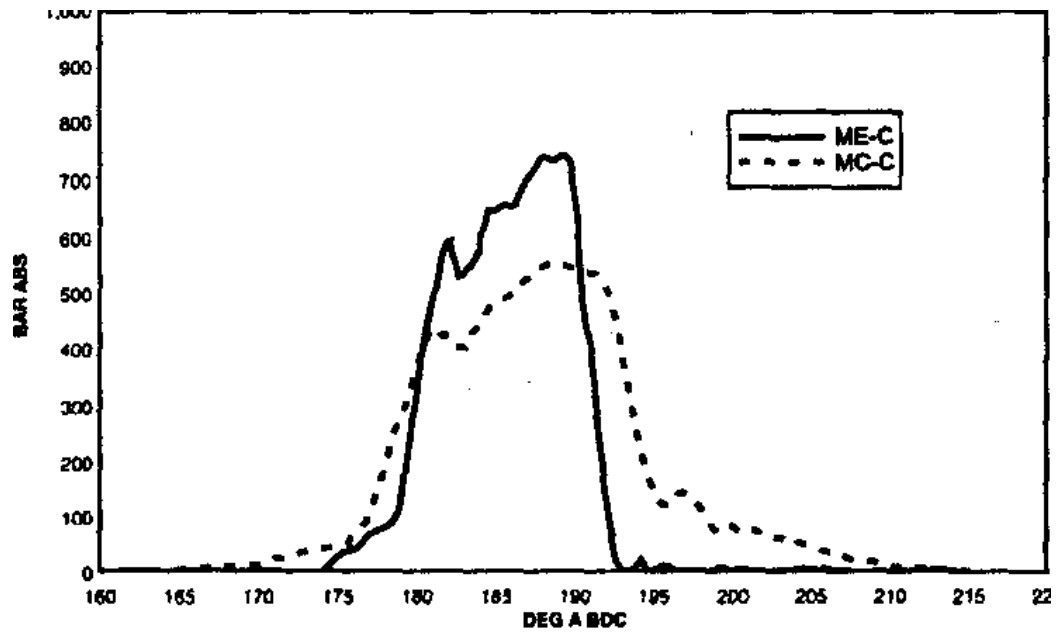


Рисунок 1.16 – Криві тисків впорскування двигунів ME-C і MC-C

З них видно, що в двигуні ME-C більше теплоти виділяється в районі ВМТ і менше на ділянці розширення, що свідчить про більш економічне використанні теплової енергії.

На рисунку 1.17 представлені три реалізованих варіанту законів подачі палива в циліндр: класичний 2, подача при постійному тиску 1 і двоступенева подача 3.

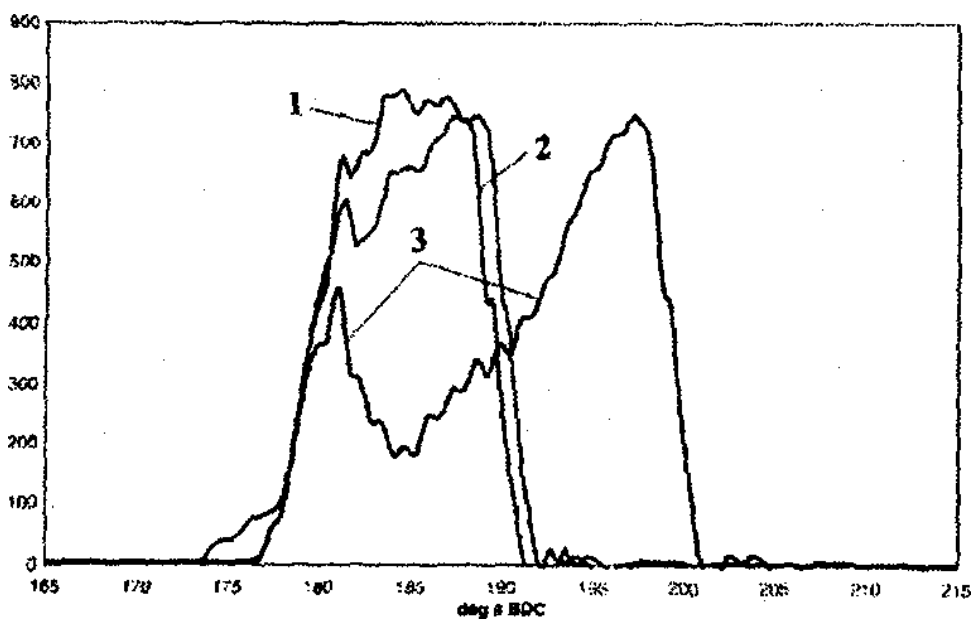


Рисунок 1.17 – Варіанти законів подачі палива

Як вже зазначалося, сервоприводи і електронна система управління ними застосовуються і для приведення в дію вихлопних клапанів, тільки тут сервомоторами стискається масло, яке надходить до гідроштовхачів клапану (рис. 1.18). Закривається клапан при падінні тиску масла в сервомоторах по припиненні керуючого імпульсу від ССУ.

Програма ССУ передбачає можливість змінювати фази відкриття і закриття клапанів залежно від режиму роботи двигуна. Так при переході двигуна на режими часткових навантажень фірма вдається до більш раннього закриття вихлопного клапана. Це сприяє тому, що стиснення в циліндрі починається раніше, дійсна ступінь стиснення зростає і відповідно збільшується тиск кінця стиснення (рис. 1.19). Умови для самозаймання палива поліпшуються, і це забезпечує більш економічну і стійку роботу на малих ходах.

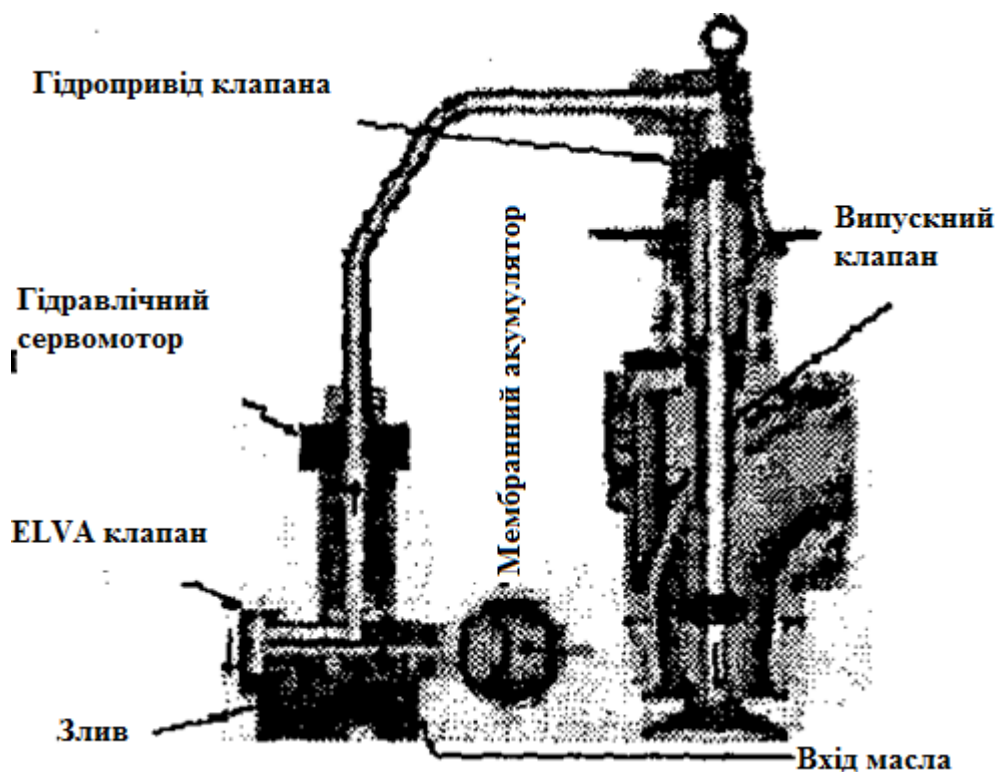


Рисунок 1.18 – Гідропривід вихлопного клапану

										Аркуш
										30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

Електронне управління упорскуванням палива і роботою вихлопного клапана дає ряд переваг, які можуть бути об'єднані в наступні три групи:

– характеристики паливоподачі можуть бути оптимізовані стосовно до різних умов навантаження двигуна, в той час як в двигунах класичного виконання оптимізація гарантується лише для навантажень 90-100% MCR;

– сталість максимального тиску згоряння в зоні високих навантажень може бути досягнуто комбінацією в підборі кута випередження впорскування палива й моменту закриття вихлопного клапана. Це дозволяє підтримувати сталість максимального тиску при згорянні в широкому діапазоні навантажень без перевантажень і роботи з мінімальними витратами палива в зоні малих навантажень.

– безперервний моніторинг робочого процесу в циліндрах забезпечує контроль за рівномірністю розподілу навантаження між циліндрами і рівнем максимального тиску згоряння в них. При розузгодженні система автоматично вносить коректування в процеси паливоподачі.

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

Головний пусковий клапан. Головний пусковий клапан наведено на рис. 1.21. Він вбудований в головний трубопровід пускового повітря складається з великого клапана і, іноді, малого шарикового клапана, який використовується як байпасний для великого.

Обидва клапана мають пневматичний силовий привід. На малому шариковому клапані монтується гвинт для регулювання малих обертів. До того ж є безповоротний клапан запобігає виходу повітря у разі надмірного підвищення тиску в магістралі.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

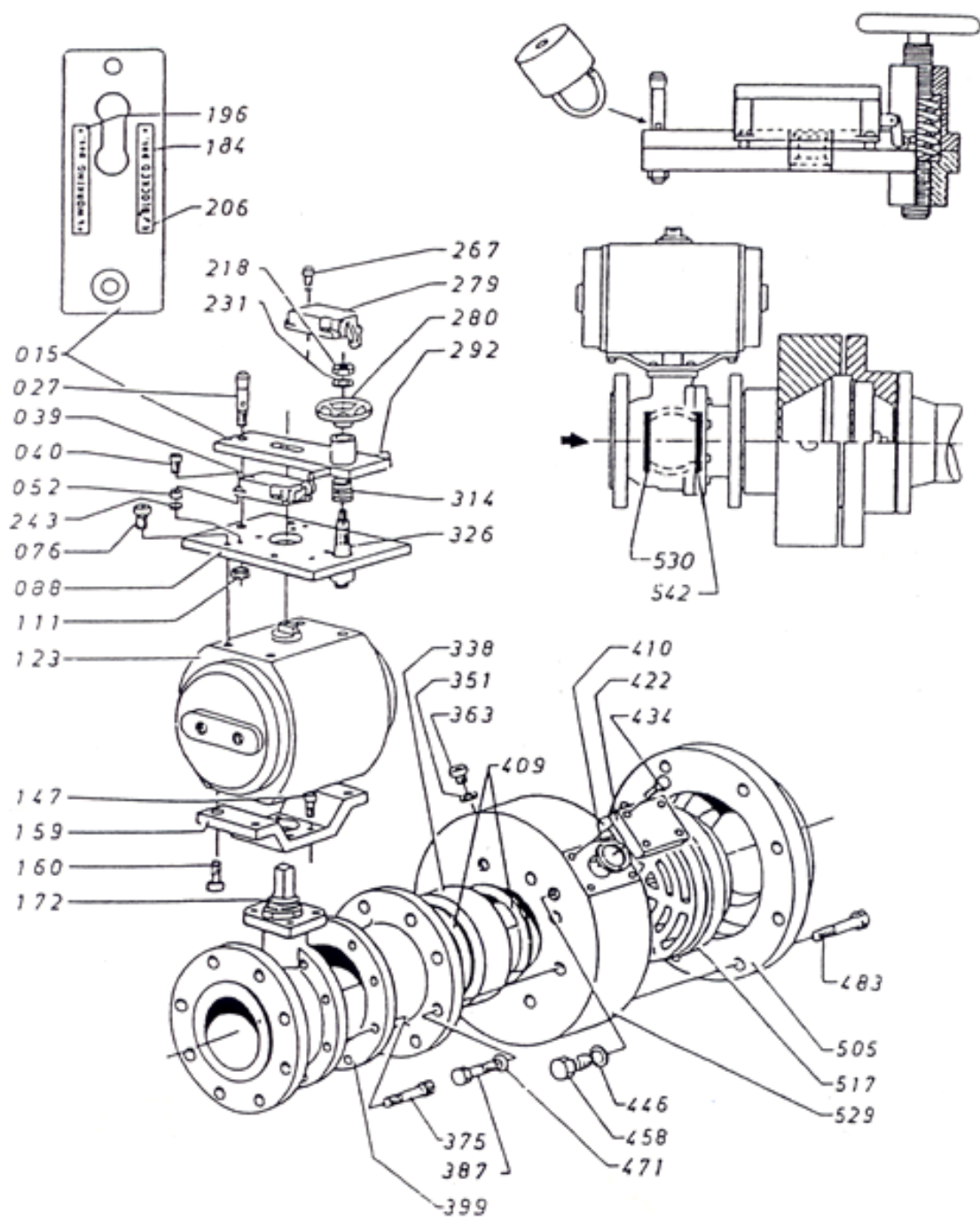


Рисунок 1.21 – Пусковий клапан

Центральний пусковий клапан обладнаний блокуючим пристроєм, що складається з тарілки, яка за допомогою зубчатого колеса може блокувати силовий привід. Шариковий клапан, безповоротний клапан, їх приводи і блокуючий пристрій виготовляються цілою конструкцією.

											Аркуш
											33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата							

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА В СУЧАСНИХ СУДНОВИХ ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

2.1 Розрахунок робочого циклу двигуна

В даному дипломному проекті буде розглядатися розрахунковий цикл, який базується на класичному методі теплового розрахунку, розробленого професором В. І. Гриневецьким в 1907 р. А після, радянські 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 [3, 4].

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

										ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
											34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата							

палива і відновлення дисоційованих газів з виділенням теплоти. У розрахунковому циклі робоче тіло не можна приймати з постійними 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.

Розрахунковий цикл судових ДВЗ складається з п'яти послідовних процесів: наповнення, стиску, згорання палива, розширення і випуску.

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

Точність розрахунку вважалася задовільною, якщо різниця між заданої і отриманої 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%. В якості прикладу, представимо повний розрахунок номінального режиму роботи двигуна [5].

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

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

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

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

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

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

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

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

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

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

Температура залишкових газів T_r . Для двигунів такого типу T_r знаходиться у межах 700...1200К. Приймаємо $T_r = 700$ К.

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

$H = 0,126$ кг – кількість водню;

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$S = 0$ кг – кількість сірки;

$O = 0,004$ кг – кількість кисню.

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

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

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

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

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

Ступінь підвищення тиску. $\Pi_k = 3,5$.

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

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

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

Діаметр циліндру: $D = 0,5$ м.

Хід поршня: $S = 1,91$ м.

Частота обертів колінчастого валу: $n = 115$ хв⁻¹.

Число циліндрів: $I = 6$.

Ефективна потужність $N_e = 7310$ кВт.

Розрахунок процесу наповнення

Температура повітря за компресором, К

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

Температура повітря перед двигуном, К

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

Температура заряду наприкінці процесу наповнення, К

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

Тиск повітря перед двигуном, МПа

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

Тиск заряду наприкінці процесу наповнення, МПа

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

Коефіцієнт наповнення

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

Розрахунок процесу стиску

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

На практиці вважають, що процес стиску відбувається по політропі з показником n_1 величина якого забезпечує одержання такої ж роботи в процесі стиску, як і при змінному показнику у дійсному процесі.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

При виборі величини n_1 , необхідно враховувати наступне: зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала n_1 збільшується; при підвищенні середньої температури процесу стиску n_1 зменшується; зі зменшенням інтенсивності охолодження двигуна n_1 збільшується; зі зменшенням відносини поверхні охолодження до об'єму циліндра n_1 збільшується; для дизелів з нерозділеними камерами згоряння $n_1 = 1,32 \dots 1,42$, приймаємо в розрахунок:

$$n_1 = 1,364$$

Тиск в кінці процесу стиску, МПа

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_1} = 0,335 \times 15^{1,362} = 13,379$$

Температура в кінці процесу стиску, К

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1-1} = 354,698 \times 15^{1,361-1} = 882,64$$

Розрахунок процесу згоряння

Дійсна кількість повітря для згоряння, кмоль/кг

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

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

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

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

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

Доля палива, що згоріла в точці z

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

									ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
										39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z

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

Максимальна температура згоряння, К

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

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

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

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

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

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

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

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

$$T_z = 1678,3$$

Максимальний тиск згоряння, МПа

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

Розрахунок процесу розширення

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ступінь попереднього розширення

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

Ступінь подальшого розширення

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

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

$$n_2 = 1,294$$

Температура в кінці процесу розширення, К

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

Тиск в кінці процесу розширення, МПа

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

Визначення індикаторних показників

Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа

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

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

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

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа

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

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

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

Індикаторний ККД

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

Визначення ефективних показників

Середній ефективний тиск, МПа

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

Ефективний ККД двигуна

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

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

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

Ефективна потужність двигуна,

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,5^2 \times 1,91 \times 1 \times 1,815 \times 115 \times 6 = 7208,562$$

Порівняння заданої та отриманої потужності двигуна

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{7208,562 - 7315}{7310} = 1,314\%$$

Точність розрахунку задовільна, різниця між заданою і отриманою в результаті розрахунку потужності не перевищує 1,314%.

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

Витрата повітря через компресор, кг/с

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

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

$$= \frac{3,14 \times 0,5^2}{4} \times 1,91 \times \frac{0,345 \times 10^6}{287 \times 313,784} \times 0,888 \times 5 \times 1 \times \frac{127}{60} \times 1,15 = 15,531$$

Витрата газів через турбіну, кг/с

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

Тиск газу перед турбіною, МПа

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

Температура газу перед турбіною, К

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

Загальна кількість продуктів згоряння, кмоль

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

										Аркуш
										43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ					

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

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

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

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

Показник адіабаты розширення газу в турбіні

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

Дійсна ступінь підвищення тиску в компресорі

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

									Аркуш
									44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ				

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

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

Порівняння заданого та отриманого тиску надуву

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

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

2.2 Технічне обслуговування модернізованого двигуна

Правильне планування технічного обслуговування є необхідним для задоволення вимог експлуатації енергетичної установки. Крім того, експлуатація та технічне обслуговування компонентів двигунів ME-GI та ME-LGI це прості процеси для кваліфікованої та досвідченої експлуатаційної групи, принаймні, якщо заходи з технічного обслуговування є належним чином запланованими, підготовленими та контрольованими. Загалом, керівники та експлуатаційна команда повинні бути добре освіченими, кваліфікованими та відданими професіоналами. MAN Diesel & Turbo пропонує освітні програми для головних інженерів, які будуть в курсі останніх відомостей про технічне обслуговування та технології.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

Коли газовий двигун буде зупинений, газопровід високого тиску повинен бути звільнений від газового палива і очищений азотом, щоб гарантувати, що двигун не має газу та доступний для всіх видів робіт з технічного обслуговування.

Для двигуна слід дотримуватися процедури переходу в режим консервації газових систем, якщо очікується, що експлуатація рідкого палива буде зупинено протягом певного періоду, наприклад під час ремонтних робіт. У цьому режимі не рекомендується проводити сервісні роботи, пов'язані з підняттям обладнання через лінії подачі. Причиною є те, що лінії подачі рідкого палива як у машинному відділенні, так і на двигуні, якщо вони містять залишки LPG. У випадку повного відключення системи рідкого газу, наприклад для великих ремонтних робіт у машинному відділенні всі трубопроводи повинні бути очищені від LPG, тільки потім вентиляцію можна відключити.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА ТА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА

3.1 Складності переведення судових двигунів на газове паливо

Доцільність використання природного газу як моторного палива в районах, пов'язаних з видобутком і транспортуванням газу, ніколи не бралася під сумнів. Сучасний етап розвитку економіки лише вніс ряд коректив до цієї проблеми. Що ж до дизелів, які складають енергетичну основу водного транспорту, то їх перехід на газ гальмується рядом чинників.

Виникаючі проблеми можна розділити на три тісно зв'язані групи. Перша – питання зберігання газу. В даний час зберігання газового палива на судні найчастіше здійснюється в стислому вигляді. Балони з армованого пластика забезпечують порівняно хороші показники за питомим обсягом і масою системи зберігання. Проте, для двигунів високої потужності, що мають значну тривалість автономного плавання, перспективним є криогенний спосіб зберігання.

Друга, надзвичайно важлива для судових установок проблема – безпека експлуатації. В цьому відношенні накопичений чималий світовий і вітчизняний досвід, що показує, що токсична небезпека при використанні природного газу мінімальна, а пожего і вибухобезпечність можуть бути зведені до мінімуму за допомогою ряду конструктивних і організаційних заходів.

Третя група питань пов'язана безпосередньо з роботою суднової енергетичної установки. До них відносяться організація робочого процесу, паливоподачі і регулювання.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

При переведенні на газове паливо дизельного двигуна, найбільш очевидним варіантом організації робочого процесу є газодизельний. При цьому можна зберегти незмінними основні параметри й регулювання базового двигуна, обмежившись створенням системи подачі газу в двигун і зміною системи регулювання потужності. При цьому, така нескладна схема забезпечує зниження витрат на паливо майже удвічі при значному поліпшенні показників димності та токсичності відпрацьованих газів (зниження димності в 5...10 разів, NO_x – на 20 %). Проте ці показники значно поступаються тим, які досягаються в досконаліших газодизельних системах. В основі цього – значно вища, ніж це мінімально необхідно, величина запальної порції дизельного палива.

Згідно з літературними даними, сучасні газодизельні двигуни стійко працюють при дозі палива, відповідною 6...8% від номінального підведення теплоти. Спеціальні заходи дозволяють понизити цю дозу до 3...5 % для сучасних газових малообертових двигунів мінімальне значення запальної дози палива складає 5...10 %, рис. 2.7. Проте, в останньому випадку потрібна істотна переробка двигуна. У згаданих вище дослідних двигунах ця величина складає 15...20%, причому на малих навантаженнях подача дизельного палива повинна підвищуватися.

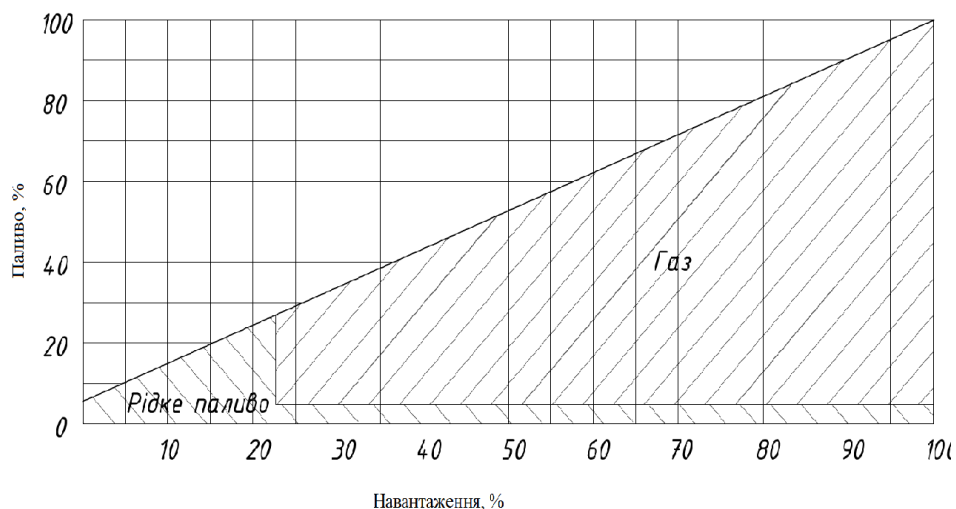


Рисунок 3.1 – Доля запальної дози палива в двигунах фірми MAN

Розтягнуте згоряння основного (газового) палива приводить до погіршення показників економічності та токсичності. Зменшити тривалість поширення полум'я в газодизелі можна, зменшивши довжину пробігу фронту полум'я за рахунок перенесення джерела займання від центру камери згоряння до її периферії, для чого необхідно збільшити далекобійність паливного струменя або розташування форсунок, рис. 3.2. Проте паливна апаратура дизелів, яка зазвичай використовується для подачі запальної порції, налаштовується на номінальний режим з таким розрахунком, щоб далекобійність паливного струменя відповідала розміру камери згоряння. Із зменшенням подачі тиск впорскування, а в той же час і далекобійність струменя, падає. Одночасно спостерігаються такі явища, як нестабільність подачі між циклами і нерівномірність її розподілу по циліндрах [5, 6].

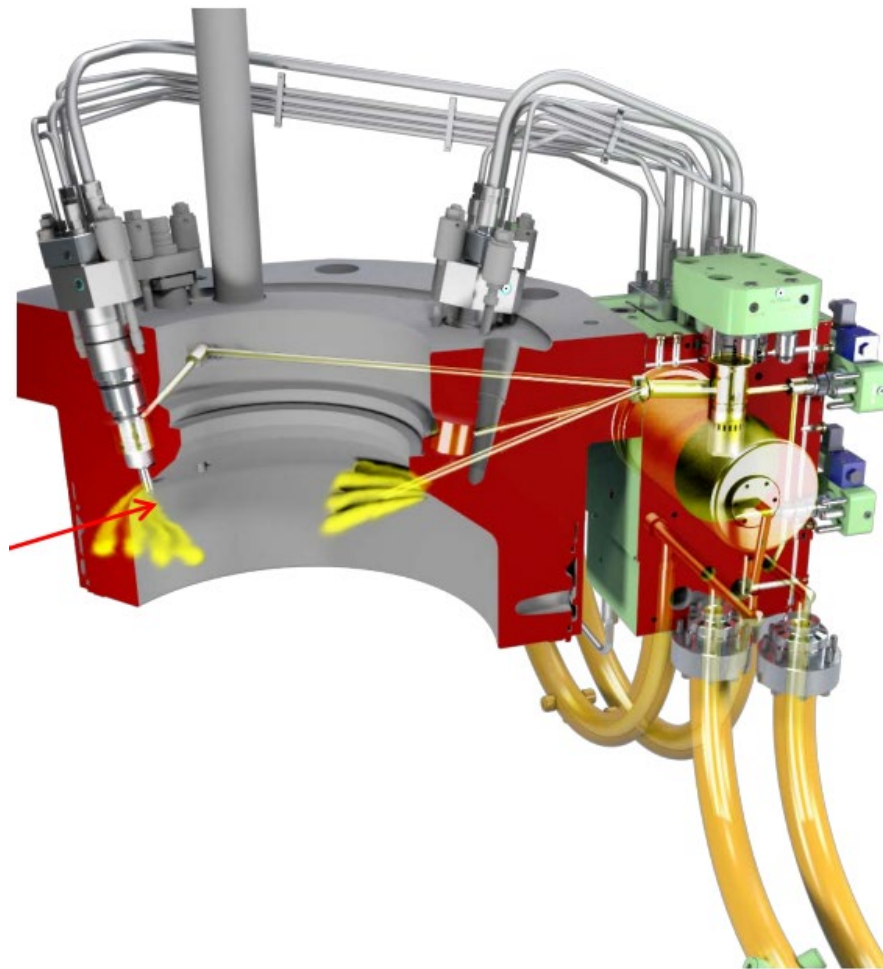


Рисунок 3.2 – Розташування газових форсунок в двигунах фірми MAN

									Аркуш
									49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ				

Таким чином, першочерговим завданням при організації газодизельного процесу є забезпечення ефективного впорскування при малих подачах. Вирішити цю проблему можна використовуючи електронно кероване обладнання для впорскування типу common rail.

3.2 Концепція суднового малооборотного газового (LPG) двигуна

Головний двигун судна «ATLANTIC GAS», що піддається модернізації, буде здатний працювати на звичайному мазуті або на газоподібному паливі, залежно від того, якому паливу надає перевагу оператор. Таким чином, забезпечується безпрецедентна експлуатаційна адаптивність для споживача, враховуючи економічні переваги типу палива, переваги екологічних вимог при експлуатації газового палива та наявність мазуту (HFO).

Модернізований двигун має аналогічні, якщо не покращені, характеристики роботи на газовому паливі, порівняно з такими для HFO. Базова конструкція двигуна не змінюється в порівнянні з двигунами ME, це означає, що запропоновані конструктивні рішення можливо застосувати для двигунів з електронною системою впорскування палива.

Щоб перетворити базовий двигун ряду ME на газовий двигун (згідно прототипу ME-LGI фірми MAN Diesel & Turbo), необхідно встановити як механічні, так і електричні компоненти систем, необхідних для використання газового палива, а також застосувати відповідне програмне забезпечення. Конвертація самого двигуна може бути виконана організацією PrimeServ MAN Diesel & Turbo протягом періоду ремонтних робіт, що виконуються в доках.

Компоненти, необхідні для перетворення стандартного малооборотного шестициліндрового двигуна з базової комплектації ME-C на газову ME-C-LGI, показані в табл. 3.1.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Щоб підготувати конструкцію судна до експлуатації газового двигуна, рекомендується ретельно вивчити вимоги до експлуатації газових двигунів, особливо керівнику проекту переобладнання, щоб конструктори судна мали хоча б базові знання про основні деталі газових систем, апаратне та програмне забезпечення. Що стосується практичних аспектів, то важливо розробити схеми креслень, креслення з'єднань труб та вимоги щодо потужності модернізованого двигуна, щоб конструктори могли розглянути всі аспекти експлуатації газового двигуна в машинному відділенні на ранній стадії проектування [7, 8].

Таблиця 3.1 – Елементи двигуна, які підлягають заміні при модернізації

Найменування вузла	Кількість
Кришка циліндра	6
Газовий блок (включаючи блок адапторів)	6
Газові інжектори (форсунки)	12
Контролер тиску масла високого тиску	6
Контролер тиску НФО високого тиску	6
Вихлопна труба відпрацьованих газів	6
Газові трубопроводи	12
Труби підводу та відводу газового палива	2
Насос газового палива	1
Труби та кабелі	1
Система контролю головного двигуна	1
Електричні шафи	2
Комплект інструменту для електромонтажу та монтажу газопроводу	1

Для двотактних двигунів конструкції ME, що вже працюють на важкому паливі (НФО), технічно можливо здійснити конверсію та перейти до

функціонально є газовою форсункою з додатковими функціями стискання та підігрівання газового палива.

FBIV об'єднує конструкцію паливного масляного підсилювача та конструкцію клапану впорскування газу. Обидві конструкції добре зарекомендували себе при використанні у двотактних дизельних двигунах MAN B & W у морському виконанні, використовуваних для головних судових двигунів. Така конструкція дозволяє зменшити загальну інерцію системи впорскування палива, зменшити і покращити час відгуку FBIV. Випробування та експлуатація двигунів морського виконання демонструють покращений контроль характеристик впорскування.



Рисунок 3.4 – Перетин інжекційного клапана (FBIV)

Під час роботи на LPG, кожна кришка циліндру буде оснащуватися FBIV, призначеними для вибраного рідкого газового палива. Блок LGI буде встановлений на кришці циліндра. Цей блок містить регулюючий клапан для зріджених газів (для впорскування палива), запірний клапан з підсилювачем, примусовим всмоктувальним клапаном і продувальним клапаном LGI. Всі труби для гідравлічних масляних та рідких паливних газів

									ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						53

подвійні. Двостінні труби для LPG, метанолу або ДМЕ вентилуються вентиляційним повітрям.

FBIV повинні охолоджуватися, а їх третьові поверхні повинні бути змащеними. З цією метою на двигуні вбудована комбінована система ущільнення і охолодження масла, яка забезпечує тиск масла 5 МПа, і система як змащує всі робочі поверхні, так і контролює, щоб температура в бустерному клапані була нижче 60 °С максимум.

Тиск ущільнювального масла генерується всередині FBIV, щоб уникнути забруднення гідравлічного масла при роботі клапана. Ущільнювальне масло має додаткові переваги, оскільки дозволяє уникати потрапляння LPG, метанолу або ДМЕ в гідравлічну систему та далі вниз у систему зливного масла. Системи охолодження масла та система ущільнення масла повністю інтегровані в конструкцію двигуна, включаючи обладнання для безперервного контролю за забрудненням LPG, метанолу або ДМЕ в маслі. Якщо у системі виявлено LPG або метанол, двигун переключиться у режим використання рідкого палива, а двигун буде очищений від рідкого газу. У той же час масляний насос контуру охолодження буде переключений на очищене системне масло, а контур масла буде промитий чистим маслом. Тоді чисте масло буде зібрано разом з забрудненим в резервуарі з охолоджувальним маслом, і система зможе продовжувати працювати лише тоді, коли в баку не буде виявлено рідкого палива.

Щоб забезпечити правильну температуру FBIV, системне масло охолоджується в теплообміннику, підключеному, наприклад, до системи низькотемпературного охолодження.

Коли вводять рідкий паливний газ, стан вихлопу контролюється датчиками РМІ, розташованими в кожній кришці циліндру. Контролюються три параметри згоряння: тиск стиснення, тиск при згорянні та тиск при розширенні.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

Рідке паливо подають до впускного клапану двигуна через подвійні труби, вентильовані сухим повітрям, взятим з вхідної повітряної системи. Система вентиляції, встановлена на виході, виводить викиди газового палива, якщо такі присутні, в повітря. Все обладнання для подачі рідкого палива виконане з подвійними стінками, оскільки будь-які витоки в атмосферу будуть перетворюватися в пари. Це контролюється датчиками, розташованими поруч із виходом системи трубопроводів з подвійною стінкою. Якщо вміст парів зрідженого газу, метану, або DME у системі вентиляції стає занадто високим, система безпеки зупинить роботу на LPG та переключиться, щоб працювати тільки на рідкому (HFO) паливі. Це вимикання виконується плавно і без втрати потужності.

Система керування та безпеки для зрідженого палива, інтегрована в двигун. Основна операційна панель (MOP) оснащена зручним інтерфейсом для експлуатації рідкого газового палива. Через цю панель система LGI відслідковує та показує відповідний тиск, температуру та положення ряду клапанів.

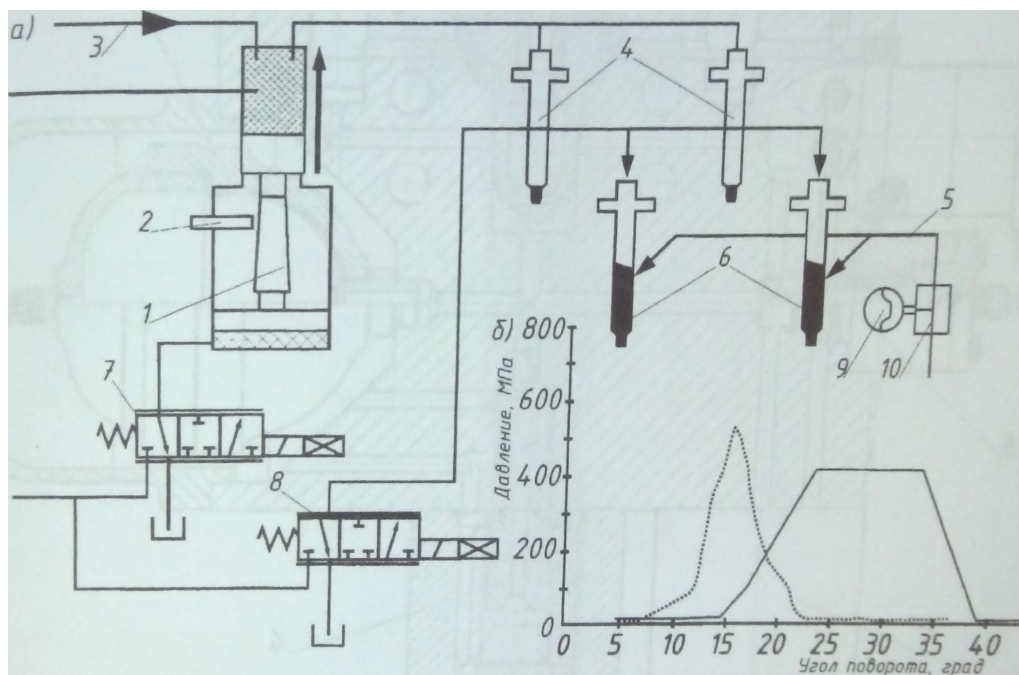
3.3 Модернізація паливної системи головного двигуна та суднової системи подачі палива

3.3.1 Модернізація паливної системи двигуна

Загальна схема газової системи газодизельного двигуна, що працює на зрідженому газі, представлена на рис. 3.5.

Газова паливна система двигунів на зрідженому нафтовому газі відрізняється тим, що газове паливо надходить в систему живлення в зрідженому стані і всі елементи системи пристосовані для роботи з рідиною, а не з газом. Ця обставина визначає ряд конструктивних особливостей, які розглянуті далі.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55



а)

б)

Рисунок 3.5 – Схема паливної системи газодизельного двигуна серії ME-LGI, що працює на зрідженому газі (а) і закони подачі запального та газового палива (б): 1 - ПНВТ з гідравлічним приводом; 2 - датчик величини подачі рідкого палива; 3 - підведення рідкого палива; 4 - форсунки для вприскування рідкого палива; 5 - підведення газу; 6 - газові форсунки; 7 - золотниковий клапан управління ПНВТ (FIVA); 8 - золотниковий клапан керування гідроприводом форсунок (ELGI); 9 - газовий акумулятор діафрагменого типу; 10 - блок керування подачею скрапленого газу; 11 - подача запального палива; 12 - подача газу

Від конструкції модуля керування подачею LNG система подачі LPG відрізняється тим, що зріджений газ подається в систему не компресором, а плунжерним насосом під тиском 50...55 МПа. Крім того, в модулі керування подачею скрапленого газу для стабілізації тиску використовується газовий акумулятор з розділовою діафрагмою. Конструкція модуля управління вприскуванням представлена на рис. 3.6.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Випробування, проведені фірмою MAN, показали, що зріджені нафтові гази можуть самозайматися в робочому циліндрі і без запальної подачі рідкого палива. На режимах номінальної потужності характер протікання робочого процесу по чисто газовому циклу мало чим відрізняється від роботи по газодизельному циклу. При переході на часткові навантаження відзначається значне зростання жорсткості робочого процесу [11].

У цьому зв'язку було прийнято рішення зберегти в двигунах на зрідженому газі пілотне запалювання у всьому діапазоні робочих режимів. Випробування в лабораторних умовах показали, що паливна апаратура, розроблена для використання скрапленого газу, може бути використана для роботи двигунів на метанолі.

Відміну від алгоритму керування подачею газового палива, при впорскуванні скрапленого газу головний відсічний клапан не закривається при кожному уприскуванні, а використовується для від'єднання лінії високого тиску форсунок при непрацюючому двигуні. Привід клапана здійснюється стисненим повітрям з загальносуднової системи.

3.4 Модернізація суднової системи подачі палива

3.4.1 Загальна характеристика суднової системи подачі палива

Окрім систем, описаних нижче, також будуть потрібні звичайні допоміжні системи для двигунів ME, з електронним управлінням, і оскільки двигун, що піддається модернізації, є двопаливним, також необхідна стандартна система подачі для роботи на важкому паливі. На рисунку 3.7 наведено огляд зовнішньої паливної системи – суднової системи подачі палива. Вона містить систему очистки (ємність з інертним газом, ємність зі стисненим повітрям) систему підготовки газового палива, блоку газових клапанів, мережу трубопроводів

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

Потік рідкого дизельного палива в схемі циркуляції повинен бути більшим, ніж споживання рідкого дизельного палива двигуном у будь-який час. Типовий коефіцієнт циркуляції в 2-3 рази перевищує споживання рідкого палива. Щоб забезпечити температуру подачі рідкого палива, в циркуляційному контурі розміщено теплообмінник (який використовується або як нагрівач або як охолоджувач), рис. 3.8. Рекомендується підключити його через вторинний контур до низькотемпературного контуру системи охолодження.



Рисунок 3.8 – Теплообмінний апарат системи FCM для LPG

ALFA LAVAL після більш ніж одного року розробки презентував першу систему ALFA LAVAL FCM one low для використання на судні з малооберттовим двигуном, що використовує зріджене газове паливо (LPG)

Alfa Laval та MAN спільно співпрацюють з тематики розвитку двотактних дизельних двигунів, зокрема з розвитку технології використання зрідженого газу (LGI) з 2012 року. В результаті розроблена система Alfa Laval FCM One LF була встановлена на танкери, побудовані для Mitsui O.S.K. Лінії (MOL), Westfal-Larsen & Co. A / S (Вестфал-Ларсен) та Marinvest AB

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		60

3.4.4 Система очищення (Purge return system (PRS))

Як вже згадувалося, концепція газового двигуна з рідким паливом включає в себе систему очищення двигуна. Існують варіанти експлуатації, коли трубопроводи для рідкого палива повинні бути очищені та заповнені азотом. Для такого двигуна газовий трубопровід для рідкого газового палива на двигуні та в машинному відділенні має бути встановлений таким чином, щоб його можна було очистити, і, отже, повернути газ у витратну ємність паливного газу. Після того як LPG, повернуто в сервісний резервуар, повне чищення трубопроводів азотом здійснюється через систему подвійних стін.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

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/м . Навколо працюючих механізмів у МВ виникають шкідливі теплові, електромагнітні й інші випромінювання. Джерелами шкідливих випромінювань є: нагріті поверхні машин і трубопроводів, радіостанція,

										Аркуш
										63
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 рівне 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) , спричинюють виражений вплив на організм людини. Деякі з них, такі як оксиди азоту впливають на

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

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 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						65
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 Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні

Умови перебування у відсіку судна, що відповідають нормам і вимогам санітарних правил для морських суден до температури, повинні забезпечуватися системи вентиляції. У МВ передбачена екранізація теплообміну всього приміщення, яка сполучається з потоком повітря на робочому місці. Наведений розрахунок вентиляції машинного відділення був

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

виконаний з метою визначення необхідної продуктивності системи кондиціонування, яка буде встановлюватися на судні. Продуктивність системи кондиціонування розраховується враховуючи максимальне тепловиділення в літню пору.

Загальна кількість повітря, що подається в машинне відділення, визначається рівнянням:

$$L_{\Pi} = \frac{\sum Q_{над}}{C_{\Pi} \times \rho_{\Pi} \times \Delta t}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

де $\sum Q_{над}$ - сумарні надлишкові тепловиділення в повітря працюючими механізмами, кДж/год;

$C_{\Pi} = 1,01$ - питома теплоємність повітря, кДж/(кг×К);

Δt - різниця температур повітря в МВ і зовнішнього, згідно санітарним нормам: $\Delta t_{літо} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_{зима} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

ρ_{Π} - щільність повітря при зовнішній температурі, кг/м³:

$$\rho_{\Pi} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{t_n}{273}}$$

де $\rho_0 = 1,293$ - щільність повітря при нормальних умовах, кг/м³;

t_n - температура зовнішнього повітря, приймається в залежності від району плавання судна по ГОСТ 24389-80, $^{\circ}\text{C}$.

Сумарні надлишкові тепловиділення в повітря працюючими механізмами, даного судна, визначаються за виразом:

$$\square Q_{над} = Q_{ГД} + Q_{ДГ} - Q_{зв}$$

Надлишкове тепловиділення для ДВЗ визначається за формулою:

$$Q_{ГД} = K_3 \times g_e^{ГД} \times N^{ГД} \times Q_H^{\Pi} \times m \times n, \text{ кДж/год,}$$

						ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
							67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			

де $K_3 = 0,84$ – коефіцієнт завантаження головного двигуна;
 $g_e^{ГД} = 0,173$ кг/(кВт×год) – питома витрата палива;
 $N^{ГД} = 8080$ кВт – потужність головного двигуна;
 $Q_H^II = 50324$ кДж/кг – нижня теплота згоряння палива;
 $m = 0,013$ – частка тепловиділення у навколишнє середовище;
 $n = 1$ – кількість головних двигунів.

$$Q_{ГД} = 0,84 \times 0,173 \times 8080 \times 50324 \times 0,013 \times 1 = 3072655,24 \text{ кДж/год.}$$

Кількість тепла, яке сприймає забортна вода, обраховується за формулою:

$$Q_{ЗВ} = S \times \eta \times (t_{МВ} - t_{ЗВ}),$$

де $S = 2 \times L_M \times H = 2 \times 28 \times 12 = 672 \text{ м}^2$ – площа лівого та правого бортів, які відносяться до машинного відділення;

$\eta = 24 \text{ кДж/ м}^2 \text{ }^\circ\text{С}$ – коефіцієнт розсіювання тепла;

$t_{МВ} = 38 \text{ }^\circ\text{С}$ – температура у машинному відділенні згідно останніх вимог ІМО;

$t_{ЗВ} = 19 \text{ }^\circ\text{С}$ – середня температура води за бортом судна.

$$Q_{ЗВ} = 24 \times 672 \times (38 - 19) = 306432 \text{ кДж.}$$

Сумарне надлишкове тепловиділення у машинному відділенні становить величину, яку обраховують за формулою:

$$\square Q_{над} = Q_{ГД} - Q_{ЗВ} = 3072655,24 - 306432 = 2766233,24 \text{ кДж.}$$

Щільність повітря при зовнішній температурі $20 \text{ }^\circ\text{С}$ буде:

$$\rho_{II} = \frac{1,293}{1 + \frac{20}{273}} = 1,204, \text{ кг/м}^3$$

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Загальна кількість повітря, що подається в машинне відділення

$$L_{II}^{літо} = \frac{2766233,24}{1,01 \times 1,204 \times 8} = 28719,20, \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{II}^{зима} = \frac{13006991,24}{1,01 \times 1,204 \times 25} = 9190,14, \text{ м}^3/\text{год}$$

Кратність циркуляції для літа та зими становить:

$$n_{літо} = \frac{L_{II}^{літо}}{V_M}$$

$$n_{літо} = \frac{L_{II}^{літо}}{V_M}$$

де V_M – об'єм машинного відділення, який приблизно дорівнює:

$$V_M = s \times H_{суд} = 386 \times 12 = 4632 \text{ м}^3$$

де $H_{суд} = 12$ м – висота борту судна до верхньої палуби [розділ 1].

Тоді кратність циркуляції для літа та зими буде:

$$n_{літо} = \frac{28719,2}{4632} \approx 6,2 \text{ год}^{-1}$$

$$n_{зима} = \frac{9190,14}{4632} \approx 1,98 \text{ год}^{-1}$$

Даний повітрообмін дозволяє витримувати нормативні документи, що регламентують параметри мікроклімату для робочої зони виробничих приміщень, ГОСТ 12.1.005-88 та ДСН 3.3.6.042-99.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.3 Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту малооборотних двигунів, що працюють на зрідженому газовому паливі

При вживанні газоподібного палива в суднових дизелях повинні виконуватися спеціальні вимоги до конструкції двигуна і паливних систем, що забезпечують тривалу безпечну експлуатацію.

Боротьба з вогнищем займання газового палива в замкнутому об'ємі також не викликає великих труднощів, оскільки додавання в метаноповітряну суміш 25% вуглекислого газу або 40% азоту роблять її взагалі нездібною горіти. Будь-які негорючі газоподібні, рідкі і тверді розчинники знижують температуру полум'я, швидкість його поширення і швидкість протікання хімічної реакції окислення палива. Тому для гасіння природного газу рекомендується застосовувати інертні гази, дрібнорозпилену воду та пісок. Високоєфективні також полум'ягасники з пористих матеріалів (кульки, сітки, рифлена стрічка й тому подібне), які знижують температуру фронту полум'я нижче температури займання.

Усередині трубопроводів і газової арматури, що працюють під тиском, у зв'язку з досить вузькими концентраційними межами займання метаноповітряних сумішей, утворення пожежовибухонебезпечних сумішей практично виключено. Проте при заповненні системи газом можливе короткочасне існування сумішей у вибухонебезпечних концентраціях. Небезпека посилюється наявністю плівки змащувальних масел. Тому в цілях безпеки первинне заповнення систем газом слід проводити після продування системи інертним газом, наприклад, азотом.

У зв'язку з тим, що в паливній системі газового двигуна два види палива: рідке і газоподібне, для безпечної і безаварійної роботи газодизеля необхідно зберегти всі види захисту дизеля і доповнити специфічними захистами:

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1) Відключення подачі газу при падінні тиску рідкого палива в трубопроводі низького тиску для виключення пропуску спалахів в циліндрах через відсутність запального палива.

2) По тиску газоподібного палива, що забезпечує відключення його при недопустимих відхиленнях тиску.

3) На кришках люків картера мають бути встановлені запобіжні клапани з сітками.

4) Пуск, зупинка і робота при навантаженні менше 15 % $P_e^{ном}$ виконується лише на рідкому паливі.

5) У машинному відділенні необхідна система контролю наявності газового палива в зонах можливих витоків і скупчення газу з попереджувальною сигналізацією при концентрації 20% НКПВ та аварійною (виконавчою) сигналізацією при 50...70% НКПВ.

6) Газові трубопроводи двигуна і система випуску відпрацьованих газів повинні мати можливість продування інертним газом або повітрям.

7) Відсічні клапани на вході газу в машинне відділення мають бути дубльовані.

8) З метою виключення попадання газу в машинне відділення при можливих витоках в зоні розташування газових трубопроводів газодизеля рекомендується установка кожуха з організацією відсмоктування повітря або організація інтенсивної вентиляції з відсіченням подачі газу при її відключенні.

Вище перелічені заходи відповідають основним вимогам для тривалої безаварійної роботи судових газових дизелів, своєчасного виявлення витоків газу і усунення небезпечних наслідків від них.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.4 Дії екіпажу в надзвичайних ситуаціях

Постійна готовність екіпажу до дій при надзвичайних і аварійних ситуаціях забезпечується за рахунок:

- 1) постійної наявності на борті встановленої кількості екіпажу, здатного забезпечити ефективні дії у випадку виникнення надзвичайних ситуацій;

- 2) високої професійної кваліфікації екіпажу, попередньої тренажерної підготовки, регулярних і ефективних навчальних тривог, навчань, тренувань;

- 3) ефективної системи й організації дій, включаючи «Розклад за тривогами», аварійні партії, суднові оперативні плани дій (Vessel Response Plans), контрольні листи рекомендованих дій (Check Lists) для всіх виявлених ризиків з урахуванням специфіки й конструктивних особливостей судна, особливостей і властивостей вантажів;

- 4) постійної готовності засобів боротьби за живучість судна;

- 5) постійного контролю й спостереження (у тому числі за допомогою спеціальних систем контролю й попереджувальної сигналізації) за основними елементами безпеки, виявлення осередку надзвичайної ситуації на можливо більш ранній стадії, а також швидких, рішучих, ефективних дій людини, що першою виявила виникнення надзвичайної ситуації.

Однією з таких надзвичайних ситуацій є пожежа на судні.

Сучасне судно насичене горючими матеріалами, електроустаткуванням. Виконання вимог пожежної безпеки (попередження пожеж) на судні, знання й уміння боротися з пожежею є обов'язковими для всього екіпажу.

Основною метою боротьби з пожежами на судні є:

- порятунок пасажирів і екіпажу;
- локалізація пожежі (запобігання поширення небезпечних факторів пожежі судном, вибухів парів ЛЗР, балонів зі стисненим газом, небезпечних вантажів);

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72

- гасіння пожежі всіма наявними засобами;
- способами збереження остійності й запасу плавучості.

Тактика боротьби з пожежами містить у собі:

- оголошення пожежної тривоги;
- при можливості, огляд аварійного району для уточнення місця, типу палаючої речовини, інтенсивності пожежі;
- визначення порядку виконання дій з порятунку пасажирів і екіпажу, локалізації й боротьби з пожежею, видаленню води, що накопичується при гасінні пожежі.

Для швидкого ухвалення рішення на вибір сил і засобів гасіння пожежі рекомендується знати і використовувати *класифікацію пожеж*, засновану на виділенні однакових властивостей горючого матеріалу, для ефективного використання речовин для вогнегасіння (вогнегасників) [12]:

А – пожежі, викликані горінням твердих горючих матеріалів (деревина, тканини, папір, гума й деякі пластмаси). Пожежі гасять за допомогою води або водяних розчинів речовин для вогнегасіння:

В – пожежі, викликані горінням займистих або горючих рідин, що запалюються: газів, жирів і інших подібних речовин, фарб, лаків, розчинників. Пожежі гасять припиненням надходження кисню повітря до осередку пожежі або запобіганням виділення горючої пари;

С – пожежі, викликані запаленням електроустаткування, що знаходиться під напругою. Пожежі гасять речовинами для вогнегасіння, що не проводять електричний струм;

Д – пожежі, викликані загоранням горючих лужних металів (натрію, калію, магнію, титану, алюмінію та ін.). Для гасіння таких пожеж використовують теплопоглинальні речовини для вогнегасіння, наприклад, спеціальні порошки, охолоджувачі.

На практиці, у реальних суднових умовах нерідко виникають пожежі, що поєднують у два класи.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Повна й об'єктивна інформація про те, що горить і де перебуває пожежа, є важливою умовою успішної ліквідації пожежі.

Об'ємні пожежі в приміщеннях судна слід гасити за допомогою стаціонарних систем пожежогасіння (якщо вони передбачені для даного приміщення) або за допомогою водяної або пінної атаки.

Самим доступним і ефективним засобом гасіння пожежі на судні є *забортна вода*. Також ефективним засобом гасіння пожеж є *повітряно-механічна піна*. Піна своїми пухирцями ізолює горючу речовину.

Вуглекислий газ використовується в якості вогнегасника в системах пожежогасіння для об'ємного гасіння пожежі у вантажних танках, машинних відділеннях, окремих відсіках і приміщеннях судна, а також у вогнегасниках для гасіння загорянь.

Спеціальна речовина для гасіння *галони* складаються з вуглецю або декількох галогенів: фтору, хлору, броду і йоду. Галони застосовуються для гасіння різних типів пожеж крім пожеж класу D. При об'ємному способі використання галона необхідно вилучити людей з аварійного приміщення.

Впровадження в дію систем пожежогасіння на основі галону, вуглекислого газу – системи об'ємного хімічного пожежогасіння (ОХП) на приміщення, що захищається, здійснюється за вказівкою капітана судна. Перед включенням системи необхідно вивести людей із приміщення, загерметизувати приміщення. Після пуску вогнегасника необхідно контролювати температуру приміщення і, якщо пожежа не була погашена, перевірити герметизацію приміщення й пустити вогнегасник від резервної системи (якщо вона передбачена на судні). Перед оглядом аварійного приміщення його необхідно провентилювати, перевірити склад повітря за допомогою газоаналізатора за вмістом кисню й (незалежно від результатів аналізу повітря) провести первинний огляд аварійного приміщення в ізолюючих засобах захисту органів дихання.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Порошки теж використовують для пожежогасіння, вони діляться за місцем використання на порошки загального призначення (для гасіння пожеж класів А, В і С та їх комбінацій) і спеціального призначення (для гасіння лужних металів). Порошки використовуються в переносних засобах пожежогасіння (в основному у вогнегасниках).

Порошки для пожежогасіння загального призначення охолоджують палаючу речовину, припиняють доступ кисню й тепла до палаючої речовини й тим самим переривають ланцюгову реакцію горіння.

Крім зазначених вище вогнегасників для гасіння пожежі використовують природний пісок, ошурки, просочені содою, ковдри (повстина) з різних тканин, водяна пара.

Після ліквідації пожежі за приміщеннями, які були охоплені вогнем, повинен бути встановлений контроль з метою виключення повторних загорянь від осередків тління, що залишилися, коротких замикань електроустаткування й інших причин.

					ПННІ НУК 131.61.23.05.ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даного дипломного проекту було проаналізовано конструктивні особливості двотактного малообертового двигуна 6S50 ME, проведено аналіз робочого процесу та сучасних напрямів його вдосконалення. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що використання газового палива дозволить значно зменшити витрати на паливну складову. Проте, завжди актуальною для двигунів внутрішнього згоряння лишатиметься проблема пошуку альтернативного палива, для зменшення залежності від цін на рідкі нафтові палива та покращення його екологічних показників.

В даному дипломному проекті розроблено комплекс заходів з переобладнання головного суднового малообертового двигуна для використання у якості палива зрідженого газу. Розроблено схемні та конструктивні рішення, необхідні для реалізації запропонованого рішення.

					ПННІ НУК 131.61.05	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Myshiptracking [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.myshiptracking.com/ru/vessels/atlantic-gas-mmsi-219302000-imo-9662019>
2. MAN Energy Solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.man-es.com/marine/products/two-stroke-engines/man-b-w-me-lgim>
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Baek, S. Analysis of combustion and exhaust characteristics according to changes in the propane content of LPG [Text] / Seungju Baek , Sanguk Lee, Myunghwan Shin, Jongtae Lee, Kihyung Lee // Energy/ – Volume 239, Part C, 15 January 2022, 122297
7. Theoretical and experimental study of an injector of LPG liquid phase injection system [Text] / Nguyen Thanh Tuan, Nguyen Phu Dong // Energy for Sustainable Development. – Volume 63, August 2021, Pages 103-112
8. Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled by LPG [Text] / M.Y. Sulaiman, M.R. Ayob, I. Meran // Procedia Engineering. – Volume 53, 2013, Pages 579-585

					ПННІ НУК 131.61.05	Аркуш
						77
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

9. Kuiken, K. Diesel Engines for ship propulsion power plants. Target global Energy Training / Kees Kuiken. – Onne, The Neterlands, 2008.

10. Pounder, C.C. Msrine diesel engines and gas turbines. – London, DousWoodyard, 2009. – 887 p.

11. Hartmann Orders ME-LGIP Engines for LPG Tankers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2020/05/14/hartmann-orders-me-lgip-engines-for-lpg-tankers>

12. Alfalaval [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alfalaval.ua/contact-us/>

					<i>ПННІ НУК 131.61.05</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>78</i>